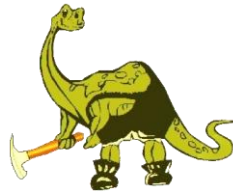




Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RUBEM SANTA BRÍGIDA BARROS NETO

ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E
CARACTERIZAÇÃO DOS ÓXIDOS DE FE E TI DO
TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA,
TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO MARIA – SE
PARÁ

BELÉM - PARÁ

FEVEREIRO - 2012

RUBEM SANTA BRÍGIDA BARROS NETO

ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E
CARACTERIZAÇÃO DOS ÓXIDOS DE FE E TI DO
TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA,
TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO MARIA – SE
PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Geologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará –
UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Abano Antonio da Silva
Leite

Coorientador: Prof, Dr. Hilton Túlio Costi

BELÉM

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

B277e Barros Neto, Rubem Santa Brígida

Estudo de suscetibilidade magnética e caracterização dos óxidos de Fe e Ti do trondhjemito mogno e tonalito Mariazinha, terreno granito-greenstone de Rio Maria – SE Pará / Rubem Santa Brígida Barros Neto; Orientador: Albano Antonio da Silva leite; Coorientador: Hilton Túlio Costi – 2012

83 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2012.

1. Suscetibilidade magnética. 2. Petrologia magnética. 3. Terreno Granito-*Greesntone* de Rio Maria. 4. Minerais óxidos de Fe e Ti. I. Leite, Albano Antonio da Silva, *orient.* II. Costi, Hilton Tulio, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22^a ed.: 538.3098115

RUBEM SANTA BRÍGIDA BARROS NETO

ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E CARACTERIZAÇÃO
DOS ÓXIDOS DE FE E TI DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO
MARIAZINHA, TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO MARIA –
SE PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Geologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará –
UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Albano Antonio da Silva Leite - Orientador
Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Hilton Túlio Costi – Coorientador
Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Moacir Buenano Macambira - Membro
Doutor em Ciências
Universidade Federal do Pará

Profª José de Arimatéia Costa de Almeida - Membro
Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

- Aos meus familiares, em especial aos meus pais por sempre me apoiarem nos estudos;
- Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, que permitiu a utilização de seus laboratórios e equipamentos;
- Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Geociências da Amazônia - INCT GEOCIAM pela disponibilização de recursos para a presente pesquisa;
- Ao Grupo de Petrologia de Granitóides (GPPG) do Instituto de Geociências da UFPa, pelo suporte técnico-científico;
- Ao professor Albano Antonio da Silva Leite pela orientação, dedicação e paciência prestadas durante as etapas de execução deste trabalho;
- Ao professor Hilton Túlio Costi pela disponibilização do MEV e pela coorientação neste trabalho;
- A Fapespa (Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Pará) pela bolsa de iniciação científica concedida durante o desenvolvimento deste trabalho;
- A geóloga Fabriciana Guimarães pela disponibilização das amostras e por informações repassadas da área de estudo;
- Ao geólogo Marcelo Oliveira pelas discussões sobre suscetibilidade magnética e minerais óxidos de Fe e Ti;
- Aos colegas de grupo e amigos Adriel Quesede e Nathan Ramirez pela ajuda e trocas de informações sobre petrologia magnética.
- A todos os amigos do curso de geologia, em especial a turma de 2007 pelos momentos de estudos e boas descontrações ao longo desses belos anos de graduação.

RESUMO

O Trondhjemitó Mogno e o Tonalito Mariazinha são granitóides TTGs que ocorrem no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, localizado no sudeste do Cráton Amazônico, pertencendo a Província Carajás. O estudo de suscetibilidade magnética e de minerais óxidos de Fe e Ti permitiram uma melhor caracterização e individualização do Trondhjemitó Mogno e do Tonalito Mariazinha. O Trondhjemitó Mogno apresenta baixos valores de suscetibilidade magnética, possuindo valores médios em uma escala de grandeza de 10^{-5} Siv, refletindo a ausência de magnetita primária e a predominância de ilmenita nessas rochas. A relação entre o conteúdo modal de minerais opacos e os valores de suscetibilidade magnética mostrou que o Trondhjemitó Mogno pertence à série ilmenita. Este granitóide possivelmente foi formado em condições de fugacidade de oxigênio baixas (fO_2), porém acima do tampão W-M (Wustita-Magnetita). O Tonalito Mariazinha apresenta valores relativamente elevados de suscetibilidade magnética, com valores médios em uma escala de grandeza maior que 10^{-3} Siv, refletindo a maior abundância e melhor preservação dos cristais de magnetita. A relação entre o conteúdo modal de minerais opacos e os valores de suscetibilidade magnética revela que o Tonalito Mariazinha pertence à série magnetita. Este granitóide se formou em condições mais oxidantes do que o Trondhjemitó Mogno, pelo menos acima do tampão N-N-O (Níquel-Óxido de Níquel), ou seja, em condições de fO_2 mais altas. Nos estudos comparativos com rochas similares da Província Carajás, o Tonalito Mariazinha apresenta maiores semelhanças magnéticas com o Tonalito Arco Verde e os Tonalitos-Trondhjemitos Gnáissicos da região de Xinguara e o Trondhjemitó Mogno apresenta maior afinidade com as variedades trondhjemiticas dos granitóides de Canaã dos Carajás.

Palavras-chave: Suscetibilidade magnética. Petrologia magnética. Terreno Granito-*Greesntone* de Rio Maria. Minerais óxidos de Fe e Ti.

ABSTRACT

The TTG units studied are located in the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, located in southeast Amazonian Craton, belonging to Carajás Province. The studies of magnetic susceptibility and Fe and Ti oxide minerals have allowed characterization and individualization of the Mogno Trondhjemite and Mariazinha Tonalite. The Mogno Trondhjemite has low values of magnetic susceptibility, presenting mean values on a scale of magnitude of 10^{-5} Slv. That reflect the absent of primary magnetite and the predominance of ilmenite in these rocks. The ratio of the modal content of opaque minerals, and the values of magnetic susceptibility showed that Mogno Trondhjemite belongs to the ilmenite series. This rock was possibly formed in conditions of low oxygen fugacity (fO_2), but above the W-M buffer (Wustite-Magnetite). The Mariazinha Tonalite presents relatively high values of magnetic susceptibility, with values on a scale of magnitude greater than 10^{-3} Slv, reflecting the greater abundance and better preservation of magnetite crystals. The ratio of the modal content of opaque minerals and the values of magnetic susceptibility shows that to the Mariazinha Tonalite belongs to magnetite series. This rock was formed under more oxidizing than Mogno Trondhjemite, at least above the NNO (Nickel-Nickel Óxide), in conditions of higher fO_2 . Comparative studies with similar rocks of the Carajás Province, the Mariazinha Tonalite has more magnetic similarities with Arco Verde Tonalite and the gneiss-trondhjemite-tonalite from the Xinguara region and Mogno Trondhjemite has affinity trondhjemíticas varieties of granitoids of the Canaã dos Carajás

Key words: Magnetic susceptibility. Magnetic petrology. Rio Maria Granite-Greenstone Terrain. Fe and Ti oxide minerals.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4 - Figura 1: Mapa de localização e acesso a área estudada	13
Figura 2: Mapa geológico da região do Terreno Granito- <i>Greenstone</i> de Rio Maria.	16
Figura 3: Mapa geológico da região estudada destacando o Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha	20
Figura 4: Ternário do sistema TiO_2 -FeO- Fe_2O_3	25
Figura 5: Histograma de frequência referente aos dados de SM do Trondhjemito Mogno	28
Figura 6: Gráfico de probabilidade referente aos dados de SM do Trondhjemito Mogno	29
Figura 7: Histograma de frequência referente aos dados de SM do Tonalito Mariazinha.....	31
Figura 8: Gráfico de probabilidade referente aos dados de SM do Tonalito Mariazinha.....	31
Figura 9: Fotomicrografias de ilmenita individual com borda de titanita	35
Figura 10: Fotomicrografias de ilmenita individual com borda de titanita, associadas também com clorita, biotita e plagioclásio	36
Figura 11: Fotomicrografias de magnetita e ilmenita <i>sandwich</i>	37
Figura 12: Fotomicrografias de magnetita associada à allanita, plagioclásio, quartzo e Biotita	39
Figura 13: Fotomicrografias de magnetita anédrica associadas à biotita, epidoto e plagioclásio.....	40
Figura 14: Fotomicrografias de magnetita corroída e pirita	41
Figura 15: Ilmenita individual bordejada por titanita, e associada também à biotita, epidoto e clorita (MEV).	43
Figura 16: Ilmenita individual (MEV).....	44
Figura 17: Ilmenita e hematita (MEV)	45
Figura 18: Ilmenita e hematita (MEV).....	46
Figura 19: Ilmenita <i>sandwich</i> (MEV).....	47

Figura 20: Magnetita (MEV)	48
Figura 21: Magnetita associada com biotita e epidoto (MEV)	49
Figura 22: Magnetita moderadamente fraturada (MEV)	51
Figura 23: Magnetita englobando um cristal de zircão (MEV)	52
Figura 24: Magnetita associada com biotita e epidoto (MEV)	53
Figura 25: magnetita associada com goethita (MEV)	54
Figura 26: Magnetita hidrotermal (MEV)	55
Figura 27: Pirita, calcopirita e goethita (MEV)	56
Figura 28: Diagrama de SM x proporções modais de opacos.....	60
Figura 29: Mapa geológico e de amostragem apresentando as características magnéticas do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha	62
Figura 30: Histograma comparativo dos valores de SM dos granitóides estudados com granitóides similares da Província Carajás.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de SM do Trondhjemito Mogno	27
Tabela 2: Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Trondhjemito Mogno	27
Tabela 3: Dados de SM do Tonalito Mariazinha	30
Tabela 4: Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Tonalito Mariazinha	30
Tabela 5: Dados de SM e as principais fases minerais de óxidos de Fe e Ti do Trondhjemito Mogno	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. APRESENTAÇÃO	12
1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO Á ÁREA ESTUDADA	12
1.3. SÍNTESE SOBRE O CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL DO TERRENO GRANITO GREENSTONE DE RIO MARIA	14
1.4. GEOLOGIA DA ÁREA DE OCORRENCIA DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA	17
2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	21
3. OBJETIVOS	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	23
4.2. TRABALHO DE CAMPO	23
4.3. SÍNTESE DO ESTUDO PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO	23
4.4. MEDIDAS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA	23
4.5. ESTUDO PETROGRÁFICO DOS MINERAIS OPACOS.....	25
4.6. ESTUDO DE MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA (MEV)	26
4.7. TRATAMENTO DOS DADOS	26
5. RESULTADOS	26
5.1. SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA	26
5.1.1 Comportamento Magnético do Trondhjemito Mogno	26
5.1.2 Comportamento Magnético do Tonalito Mariazinha	29
5.2. SÍNTESE SOBRE OS ASPECTOS PETROGRÁFICOS E COMPOSIÇÕES MODAIS DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA	32
5.3. ESTUDO PETROGRÁFICO DOS MINERAIS ÓXIDOS DE Fe e Ti.....	33
5.3.1 Trodhjemito Mogno	33
5.3.2 Tonalito Mariazinha	38

5.4 MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA EM MINERAIS ÓXIDOS DE Fe E Ti.....	42
5.4.1 Trondhjemito Mogno.....	42
5.4.2 Tonalito Mariazinha.....	50
6 DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	57
6.1 RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E MINERAIS OPACOS DO TRONDHJEMITO MOGNO.....	57
6.2 RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E MINERAIS OPACOS DO TONALITO MARIAZINHA.....	59
6.3 COMPARAÇÕES ENTRE O COMPORTAMENTO MAGNÉTICO DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA.....	60
6.4 COMPARAÇÕES ENTRE O COMPORTAMENTO MAGNÉTICO DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA COM ALGUNS GRANITÓIDES SIMILARES DA PROVÍNCIA CARAJÁS.....	63
6.5 EVOLUÇÃO DOS MINERAIS OPACOS.....	65
7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE.....	72
Apêndice A – Análises semiquantitativas (MEV).....	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O presente trabalho de pesquisa refere-se ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do estudante Rubem Santa Brígida Barros Neto, do Curso de Geologia da Universidade Federal do Pará (UFPA). A presente pesquisa está relacionada aos estudos de petrologia magnética e de caracterização de minerais óxidos de Fe e Ti dos Granitóides TTGs Mogno e Mariazinha, ambos de idade arqueana. O mesmo está vinculado às atividades do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides do Instituto de Geociência da UFPA, liderado pelo Prof. Dr. Roberto Dall’Agnol.

Nas últimas décadas o Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) vem concentrando suas atividades nos estudos de evolução crustal de rochas granitóides do sudeste do Pará, mais especificamente no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria no Cráton Amazônico. O GPPG vem desenvolvendo há duas décadas, pesquisa na linha de propriedades físicas de rochas e suas implicações petrológicas, através do Laboratório de Petrologia Magnética (LPM). O foco principal desta linha de pesquisa do GPPG é obter o entendimento sobre o comportamento magnético e suas relações com os aspectos geoquímicos e petrológicos das rochas. As informações obtidas com o desenvolvimento deste trabalho ajudarão na determinação de algumas características do processo de cristalização do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha, dentre elas a fugacidade de oxigênio (fO_2).

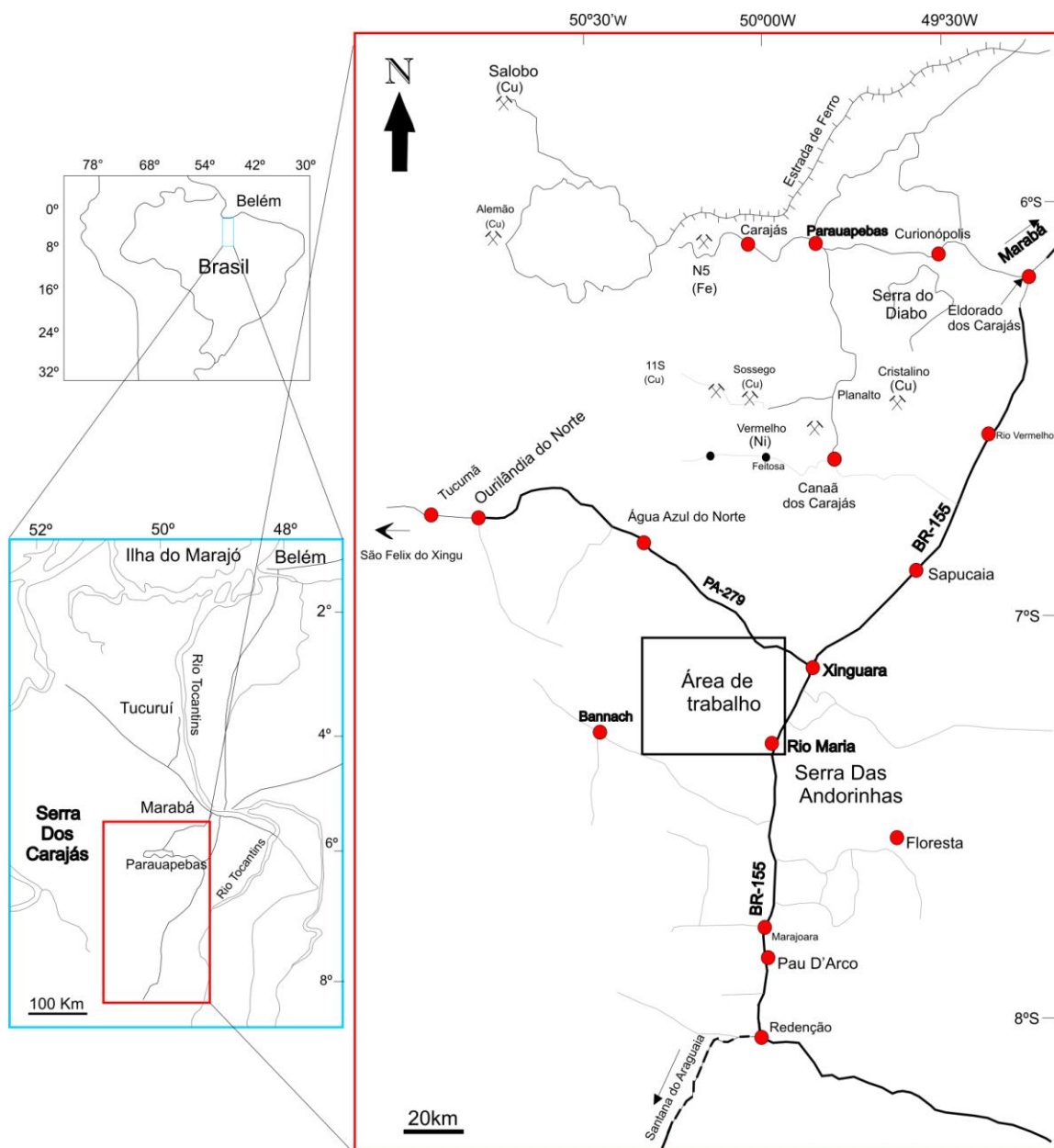
Este trabalho visa contribuir para um melhor entendimento do comportamento magnético do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha, granitóides esses que já foram mapeados e estudados com detalhes em trabalhos recentes (ALMEIDA et. al 2010, GUIMARÃES et. al 2011). Porém, não houve até então nenhum estudo que caracterização dos minerais óxidos de Fe e Ti e sua relação com o comportamento magnético dessas rochas.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA ESTUDADA

A área de trabalho localiza-se na região sudeste do estado do Pará, entre as sedes dos municípios de Xinguara, Rio Maria e Bannach, mais precisamente a

sudoeste do município de Xinguara. Está inserida na Folha Xinguara (SB-22-Z-C), sendo limitada pelas coordenadas geográficas $50^{\circ}20'00''\text{W}/07^{\circ}00'00''\text{S}$ e $50^{\circ}00'00''\text{W}/07^{\circ}20'00''\text{S}$. O acesso a partir da cidade de Marabá, se dá por via terrestre pela rodovia BR-155 até o município de Xinguara ou de Rio Maria, onde se segue até a área por uma série de estradas vicinais não pavimentadas (Figura 01).

Figura 1 - Mapa de localização da área estudada neste trabalho e os principais acessos.



1.3 SÍNTESE SOBRE O CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL DO TERRENO GRANITO GREENSTONE DE RIO MARIA

O Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (Figura 2), onde foram mapeadas por Guimarães et al. (2010) as ocorrências do Trondhjemito Mogno e do Tonalito Mariazinha, localiza-se na porção sudeste do Cráton Amazônico nos domínios da Província Amazônia Central (TASSINARI; MACAMBIRA 1999, 2004) ou Carajás (SANTOS, 2003).

De acordo com dados geocronológicos a Província Carajás possui idade arqueana (MACAMBIRA; LAFON, 1995; MACHADO et al. 1991; VASQUEZ et al. 2008). Segundo Costa et al. (1995) existem nessa região três domínios tectônicos: Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, limitado a norte e a sul pelos Cinturões de Cisalhamento Itacaiúnas e Pau D'Arco, respectivamente. Entretanto, para Althoff et al. (2000) e Dall'agnol et al. (2006), o Cinturão de Cisalhamento Pau D'Arco é somente uma extensão para sul do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, que se prolongaria, pelo menos, até as cercanias do município de Redenção. Em trabalhos recentes, Rolando e Macambira (2002, 2003), com base em novos dados geocronológicos e geológicos, confirmaram a extensão do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria até, pelo menos, 100 km a sul da cidade Redenção. Vasquez e Rosa-Costa (2008) adotam igualmente esta interpretação. Entretanto, tais autores assumem a existência na Província Carajás de um domínio mesoarqueano e mais antigo, correspondente ao Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, denominado Domínio Rio Maria, e um domínio com evolução final no Neoarqueano a norte, denominado de Domínio Carajás. Por outro lado, preconizam a existência de um domínio transamazônico a sul do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, o qual limitaria o referido terreno.

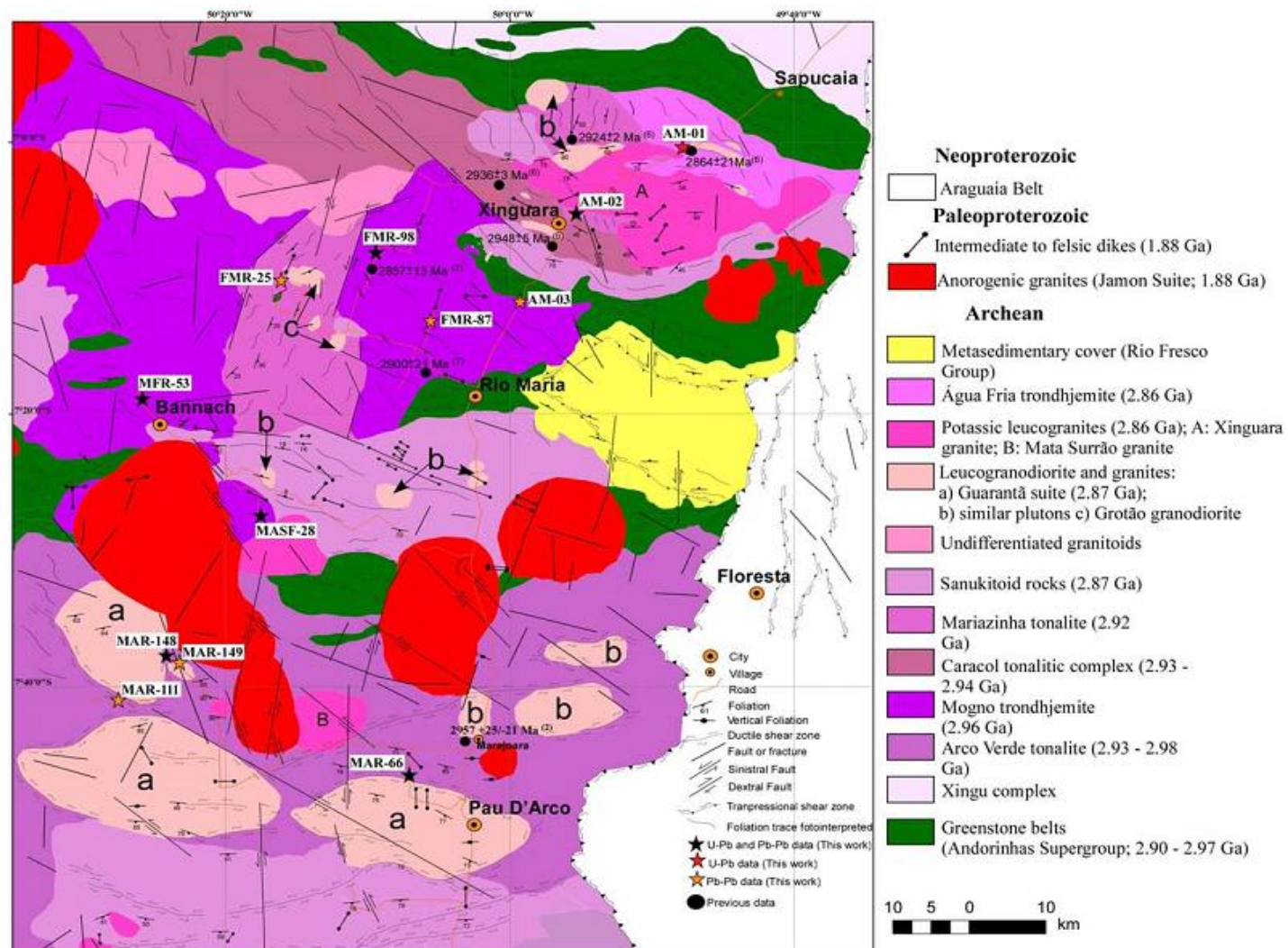
O Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria é formado por *greenstone belts* e granitóides arqueanos similares a associações TTGs, suite sanukitoides e leucogranitos cálcico-alcálicos. Esta divisão, com base em características petrográficas, geoquímicas e geocronológicas foi proposta por Leite (2001) e Dall'Agnol et al. (op.cit.). A unidade mais antiga do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria corresponde ao Supergrupo Andorinhas, constituído por *greenstone belts*, onde predominam komatiítos e basaltos toleíticos, com idades que variam de 2,98 a 2,90 Ga (MACAMBIRA, 1992; PIMENTEL; MACHADO, 1994). O três grupos de

granitóides apresentam idades arqueanas que variam entre 2,98 a 2,86 Ga. Dentre esse três grupos, se destacam os tonalitos-trondhjemitos-granodioritos (TTG), que foram inicialmente divididos em dois subgrupos por apresentarem idades e relações de campo distintas: (1) TTG antigos (2,98 e 2,92 Ga) e (2) TTG jovens (2,86 Ga). Segundo Dall’Agnol *et al.* (2006) os granitóides da serie TTG mais antiga são representados pelo Tonalito Arco Verde e Tonalito Caracol, enquanto que os TTGs jovens são representados pelo Trondhjemito Água Fria e o Trondhjemito Mogno. Os granitóides TTGs da região de Rio Maria-Xinguara foram estudadas em detalhe por Guimarães (2009), onde foi possível a separação do Trondhjemito Mogno em duas associações TTGs, uma predominantemente trondhjemítica, que ocorre na porção leste da área e para qual foi mantida a designação de Trondhjemito Mogno, e outra tonalítica-trondhjemítica, que ocorre na porção oeste da área, sendo denominada de Tonalito Mariazinha (Figura 3). Estas associações foram distinguidas inicialmente com base em feições estruturais, contrastes petrográficos e diferenças em imagem de radar e satélite. Posteriormente, estas diferenças foram reforçadas pelos estudos geocronológicos de Almeida *et al.* (2011), no qual revelou que o Trondhjemito Mogno e o Tonalito Mariazinha pertencem à primeira geração de granitóides TTGs.

Posteriormente, entre 2,87-2,86 Ga, a região foi afetada por novos eventos magmático que gerou granitóides TTG jovens, representados pelo Trondhjemito Água Fria (LEITE, 2001; LEITE *et al.*, 2004), granitóides sanukitóides de alto Mg do tipo Granodiorito Rio Maria (ALTHOFF, 1996; DALL’AGNOL, 1988, LEITE, 2001; MEDEIROS; OLIVEIRA *et al.*, 2006, 2009, VASQUEZ *et al.* 2008), e leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica tipo Mata Surrão (DUARTE, 1992) e Xinguara (LEITE, 2001; LEITE *et al.*, 1999, 2004).

Segundo Dall’Agnol *et al.* (2005, 2006), Oliveira (2001, 2006), e Almeida *et al.* (2006) a região de Rio Maria, durante o Paleoproterozoico foi palco de extenso magmatismo granítico anorogênico, representado pelos corpos graníticos da Suite Jamon e por diques felsicos a máficos, contemporâneos dos granitos proterozoicos, estes últimos seccionando tanto as unidades arqueanas quanto os granitos paleoproterozoicos.

Figura 2 - Mapa geológico da região do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria



Fonte: (ALMEIDA, 2010)

1.4 GEOLOGIA DA ÁREA DE OCORRENCIA DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA

A área de ocorrência do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha foi mapeada em detalhe durante a dissertação de mestrado de Fabriciana Vieira Guimarães (GUIMARÃES 2009). De acordo com Guimarães (2009) e Guimarães et al. (2010) a área em questão é caracterizada por um relevo plano suavemente ondulado, o que dificulta a presença de bons afloramentos e a visualização das relações de campo entre os diversos litotipos.

De acordo com Guimarães et al. (2010) o Trondhjemito Mogno, uma das mais expressivas associações TTG do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, era considerada até aquele momento, como representativa da segunda geração de TTGs daquele terreno. A área de ocorrência desta unidade geológica apresenta diferenças estruturais, petrográficas, geoquímicas e geocronológicas que levaram à sua separação em duas associações distintas (Guimarães 2009; Guimarães et al., 2010; Almeida et al., 2011). O mapa da Figura 3 corresponde ao principal produto desta nova interpretação geológica fornecida para esta porção do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (Guimarães 2009). Duas novas unidades de granitóides TTGs foram identificadas durante o mapeamento geológico realizado por estes autores, onde a designação de Trondhjemito Mogno foi mantida para a associação dominante, com padrão estrutural marcado por uma foliação de direção NW-SE a E-W, distribuída nos domínios leste e oeste da área. A nova associação identificada por estes autores, na porção centro-oeste da área mapeada, com foliação dominante de orientação NE-SW a N-S foi denominada de Tonalito Mariazinha. Foliação com direção N-S foi observado também nas ocorrências do Tonalito Caracol situada na porção noroeste do Granito Xinguara (LEITE 2001; LEITE et al., 2010), o que levou Almeida et al. (2010) e Leite et al. (2011), após comparações petrográficas, geoquímicas e geocronológicas a considerarem que os tonalitos que ocorrem na porção noroeste de Xinguara seriam correlatos ao Tonalito Mariazinha. Dados geocronológicos Pb/Pb por evaporação e U/Pb fornecidos por Almeida et al. (2011) revelam que o Trondhjemito Mogno possui idade de cristalização de 2,96 Ga, enquanto o Tonalito Mariazinha de 2,92 Ga, ou seja, idades distintas e, ainda mostrando que tais unidades não fazem parte da segunda geração de TTGs do terreno, como anteriormente se admitia.

O Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha são constituídos por epidoto-biotita tonalitos e trondhjemitos, os quais pertencem ao grupo de TTG com alto Al_2O_3 e possuem características geoquímicas compatíveis com as dos típicos granitóides arqueanos da série trondhjemítica (ALMEIDA et al., 2011).

Foram distinguidos dois domínios na área originalmente atribuída ao Trondhjemito Mogno, ocorrências de dois outros tipos de granitóides e uma exposição localizada de *greenstone belts* (Figura 3). Em parte da admitida área de ocorrência do Tonalito Parazônia foram identificadas rochas predominantemente quartzo-dioríticas, afins das associações sanukitóides do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (GUIMARÃES et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2006, 2009), (Figura 3).

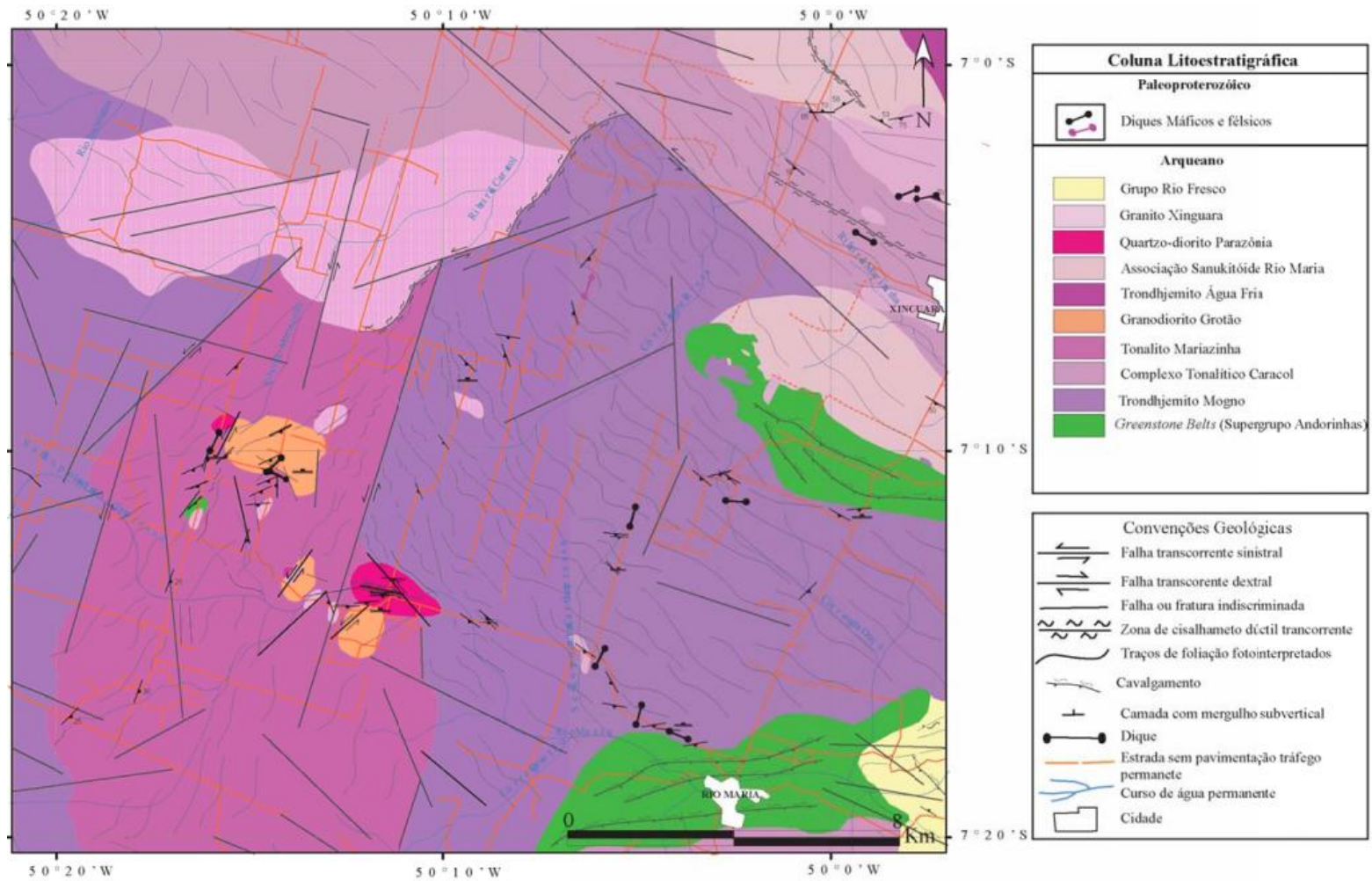
Guimarães et al (2010) descrevem as principais unidades mapeadas da seguinte forma:

- ✓ O Trondhjemito Mogno aflora na forma de lajedos ou matacões, se apresenta intensamente deformado e bandado. O bandamento possui direção NW-SE a E-W, sendo marcado pelos minerais máficos e cristais de quartzo e feldspatos alongados. É cortado por veios de leucogranitos e vênulas de epidoto.
- ✓ O Tonalito Mariazinha aflora na forma de grandes lajedos e, em geral, apresenta-se moderadamente deformado, com bandamento caracterizado pela alternância de níveis enriquecidos em quartzo e plagioclásio, estirados e alongados, e níveis mais máficos, onde se concentram cristais de biotita. No geral, a foliação apresenta direção dominante NE-SW a N-S. Esta associação TTG é cortada por veios de leucogranitos concordantes com a direção da foliação e, localmente, engloba enclaves máficos.
- ✓ O Granodiorito Grotão ocorre de forma localizada nas porções oeste e sudoeste em afloramentos de grande expressão e homogêneos. Suas rochas têm aspecto maciço, englobam enclaves de rochas similares ao Tonalito Mariazinha, e são cortadas por veios de leucogranitos.
- ✓ O Quartzo-diorito Parazônia forma um pequeno *stock* na porção sudoeste da área, em relevo arrasado a suavemente ondulado, seus afloramentos são na forma de grandes blocos.
- ✓ Granitos e leucogranitos estão presentes de forma localizada em toda a área mapeada, formando pequenos corpos, geralmente sem expressão na escala

de mapeamento adotada, ou veios que cortam a maioria dos litotipos presentes. São correlacionados ao Granito Xinguara.

Diques de composição máfica e félsica cortam as unidades arqueanas e foram correlacionados aos diques paleoproterozóicos da Suíte Jamon (DALL'AGNOL et al., 2005).

Figura 3 - Mapa geológico da região estudada com destaque para o Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha, mostrando como estão relacionados com os demais granitóides da região.



Fonte: (GUIMARÃES, 2009).

2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria é caracterizado por apresentar granitóides da série TTG, *greenstone belts*, suítes sanukitóides, e lecogranítos potássicos. Os granitóides TTGs apresentam uma vasta ocorrência no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, os quais foram alvos de diversos estudos geológicos, geoquímicos e geocronológicos em diferentes da região. O Trondhjemitó Mogno e o Tonalito Mariazinha destacam-se na região de Xinguara e Rio Maria por possuírem uma ampla distribuição areal, mais precisamente em uma faixa que se estende no sentido E-W a norte e noroeste da cidade de Rio Maria.

Esses corpos granitóides foram diferenciados por mapeamento geológico, feições estruturais, petrografia, geoquímica e principalmente pelos dados geocronológicos (ALMEIDA et al., 2011; GUIMARÃES, 2009). Os dados estruturais mostraram que o Trondhjemitó Mogno apresenta um padrão estrutural NW-SE a E-W e o Tonalito Mariazinha apresenta uma foliação dominante no sentido NE-SW e N-S. Os dados geocronológicos mostraram que as idades de cristalização desses corpos ígneos são relativamente próximas, 2,96 Ga para o Trondhjemitó Mogno e 2,92 Ga para o Tonalito Mariazinha (ALMEIDA, 2010, ALMEIDA et al., 2010). Apesar desses corpos já se encontrarem bastante estudados, ainda não foi realizado nenhum estudo detalhado de suscetibilidade magnética e caracterização dos minerais óxidos de Fe e Ti, que pudesse auxiliar na definição e entendimento das condições de formação desses magmas em termos de fugacidade de oxigênio. Além disso, a análise do comportamento magnético é uma ferramenta importante na distinção de unidades geológicas.

Um ponto favorável ao desenvolvimento deste trabalho foi o acervo de amostras de mão e de lâminas delgadas disponíveis, o que não acarretaria trabalho de campo demasiados e nem estudo petrográficos detalhados. Outro ponto que deve ser levado em consideração foi à formação profissional do estudante, onde o mesmo ficou em contato direto com metodologias modernas de pesquisas geológicas, que já é por si só, um avanço na capacitação do mesmo. O aluno poderá futuramente repassar os conhecimentos obtidos para outros segmentos, com os quais venha a interagir. Além disso, o desenvolvimento desse trabalho visou estimular o sentimento investigativo do estudante.

3 OBJETIVOS

Com base no conhecimento geológico da área estudada, recentemente ampliado pela dissertação de mestrado de Fabriciana Vieira Guimarães (GUIMARÃES 2009) e a Tese de Doutorado de José de Arimatéia Costa de Almeida (ALMEIDA 2010) foi proposto como objetivo geral o estudo de petrologia magnética do Trondhjemitó Mogno e do Tonalito Parazônia, e ainda vinculado a este trabalho os seguintes objetivos específicos foram alcançados:

- Executar medidas de suscetibilidade magnética em amostras selecionadas destes granitóides, pelo exame macro e microscópico do acervo do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides, bem como, de afloramento diretamente no campo;
- Relacionar o conteúdo modal de minerais opacos com os valores de suscetibilidade magnética das diversas amostras desses corpos granitóides;
- Caracterizar as associações de minerais óxidos de Fe e Ti presentes nas diversas amostras do Tonalito Mariazinha e no Trondhjemitó Mogno, procurando relacioná-las com o comportamento em termos de suscetibilidade magnética;
- Confirmar as características dos minerais opacos presentes nas rochas, através de observações em microscópio ótico e em microscópio eletrônico de varredura (MEV), com o auxílio de imagens de elétrons retroespalhados e análises semi-quantitativas em EDS;
- Utilizar os dados de minerais óxidos de Fe e Ti para avaliar as condições de fO_2 reinantes durante a cristalização *subsólida* do Trondhjemitó Mogno e do Tonalito Mariazinha;
- Discutir o comportamento magnético e os processos que ocorreram durante a evolução desta rocha;
- Comparar os dados obtidos entre estes corpos granitóides e relacioná-los com aqueles obtidos em rochas similares no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria.

4 MATERIAS E MÉTODOS

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Foi realizado um levantamento bibliográfico referente à geologia da Província Carajás, em especial do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, e sobre temas relacionados à petrologia magnética, suscetibilidade magnética e minerais óxidos de Fe e Ti em rochas ígneas.

4.2 TRABALHO DE CAMPO

Para a realização do trabalho, além das amostras coletadas durante o trabalho de mestrado de Fabriciana Vieira Guimarães (acervo litológico do GPPG), foi realizado um trabalho de campo no período de 13 a 18 de novembro de 2010 para as medições de suscetibilidade magnética em *in situ*, em afloramentos previamente selecionados com base nas informações existentes e, em outros encontrados durante o levantamento dos perfis geológicos.

4.3 SÍNTESE DO ESTUDO PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO

Primeiramente foi realizada uma revisão da petrografia macro e microscópicas do Trondhjemito Mogno e do Tonalito Mariazinha com o intuito de familiarizar o estudante sobre a petrografia desses granitóides. Este estudo serviu de apoio para a seleção de amostras para medidas de suscetibilidade magnética, confecção de lâminas polidas para as observações e análises em microscópio eletrônico de varredura.

4.4 MEDIDAS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

As medidas de suscetibilidade magnética foram realizadas em 41 amostras de mão no Laboratório de Petrologia Magnética do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará e em 14 afloramentos de rochas no campo, empregando-se o suscetibilímetro SM-30, fabricado pela *ZH Instruments*, que

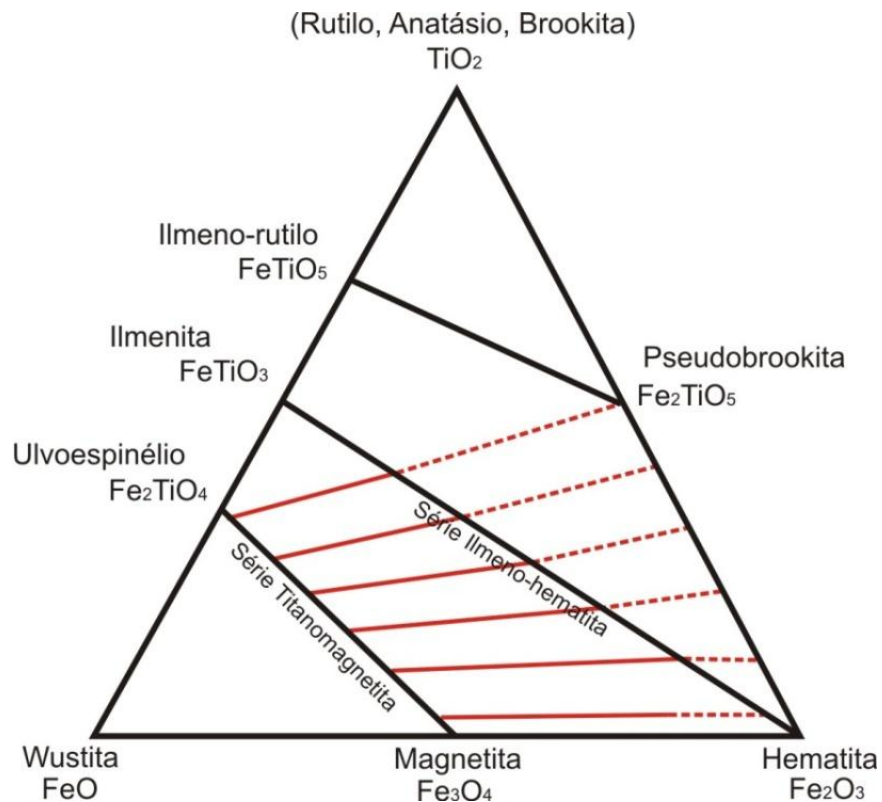
permite medidas em materiais com SM variando até 1×10^{-7} SI. O medidor SM-30 é um equipamento portátil que pode realizar medidas tanto no campo quanto em laboratório. A suscetibilidade magnética da rocha é determinada, por esse aparelho, através de medidas comparativas de indutância. O procedimento consiste primeiramente na obtenção das indutâncias da bobina em contato direto com o ar (sem amostra) e, posteriormente, em contato com a amostra, sendo a suscetibilidade magnética representativa de cada amostra calculada através da razão entre as medidas de indutância do ar e as medidas realizadas na amostra.

A petrologia magnética é uma extensão da petrologia, que integra o estudo das propriedades magnéticas com a petrologia convencional (WASILEWSKI e Warner 1988; FROST 1991). Segundo Clark (1999), esta linha de pesquisa fornece importantes contribuições para a consolidação do conhecimento dos minerais óxidos de Fe e Ti, em trabalhos de cunho petrológicos, ajudando no entendimento dos processos que formaram ou alteraram os minerais magnéticos das rochas.

A suscetibilidade magnética de uma rocha está ligada a quantidade e modo de ocorrência dos minerais ferromagnéticos nela contidos. Estes minerais são responsáveis pela intensidade e estabilidade da suscetibilidade magnética através do tempo. As propriedades magnéticas de uma rocha dependem da partição do Fe entre os minerais óxidos de Fe e Ti, fortemente magnéticos, e as fases fracamente magnéticas. Já esta partição depende da composição química do magma granítico, do estado de oxidação do Fe e das condições petrogenéticas ligadas aos processos de cristalização da rocha (CLARK 1999).

Segundo Haggerty (1979) os minerais magnéticos mais importantes das rochas ígneas podem ser representados em três sistemas químicos: a) sistema FeO-TiO₂-Fe₂O₃ (Figura 3); b) sistema Fe-Ni-S; e c) ligas metálicas: Fe-Ni-Co. Segundo Haggerty (1979), podem existir soluções sólidas envolvendo os componentes de cada um dos sistemas. As composições das fases iniciais dessas soluções sólidas são controladas por suas temperaturas iniciais de formação, pela composição química da rocha, pela presença de solvus ao longo da solução sólida e pela fugacidade de oxigênio (fO_2) e de enxofre (fS_2).

Figura 4 - Diagrama ternário $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$, mostrando os minerais óxidos de Fe e Ti mais comuns. As linhas em vermelho indicam a direção do aumento da oxidação, da esquerda para a direita, com razão Fe/Ti constante. As linhas pretas representam as soluções sólidas entre: magnetita-ulvoespínélio, hematita-ilmenita e pseudobrookita-ilmeno-rutilo (TARLING 1971).



Fonte: (TARLING, 1971).

4.5 ESTUDO PETROGRÁFICO DOS MINERAIS OPACOS

Após as medidas de suscetibilidade magnética foram selecionadas 15 amostras representativas das variedades do Trondhjemito Mogno e do Tonalito Mariazinha para confecções de laminas delgadas adicionais e lâminas polidas para a caracterização das texturas e associações dos minerais opacos, as quais foram estudadas utilizando o microscópio ótico de luz transmitida e refletida.

O estudo minerográfico, cujo enfoque principal foi à caracterização das associações e as texturas dos minerais óxidos de Fe e Ti, a fim de determinar as transformações desses minerais durante a evolução dos corpos estudados. O estudo envolveu o exame de microscopia óptica dos minerais óxidos de Fe e Ti em luz transmitida e refletida a partir de lâminas polidas representativas das variedades petrográficas do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha. Nesta etapa foram

selecionados locais para fotomicrografias, bem como para o estudo em microscópio eletrônico de varredura.

4.6 ESTUDO DE MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA (MEV)

O estudo dos minerais de óxidos de Fe e Ti e acessórios foram realizados no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi, sob a orientação do Dr. Hilton Túlio Costi. O equipamento utilizado foi Microscópio Eletrônico de Varredura modelo **LEO-15 30 VP**. As condições de análises para as imagens de elétrons retro-espalhados foram corrente de feixe de elétrons = 90 μ A, voltagem de aceleração constante = 20Kv, distancia de trabalho = 15 mm.

4.7 TRATAMENTO DOS DADOS

O tratamento estatístico dos dados de suscetibilidade magnética foi realizado com o auxílio do programa **Minitab 15**, a partir da elaboração de diagramas, histogramas de frequência e diagramas de probabilidade.

5 RESULTADOS

5.1 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

5.1.1 Comportamento Magnético do Trondhemito Mogno

As medidas de suscetibilidade magnética foram realizadas em um conjunto de 26 amostras do Trondhemito Mogno, apresentando em geral, baixos valores de suscetibilidade magnética, com média de $5,55 \times 10^{-4}$ SI (v). O menor valor obtido foi de $3,58 \times 10^{-5}$ SI e o maior valor foi de $6,29 \times 10^{-3}$ SI (Tabela 1). Estes valores estatísticos, além de outros complementares são apresentados na Tabela 02.

Tabela 01 - Dados de suscetibilidade magnética de amostras do Trondhjemito Mogno

Populações	Amostras	SM	Log SM (SI)
D	FMR-70	$6,29 \times 10^{-3}$	-2,2013
	FMR-97	$4,60 \times 10^{-3}$	-2,3372
C	FMR-72	$4,41 \times 10^{-4}$	-3,3555
	FMR-74	$4,27 \times 10^{-4}$	-3,3696
	FMR-75	$3,77 \times 10^{-4}$	-3,4236
	FMR-84	$3,75 \times 10^{-4}$	-3,4259
	FMR-101	$3,50 \times 10^{-4}$	-3,4559
	FMR-102	$2,63 \times 10^{-4}$	-3,5800
	FMR-14	$2,52 \times 10^{-4}$	-3,5986
B	FMR-93	$1,25 \times 10^{-4}$	-3,9031
	FMR-71	$1,20 \times 10^{-4}$	-3,9208
	FMR-90	$9,00 \times 10^{-5}$	-4,0457
	FMR-02	$7,30 \times 10^{-5}$	-4,1367
	FMR-98	$6,84 \times 10^{-5}$	-4,1649
	FMR-78	$5,80 \times 10^{-5}$	-4,2366
	FMR-99	$5,76 \times 10^{-5}$	-4,2396
A	FMR-15	$5,55 \times 10^{-5}$	-4,2557
	FMR-03	$5,41 \times 10^{-5}$	-4,2668
	FMR-08	$5,30 \times 10^{-5}$	-4,2757
	FMR-13A	$5,10 \times 10^{-5}$	-4,2924
	FMR-05	$5,03 \times 10^{-5}$	-4,2984
	FMR-73	$4,60 \times 10^{-5}$	-4,3372
	FMR-86	$4,60 \times 10^{-5}$	-4,3372
	FMR-01	$7,30 \times 10^{-5}$	-4,1366
	FMR-88	$4,53 \times 10^{-5}$	-4,3439
FMR-11	$3,58 \times 10^{-5}$	-4,4461	

Tabela 02 - Parâmetros estatísticos dos dados de suscetibilidade magnética das amostras do Trondhjemito Mogno obtidos de um total de 26 amostras.

Parâmetros estatísticos	SM (SIv)
Media	$5,557 \times 10^{-4}$
Mediana	$7,07 \times 10^{-5}$
Variância	$2,06 \times 10^{-6}$
Desvio Padrão	$1,436 \times 10^{-3}$
Média geométrica	$1,353 \times 10^{-4}$
Valor Mínimo	$3,58 \times 10^{-5}$
Valor Máximo	$6,29 \times 10^{-3}$
Número de amostras	26

O histograma de frequência (Figura 5) indica que as amostras do Trondhjemito Mogno apresentam uma distribuição unimodal e assimétrica em termos de suscetibilidade magnética, apresentando maior concentração de amostras entre os valores $4,53 \times 10^{-5}$ e $5,55 \times 10^{-5}$ Siv (Tabela 1).

A partir da interpretação do gráfico de probabilidade (Figura 6) foi possível a separação em quatro populações referentes aos valores de suscetibilidade magnética, denominadas de população **A**, **B**, **C** e **D**. A população **A** contem 38% das amostras, considerada a moda entre as classes do histograma, apresentando valores de Log SM entre -4.341 e -4.256, sendo os menores valores obtidos. A população **B** contem 27% das amostras, apresentando valores de Log SM entre -4,2396 e -3.903; e a população **C** contendo 27% das amostras apresenta valores de SM entre -4.239 e -3.355. Apesar de possuir somente duas amostras (11%), a população **D** apresenta os maiores valores de suscetibilidade magnética entre -2.337 e -2.201, os quais correspondem às amostras **FMR-70** e **FMR-97**. Valores estes considerados bastante elevados comparados com as demais populações. A amostra **FMR-11** corresponde ao menor valor obtido, encontrando-se separado do *trend* pertencente à população **A**, apesar de possuir um valor de SM relativamente próximo dos valores dessa população.

Figura 5 - Histograma de frequência referente aos dados de suscetibilidade magnética das amostras do Trondhjemito Mogno

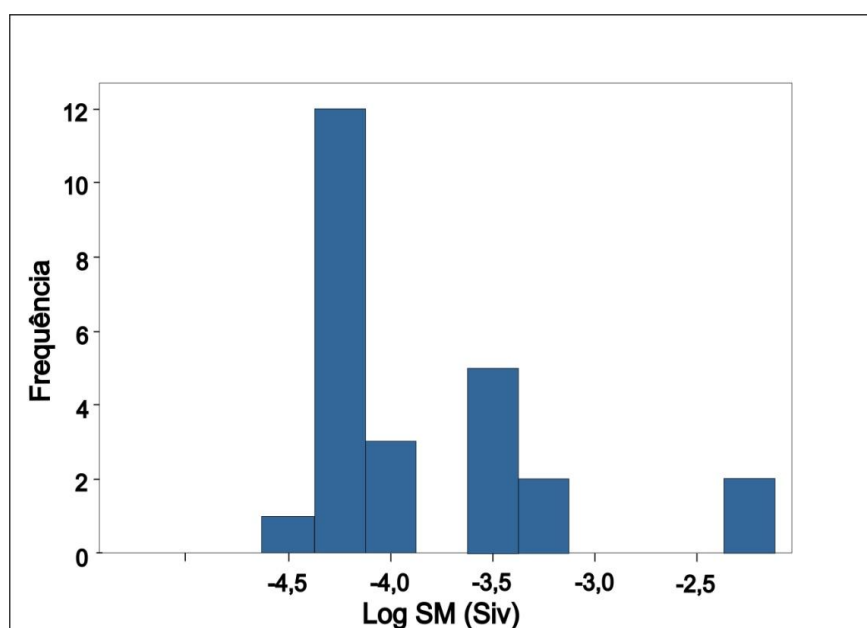
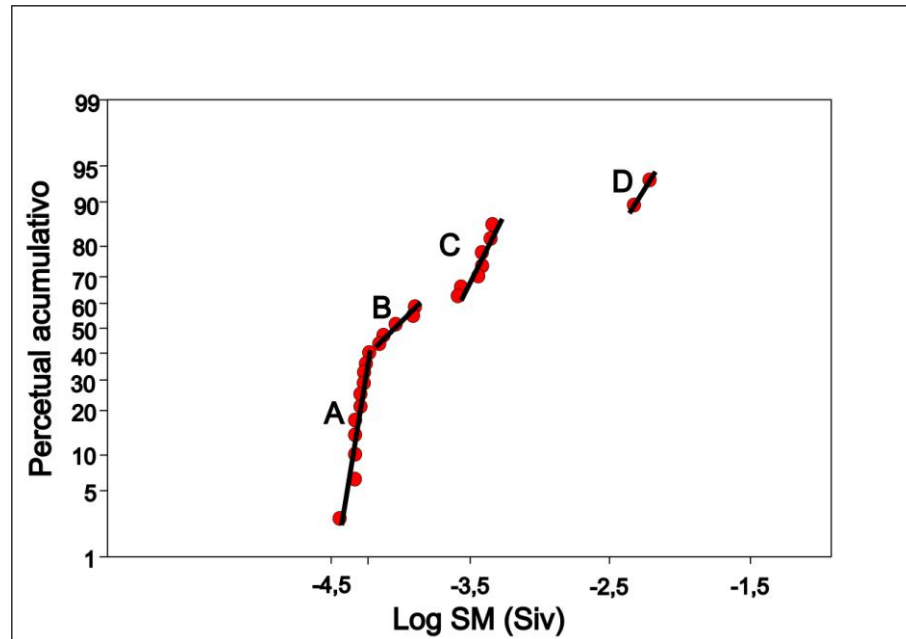


Figura 6 - Gráfico de probabilidade referente aos dados de suscetibilidade magnética das amostras do Trondhjemito Mogno.



5.1.2 Comportamento magnético do Tonalito Mariazinha

No Tonalito Mariazinha as medidas de suscetibilidade magnética foram realizadas em um conjunto de 15 amostras, apresentando valores médios de $2,815 \times 10^{-3}$ Si(v), apresentando valores mínimos e máximos variando entre $1,17 \times 10^{-6}$ e $5,87 \times 10^{-3}$ Si(v). Estes valores estatísticos além de outros complementares são apresentados na Tabela 03. Na Tabela 4 constam os parâmetros estatísticos dos dados de suscetibilidade magnética.

O histograma de frequência (Figura 7) indica claramente que as amostras do Tonalito Mariazinha apresentam uma distribuição unimodal dos valores de suscetibilidade magnética, com a maioria das amostras concentrando-se no intervalo de $1,85 \times 10^{-3}$ a $3,52 \times 10^{-3}$ SI(v) representando 66,6% das amostras.

Tabela 3 – Dados de suscetibilidade magnética de amostras do Tonalito Mariazinha.

Populações	Amostras	SM	Log SM
B	FMR- 103	$5,87 \times 10^{-3}$	-2,2314
	RAM-22	$5,47 \times 10^{-3}$	-2,2620
	RAM-19B	$4,41 \times 10^{-3}$	-2,3555
A	RAM-05	$3,52 \times 10^{-3}$	-2,4534
	FMR 57	$3,46 \times 10^{-3}$	-2,4609
	FMR-29	$3,12 \times 10^{-3}$	-2,5058
	FMR 24	$3,00 \times 10^{-3}$	-2,5229
	FMR 28	$2,99 \times 10^{-3}$	-2,5243
	FMR 34 A	$2,58 \times 10^{-3}$	-2,5884
	FMR-30	$2,45 \times 10^{-3}$	-2,6108
	FMR 25	$2,28 \times 10^{-3}$	-2,6421
	FMR-37	$2,25 \times 10^{-3}$	-2,6478
	FMR-36	$1,85 \times 10^{-3}$	-2,7328
	-	FMR 43	$4,87 \times 10^{-3}$
-	FMR- 20	$1,17 \times 10^{-4}$	-3,9318

Tabela 4 - Parâmetros estatísticos dos dados de suscetibilidade magnética, obtidos de um total de 15 amostras do Tonalito Mariazinha.

Parâmetros estatísticos	SM (SIv)
Media	$2,815 \times 10^{-3}$
Mediana	$2,785 \times 10^{-3}$
Variância	$2,553 \times 10^{-3}$
Desvio Padrão	$1,598 \times 10^{-3}$
Média geométrica	$1,691 \times 10^{-3}$
Valor Mínimo	$1,17 \times 10^{-4}$
Valor Máximo	$5,87 \times 10^{-3}$
Número de amostras	15

A partir da interpretação do gráfico de probabilidade (Figura 8) foi possível a separação em duas populações referentes aos valores de suscetibilidade magnética, denominadas de população **A** e **B**, e dois valores anômalos que apresentaram suscetibilidade magnética menores, quando comparados com a média obtida (amostras **FMR-20** e **FMR-43**). A população **A** representada por 66% das amostras, apresenta valores de log SM variando de 2,7328 a -2,4535, é representada pelas classes modais do histograma (Figura 8). A população **B** representada por 20% das

amostras, possui os maiores valores de suscetibilidade magnética encontrados no Tonalito Mariazinha, com Log SM variando de -2,3556 e -2,2314.

Figura 7 - Histograma de frequência referente aos dados de suscetibilidade magnética das amostras do Tonalito Mariazinha.

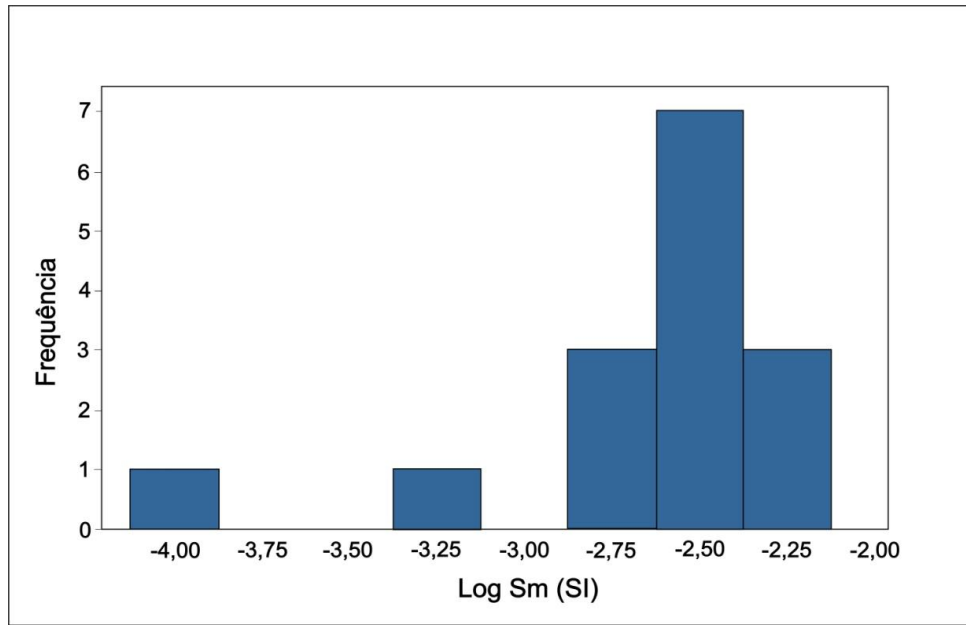
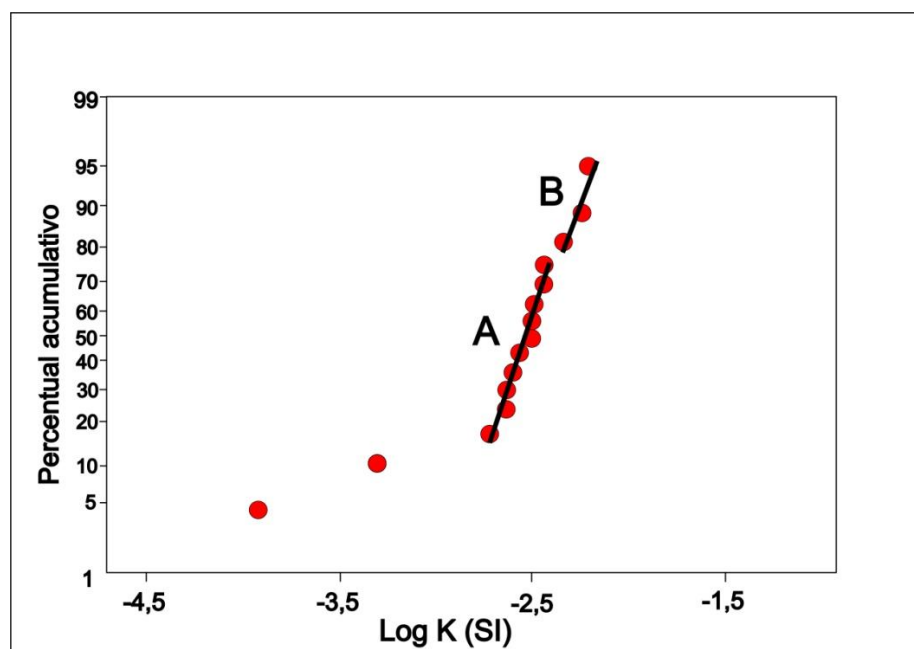


Figura 8 - Gráfico de probabilidade referente aos dados de suscetibilidade magnética das amostras do Tonalito Mariazinha.



5.2. SÍNTESE SOBRE OS ASPECTOS PETROGRÁFICOS E COMPOSIÇÕES MODAIS DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA

O Trondhjemitó Mogno e o Tonalito Mariazinha apresentam características petrográficas muito semelhantes, apresentando variações principalmente nas percentagens de seus constituintes minerais. No trabalho realizado por Guimarães (2009) o resultado das análises modais lançadas em diagrama Q-A-P, revelou que essas rochas incidem no campo dos tonalitos-trondhjemitos, deste modo, a classificação petrográfica foi baseada no teor dos minerais máficos. Segundo Le Maitre (2002) as rochas trondhjemiticas apresentam conteúdos de minerais máficos inferiores a 10%, enquanto os tonalitos apresentam valores maiores que 10%. Tanto o Trondhjemitó Mogno quanto o Tonalito Mariazinha apresentam médias de 48,5% de plagioclásio, entre 30 e 40% de quartzo modal e o alcali-feldspato é um constituinte acessório. Dentre os minerais varietais destaca-se a biotita como o principal mineral ferromagnésico, com anfibólios ausentes e, com conteúdos modais significativos de epidoto máfico. Os minerais acessórios são representados por minerais opacos (que serão estudados com detalhes mais adiante), epidoto, apatita, titanita, allanita. Como minerais secundários têm-se clorita como produto de transformação da biotita, epidoto e sericita-muscovita substituindo o plagioclásio.

Estes granitóides apresentam aspectos texturais similares. A textura predominante é a granular hipidiomórfica média, podendo estar obliterada pela ação da deformação. A deformação pode ser de modo incipiente afetando apenas o quartzo, ou até intensa, gerando texturas protomiloníticas a miloníticas (GUIMARÃES 2009).

Os cristais de quartzo possuem tamanhos equigranulares a inequigranulares e formas hipidiomórficas a alotriomórficas, com dimensões iguais ou menores que 3mm. Apresentam contatos irregulares e sinuosos entre si, ondulados com os cristais de plagioclásio e geralmente retilíneos com a biotita. Podem apresentar inclusões de biotita, plagioclásio e zircão. Possuem deformações variadas, por vezes subédrico sem deformação, levemente estirados ou bastante deformados apresentando extinção ondulante, com a formação de grãos submilimétricos em suas bordas.

Estes granitóides apresentam algumas diferenças texturais marcantes, no entanto destaca-se a textura dos cristais de plagioclásio. No Trondhjemito Mogno os cristais de plagioclásios são predominantemente hipidiomórficos, apresentando dimensões iguais ou menores que 5 mm, estando bastante alterado para sericita e epidoto. Há indícios de zoneamento normal e subordinadamente, cristais com zoneamento oscilatório. Localmente possuem texturas mimerquíticas. No Tonalito Mariazinha os cristais de plagioclásio são mais límpido, menos alterados e mais deformados, quando comparados com os cristais de plagioclásio do Trondhjemito Mogno. Porém alguns cristais apresentam uma discreta extinção ondulante e uma incipiente alteração para sericita, muscovita e localmente para carbonatos. Possuem contatos irregulares e retilíneos entre si.

Os raros cristais de feldspato potássico são alotriomórficos, de granulação fina a média, apresentando contatos irregulares com os cristais de quartzo e contatos retilíneos entre si. Os cristais de biotita ocorrem na forma de lamelas, hipidiomórficas, de granulação fina a média, apresentando geralmente uma orientação, na qual define a foliação da rocha. Está associada com cristais de titanita e epidoto magmático. Os cristais de epidoto presentes podem ser de origem magmática ou secundária. O epidoto magmático é idiomórfico e hipidiomórfico, geralmente associado com apatita e allanita; o epidoto secundário ocorre sob forma de cristais muito finos, alotriomórficos produto de saussuritização dos cristais de plagioclásio.

5.3 ESTUDO PETROGRÁFICO DOS MINERAIS ÓXIDOS DE Fe e Ti

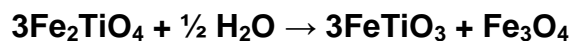
5.3.1 Trondhjemito Mogno

Dentre os minerais óxidos de Fe e Ti a ilmenita (FeTiO_2) é a fase predominante nas amostras estudadas do Trondhjemito Mogno. A magnetita está presente, porém no geral ocorre como uma fase subordinada. No entanto, na região de contato com o Tonalito Mariazinha duas amostras apresentaram magnetita.

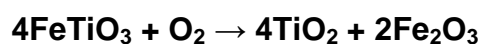
A ilmenita individual (Ilm I) ocorre em cristais submilimétricos (média de 0,1mm) alotriomórficos a hipidiomórficos, pouco fraturados, associados à titanita (Ttn), biotita (Bt), epidoto (Ep), podendo ou não ter apatita. Um aspecto textural

bastante comum neste granitóide é a titanita envolvendo quase por completo o cristal de Ilm I (Figuras 9 e 10). A Ilm I ocorre sempre nos interstícios do quartzo e plagioclásio ou entre cristais plagioclásios. Localmente, foi verificada a presença de cristais magnetita na amostra FMR-97, de cristais de Ilmenita *sandwich* (Ilm S) na amostra FMR-70 e ilmenita com exsoluções de hematita nas amostras FMR-70 e FMR-72 (Figura 11). No entanto, essas texturas não são bem visualizadas na microscopia óptica, devido ao mau polimento das lâminas, podendo ser observadas melhor nas imagens de elétrons retroespalhados do microscópio eletrônico de varredura.

Segundo Buddington & Lindsley (1964) e Haggerty (1981) a Ilm S apresenta-se como faixas contínuas no interior da magnetita. Este aspecto textural pode se formar a partir da cristalização direta do magma, ou da alteração da magnetita rica em Ti em ilmenita pelo processo de difusão ou exsolução-oxidação, decorrentes da seguinte reação:



Segundo Haggert (1991) nos estágios mais avançados da oxidação da ilmenita podem ser formados minerais secundários como rutilo, hematita ou ilmeno-hematita através da seguinte reação:



A magnetita (Mt) ocorre em cristais submilimétricos (média de 0,4mm.) hipidiomórficos a idiomórficos, pouco fraturados, por vezes corroídos parcialmente. Estão associadas frequentemente com epidoto, podendo também ocorrer com biotita e apatita, além de poder apresentar oxi-exsoluções de ilmenita. Alguns cristais apresentam pequenos intercrescimentos de hematita (martitização), na forma de finos traços no interior ou na borda dos cristais de magnetita (Figura 11).

Segundo Haggerty (1981) o processo de martitização ocorre devido ao processo de substituição ao longo dos planos (111) dos cristais de magnetita, sobretudo em magnetitas pobres em Ti, como pode ser observado na reação abaixo:

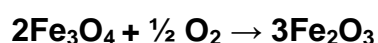


Figura 9 - Fotomicrografia mostrando os principais modos de ocorrência da ilmenita individual (Ilm I). (A), (B), (C) e (D): cristais anédricos de Ilm I, apresentando borda alterada para titanita, associadas ao plagioclásio e epidoto. (E) e (F): cristais anédricos de Ilm I levemente corroídos, sem a borda de titanita. (B, C, E e F - luz refletida); (A - luz transmitida); (D - luz transmitida com nicóis cruzados)

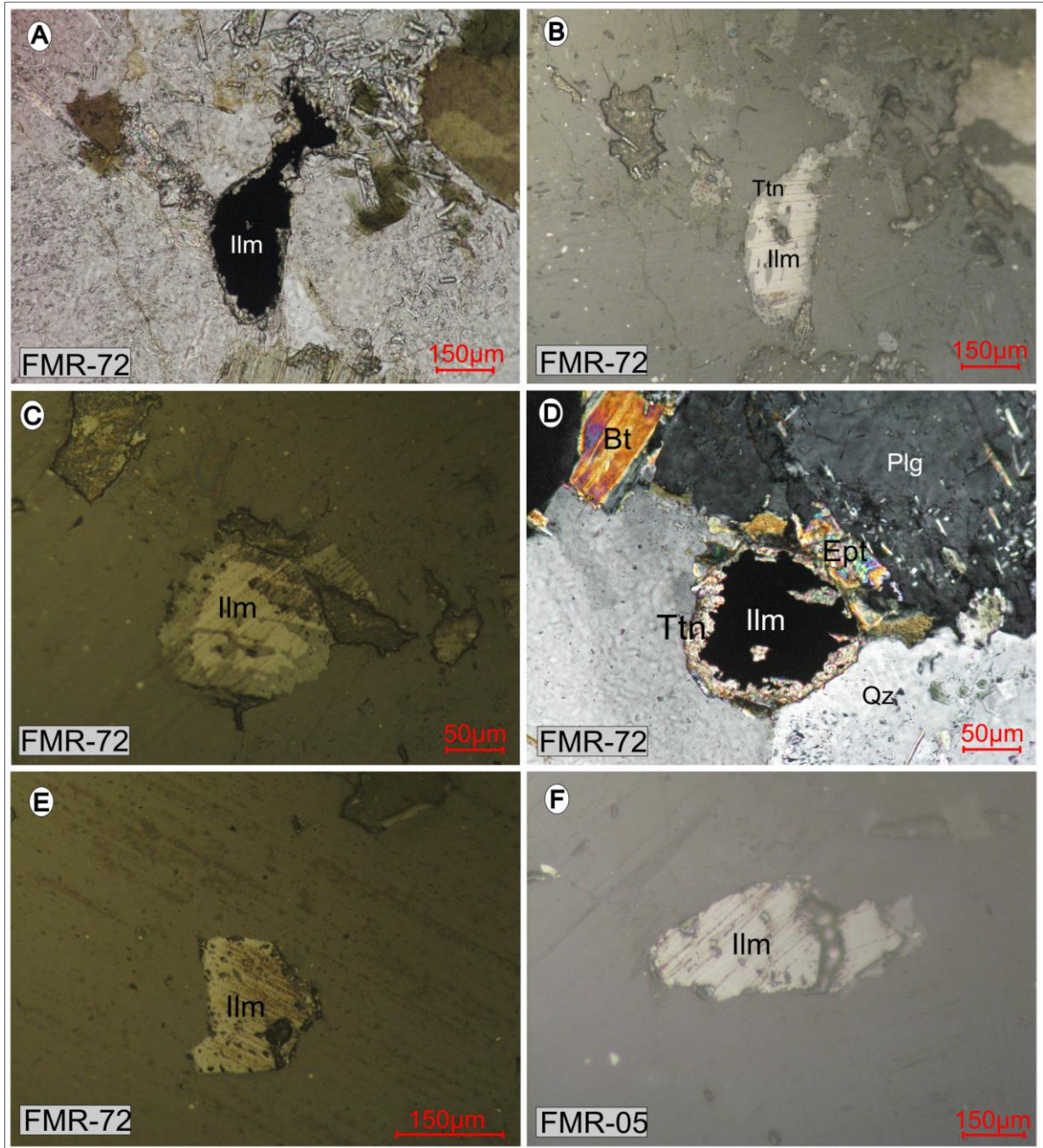


Figura 10 - Fotomicrografias mostrando cristais de ilmenita individual Ilm I bordejadas por titanita. (A) e (B): cristal anédrico de ilmenita apresentando coroa de alteração para titanita, associada também a biotita. (C) e (D): cristal amebóide de ilmenita. (E) e (F): cristais de ilmenita associados com plagioclásio, clorita e biotita. (A e C - luz natural transmitida); (B e D - Luz refletida); (E e F - luz transmitida com nicóis cruzados).

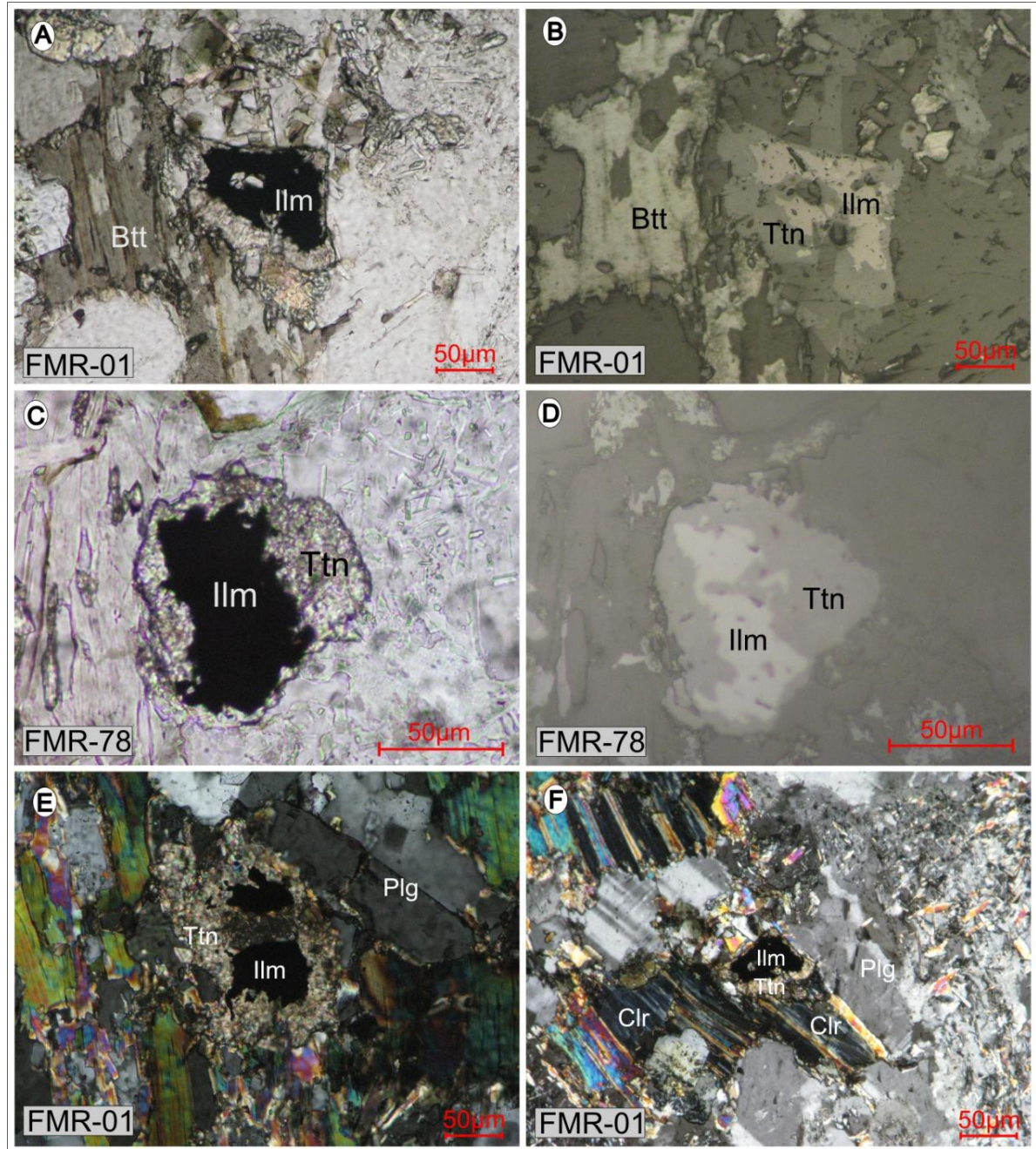
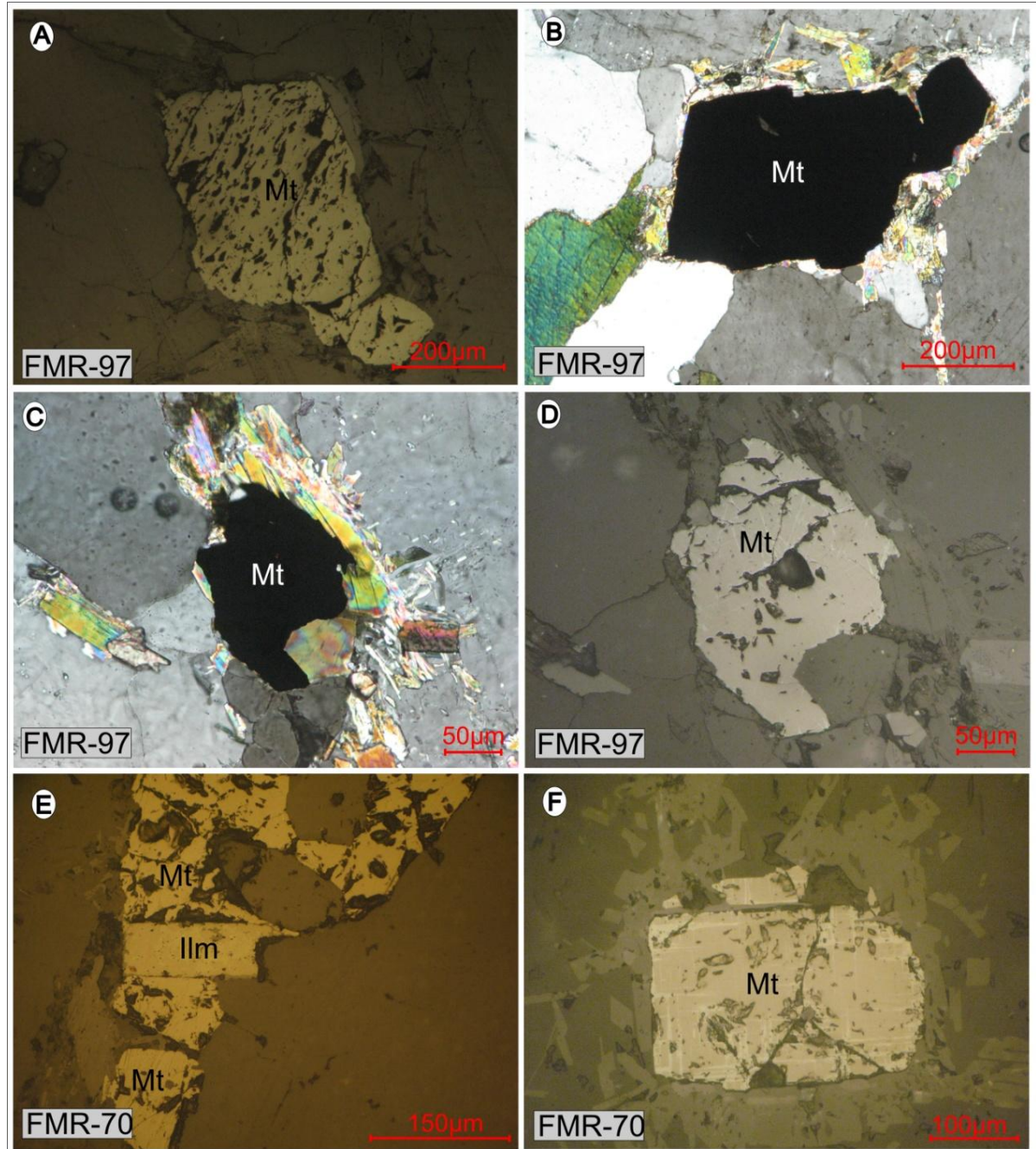


Figura 11 - Fotomicrografia mostrando os principais modos de ocorrência da magnetita nas rochas do Trondhjemito Mogno. (A) e (B): cristal euédrico de magnetita associada à biotita, plagioclásio e quartzo. (C) e (D): cristal anédrico de magnetita associados à biotita e plagioclásio. (E): magnetita associada à ilmenita *sandwich* (Ilm S). (F): cristal euédrico de magnetita possuindo finas lamelas de martita. (A, D, E, F – luz refletida) (B e C - luz transmitida com nicóis cruzados)



5.3.2 Tonalito Mariazinha

Os minerais opacos identificados no Tonalito Mariazinha são representados principalmente pelos óxidos de magnetita (Mt), hematita (ocorrendo a partir do processo de martitização da magnetita) e, ocasionalmente pirita e goethita (Gt). Dentre esses minerais a magnetita é o opaco dominante no litotipo, ocorrendo de forma pouco variável em termos de conteúdo modal e textural.

A magnetita (Mt) é representada por cristais submilimétricos hipidiomórficos a xenomórficos, por vezes corroídos, parcialmente fraturados, podendo estar associados com biotita, epidoto, apatita, quase sempre entre cristais de plagioclásio e/ou quartzo. Apresentam por vezes, finas lamelas de hematita (Figuras 12, 13 e 14). De acordo com as relações texturais envolvendo os cristais de magnetita com os minerais ferromagnesianos e félsicos, foi possível identificar um caráter precoce na cristalização magmática dos cristais de magnetita, podendo ser considerada como primária, porém há localmente registros de magnetita hidrotermal.

A pirita (Py) foi encontrada localmente, sendo representada por um cristal subédrico apresentando tamanho submilimétrico. Ocorre associada com feldspatos e biotita, além de possuir bordas de goethita em “coroa” (Figura 14 F).

A Goethita (Gt) ocorre localmente, sendo resultante dos processos de oxidação mais tardios.

Figura 12 - Fotomicrografias mostrando os principais modos de ocorrência da magnetita. (A) e (B): cristal euédrico de magnetita, levemente martitzada. (C) e (D): cristal euédrico de magnetita associada ao plagioclásio, quartzo e biotita. (E) e (F) cristal de magnetita parcialmente fraturada e corroída, associada à allanita e plagioclásio. (A, D e E – luz refletida); (B- luz transmitida); (C e F - luz refletida com nicóis cruzados). (A, D e E – luz refletida); (B- luz transmitida); (C e F - luz refletida com nicóis cruzados).

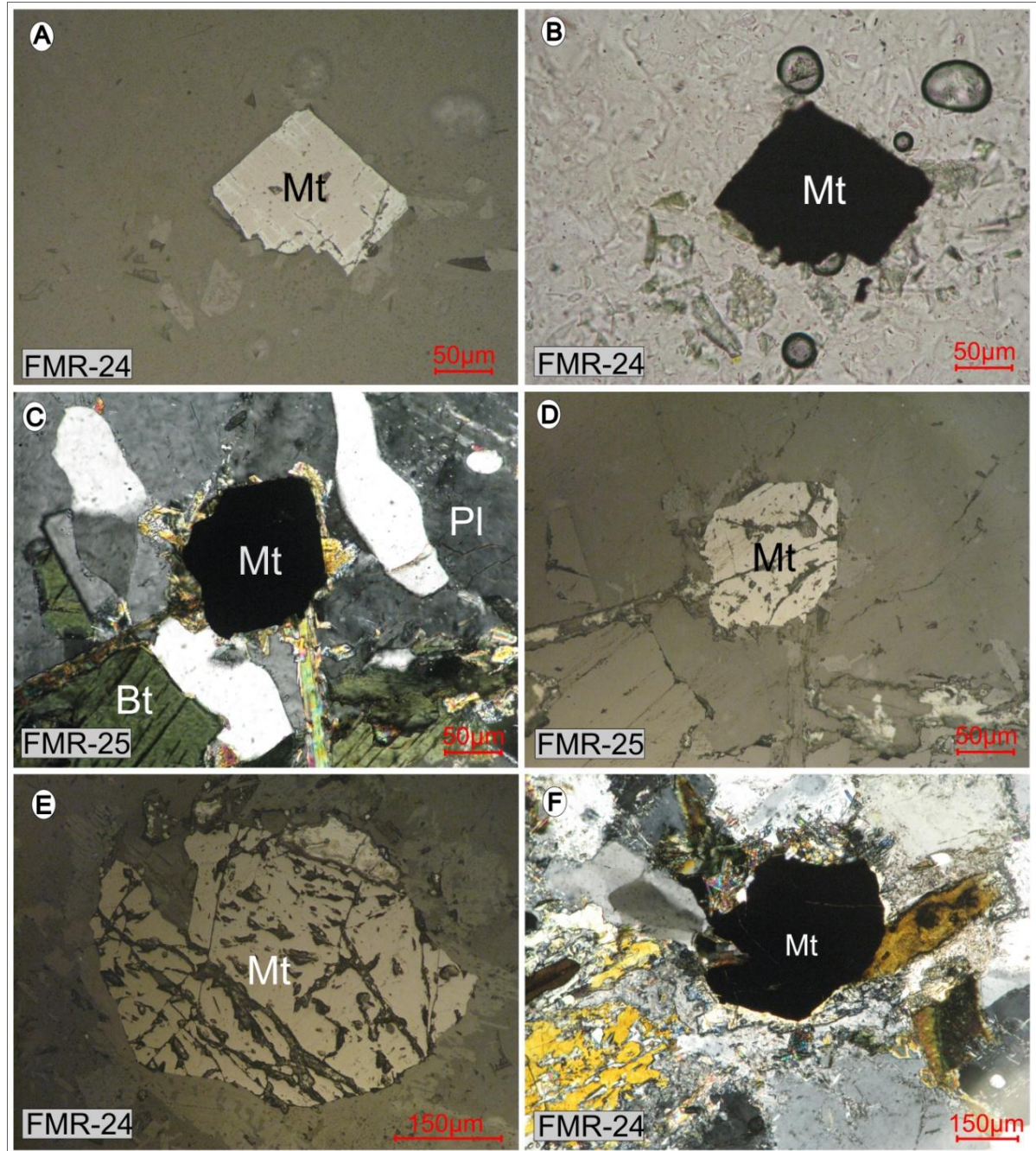


Figura 13 - Fotomicrografia dos cristais de magnetita do Tonalito Mariazinha. (A): cristal anédrico de magnetita associados à biotita, epidoto e plagioclásio. (B): detalhe do cristal de magnetita mostrando em "A", não possui textura de exsolução-oxidação. (C) e (D): cristal anédrico de magnetita moderadamente fraturado e corroído. (E) e (F): cristal subédrico de magnetita, associada a plagioclásios e hornblenda, mineral raro nessas rochas. (D e E - Luz transmitida. (A - luz transmitida com nicóis cruzados).

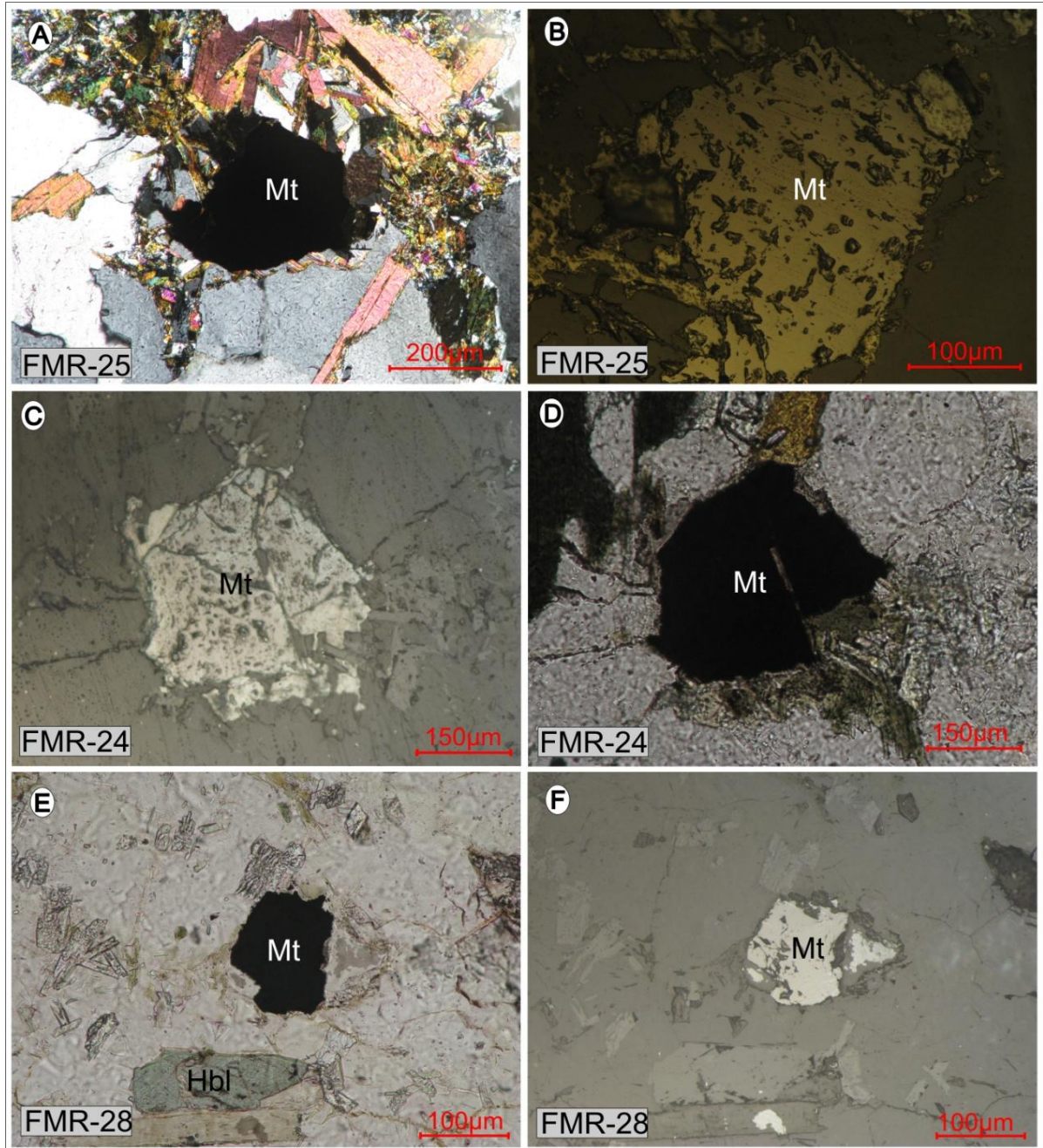
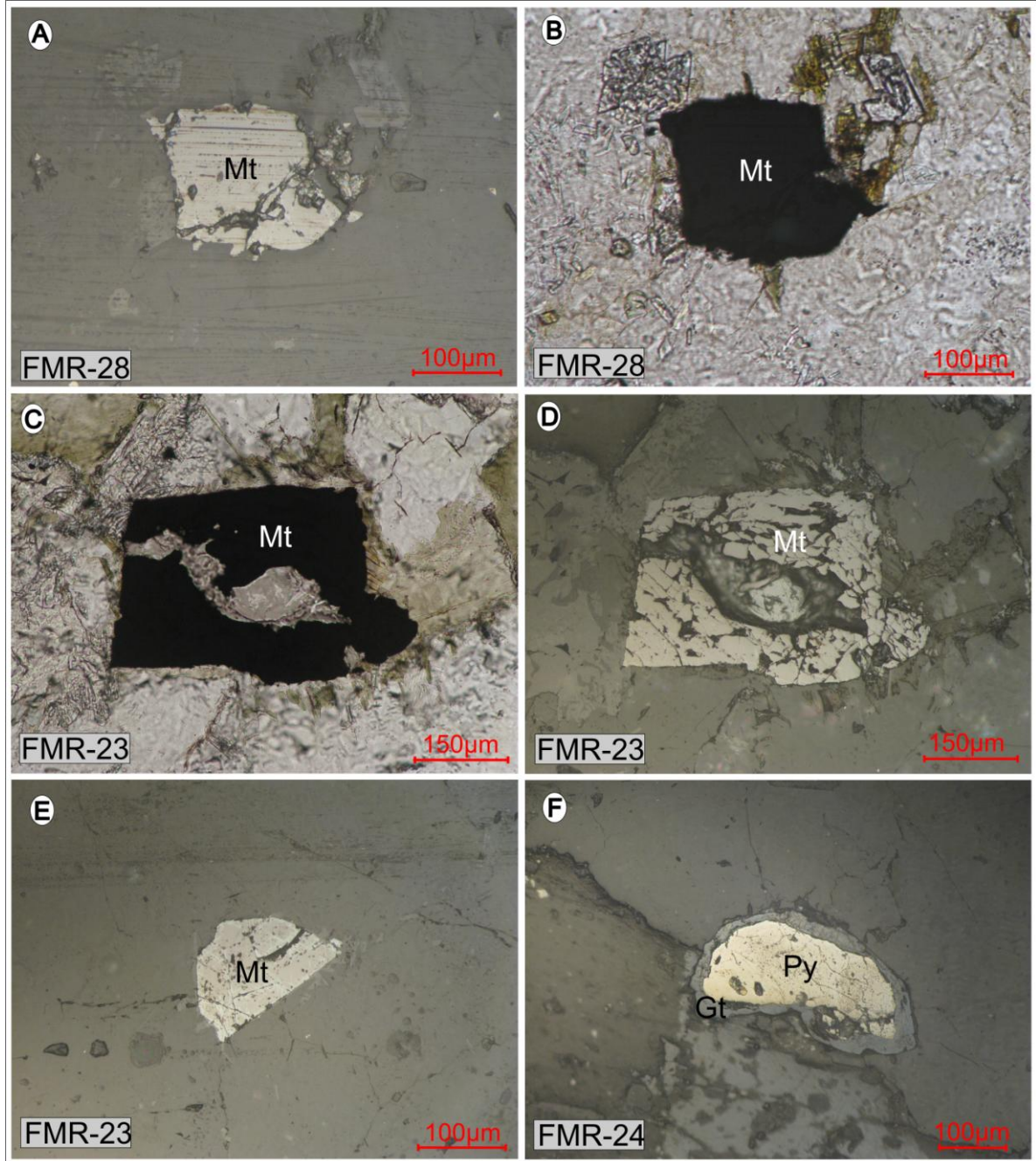


Figura 14 - Fotomicrografias mostrando os minerais opacos presentes no Tonalito Mariazinha. (A), (B e (E): cristais subédricos de magnetita moderadamente corroídos. (C) e (D): cristais subédricos de magnetita mostrando uma cavidade provavelmente resultante de processos corrosivos. (F): cristal de pirita com destaque para sua borda, constituída de goethita. (A, D, E e F – luz refletida), (B e C - luz transmitida).



5.3 MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA EM MINERAIS ÓXIDOS DE Fe E Ti.

Por meio de análises semiquantitativas em EDS e imagens de elétrons retroespalhados foram estudadas oito amostras representativas das variedades petrográficas do Trondhjemito Mogno e do Tonalito Mariazinha.

5.3.1 Trondhjemito Mogno

Os espectros de raios-x obtidos por meio de EDS demonstram que a os cristais de ilmenita são compostos principalmente por Fe, Ti e O, podendo apresentar valores consideráveis de Mn (Figuras 15 e 16). As características texturais encontrados no Trondhjemito Mogno sugerem a predominância de cristais anédricos de Ilmenita individual (Ilm I), bordejadas por titanita. A ilmenita ocorre associada a cristais de biotita cloritizados e epidoto.

Porém, há registros locais da presença de cristais contendo exolução entre ilmenita e hematita na amostra FMR-72 (Figura 17) e na amostra FMR-70 (Figura 18), verificaram-se ainda, cristais de Ilmenita *Sandwich* (Ilm S) na amostra FMR-70 (Figura 19) e de cristais de magnetita nas amostras FMR-70 e FMR – 97 (Figuras 20 e 21). Os aspectos texturais dos cristais de magnetita são representados por cristais primários homogêneos, assim também como cristais heterogêneos, caracterizados pela associação entre as fases minerais da magnetita e ilmenita. Os espectros de raios-x obtidos por meio de EDS demonstram que a magnetita é muito pura, quando ocorre de forma homogênea, sendo composta basicamente por Fe e O (Figuras 20 e 21). Quando ocorre associada com a ilmenita, apresenta um leve enriquecimento em Ti, ocorrendo também pequenas impurezas de elementos traços de Si (Figura 19).

Figura 15 - Imagens de elétrons retroespalhados da amostra FMR-01 do Trondhjemito Mogno mostrando a ocorrência da Ilmenita *Individual* (Ilm I), bordejada por titanita, e associada também à biotita, epidoto e clorita.

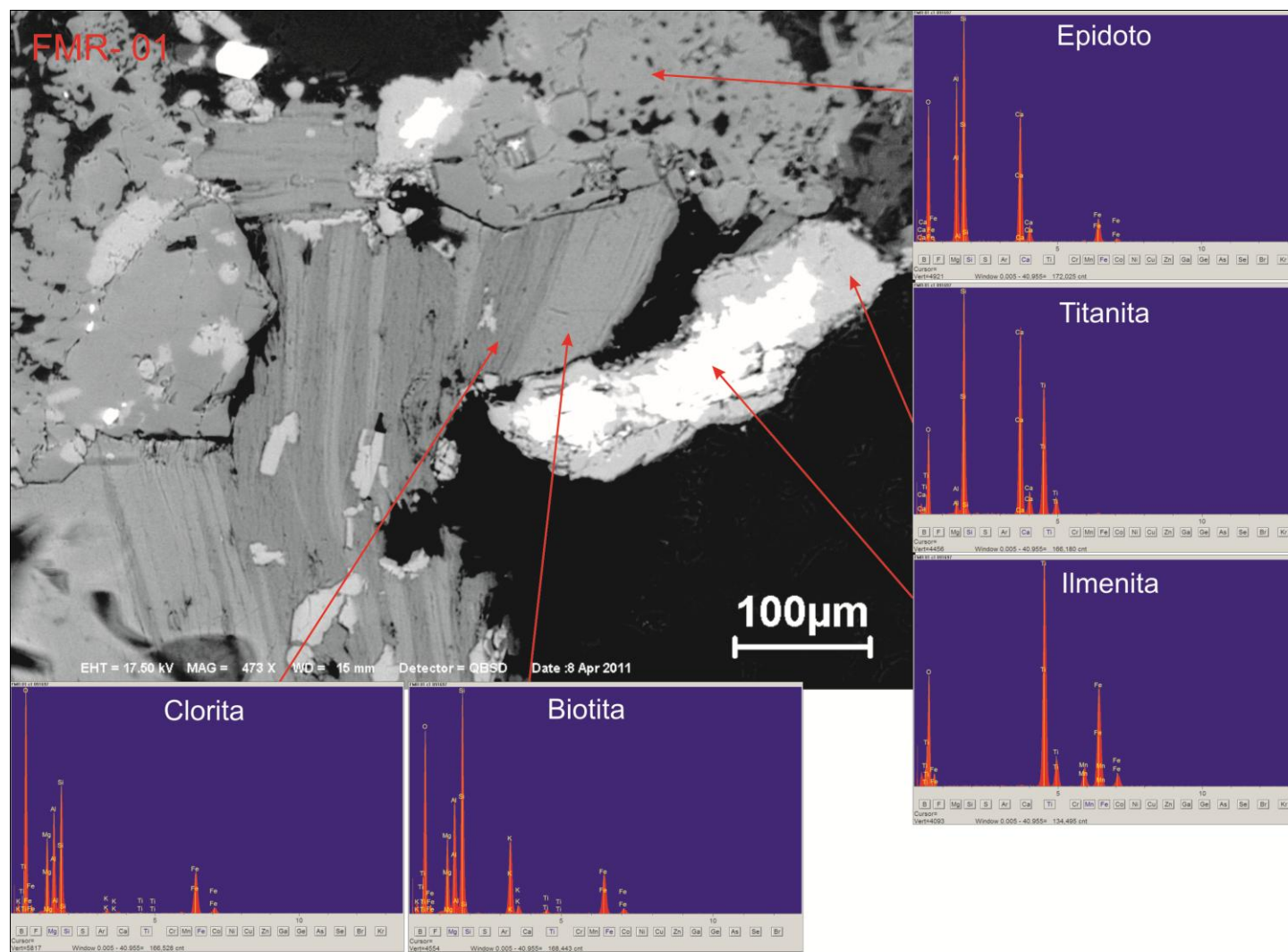


Figura 16 - Imagens de elétrons retroespalhados da amostra FMR-78 do Trondhjemito Mogno, mostrando a ocorrência de Ilmenita *Individual* (Ilm I), sempre alterando para titanita. Associadas também com cristais de epidoto e plagioclásio.

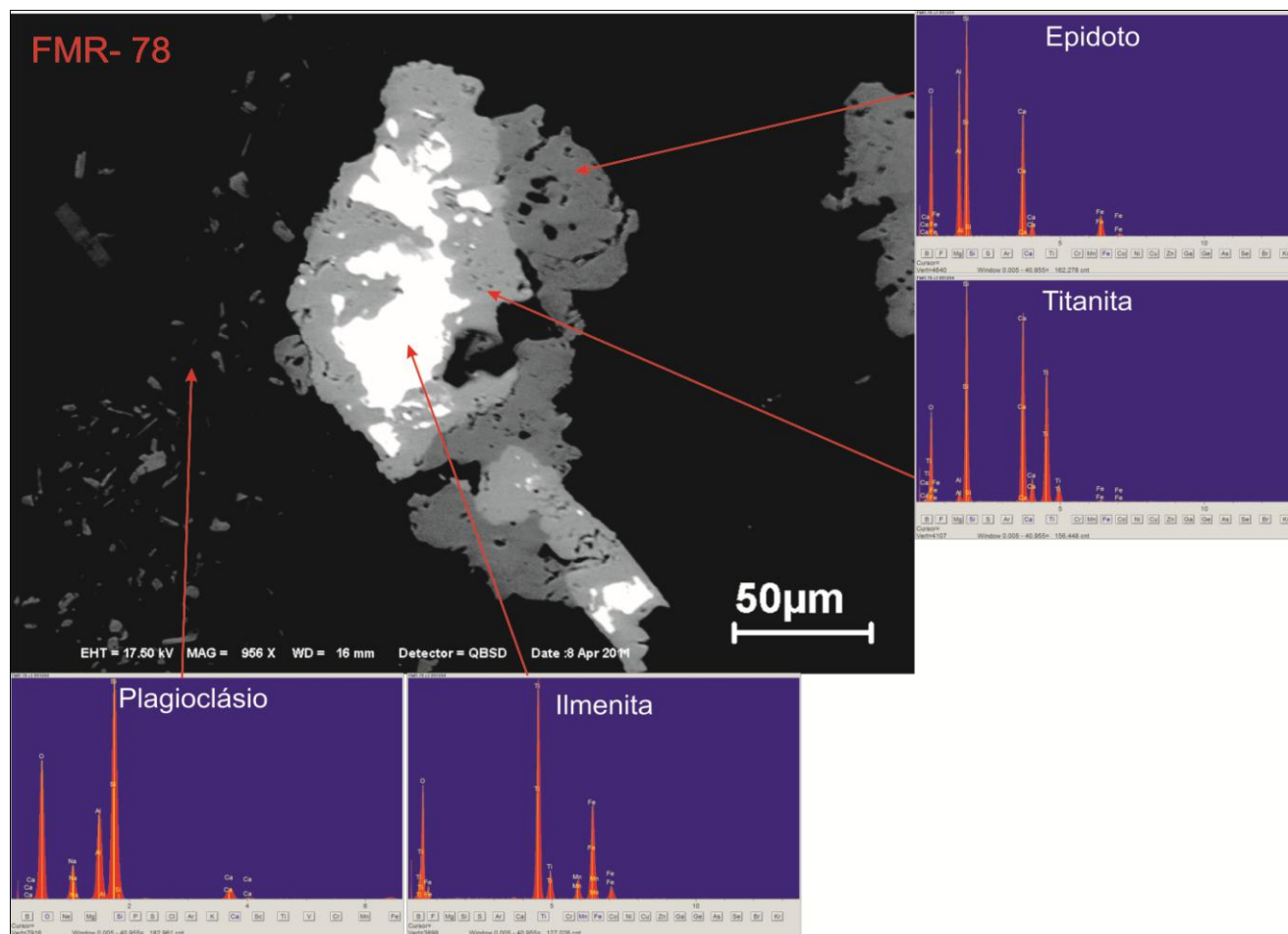


Figura 17 - Imagem de elétrons retroespalhados da amostra FMR-72 do Trondhjemito Mogno, mostrando cristal com exolução entre ilmenita e hematita.

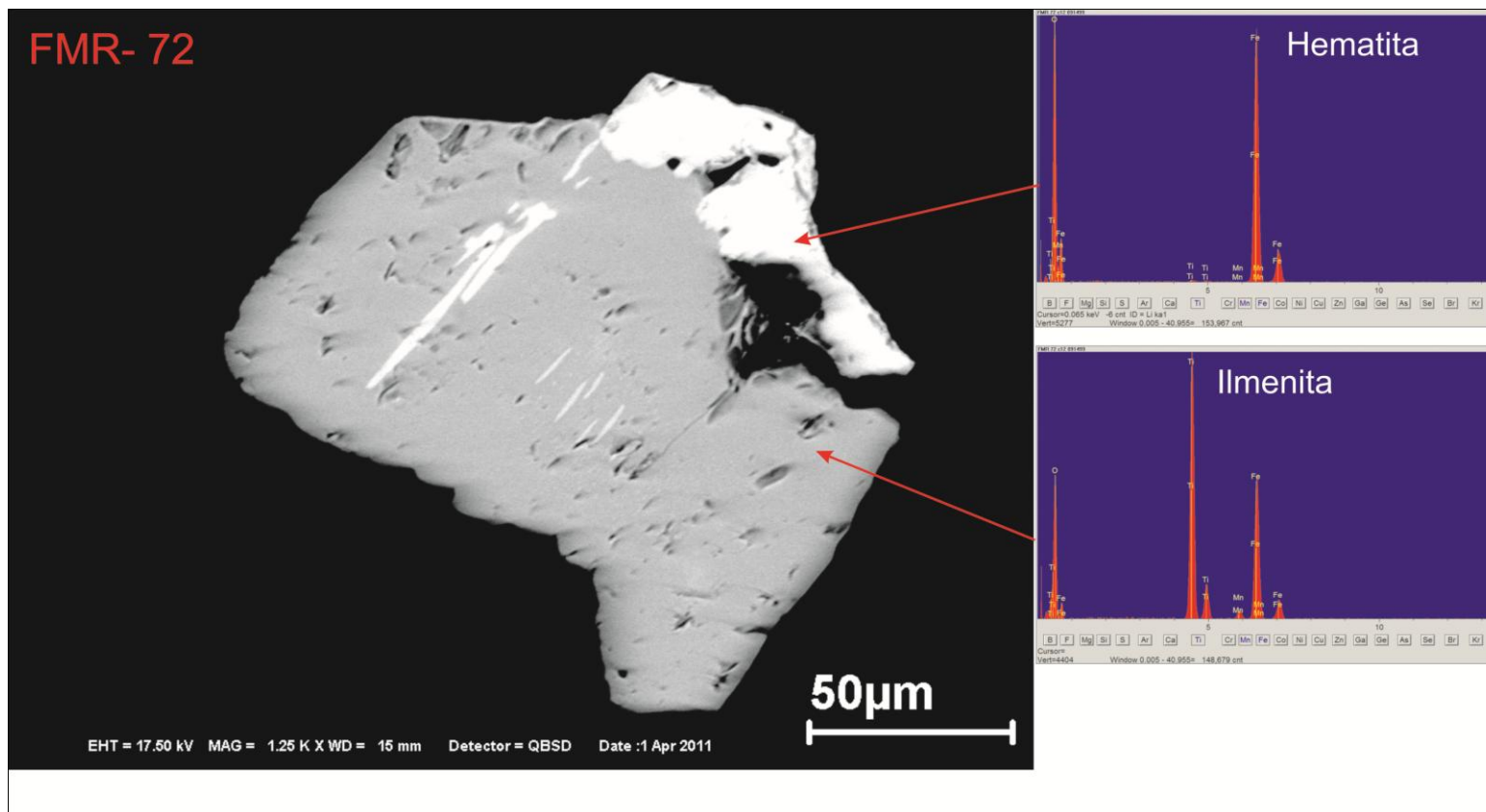


Figura 18 - Imagem de elétrons retroespalhados da amostra FMR-70, mapeada como Trondhjemito Mogno por Guimarães (2009) apresentando cristais com exolução entre ilmenita e hematita. Nesta mesma amostra foram identificados cristais euédricos de magnetita, os valores de SM são de 10^{-3} , ou seja, similares aos encontrado em amostras do Tonalito Mariazinha.

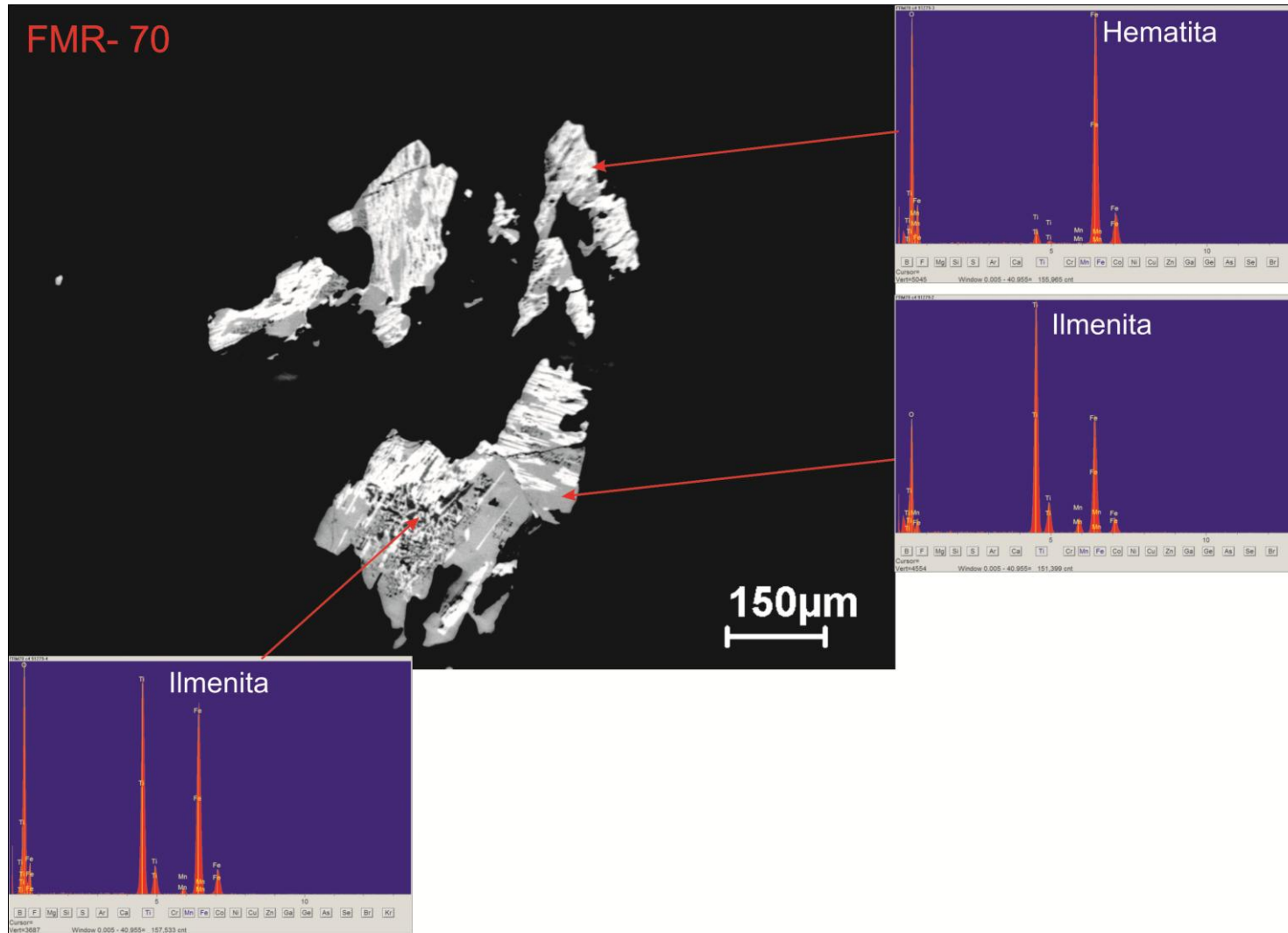


Figura 19 - Imagem de elétrons retroespalhados mostrando a ocorrência da ilmenita associada com a magnetita na amostra FMR-70, representada na imagem pela Ilmenita *Sandwich* (Ilm S). Esta amostra foi mapeada como Trondhjemito Mogno por GUIMARÃES (2009) apresentando cristais de Magnetita e ilmenita associadas. Nesta mesma amostra foram identificados cristais euédricos de magnetita, os valores de SM são de 10^{-3} , ou seja, similares aos encontrado em amostras do Tonalito Mariazinha.

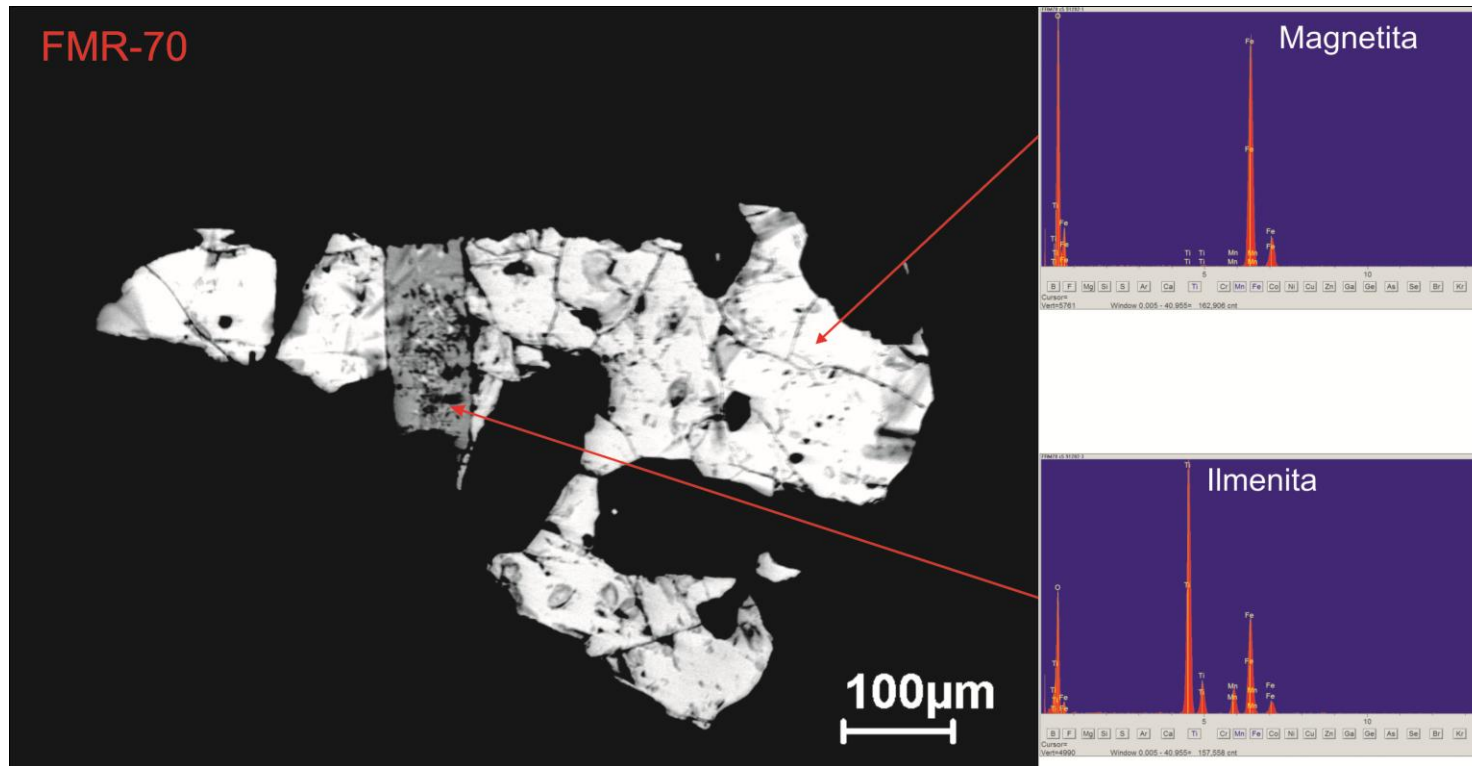


Figura 20 - Imagem de elétrons retroespalhados da amostra FMR-70 do Trondhejemito Mogno, mapeada como Trondhejemito Mogno por Guimarães (2009), apresentando cristal de magnetita euédrico de composição homogênea. Esta amostra possui similaridades composicionais, mineralógicas de suscetibilidade magnética com amostras do Tonalito Mariazinha.

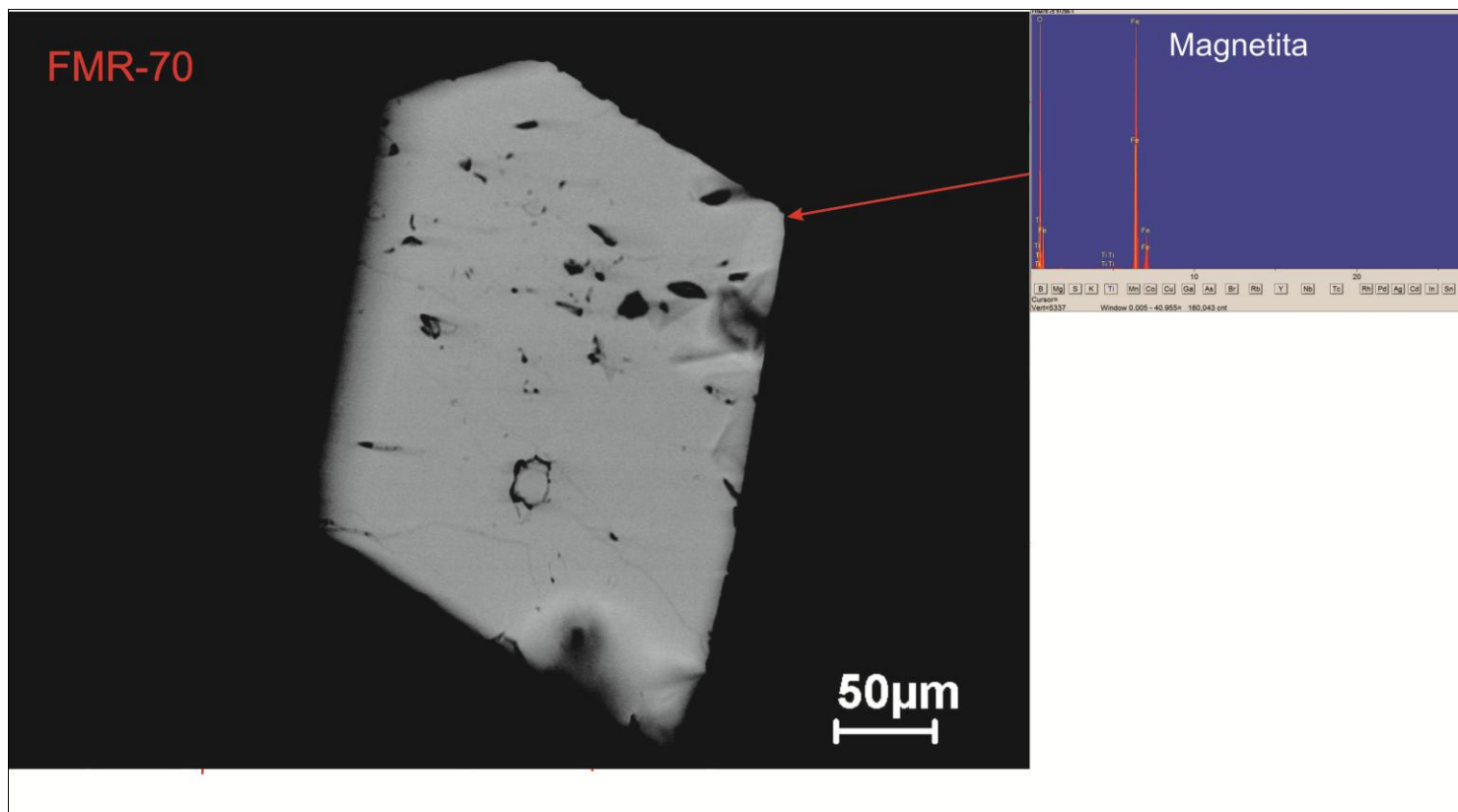
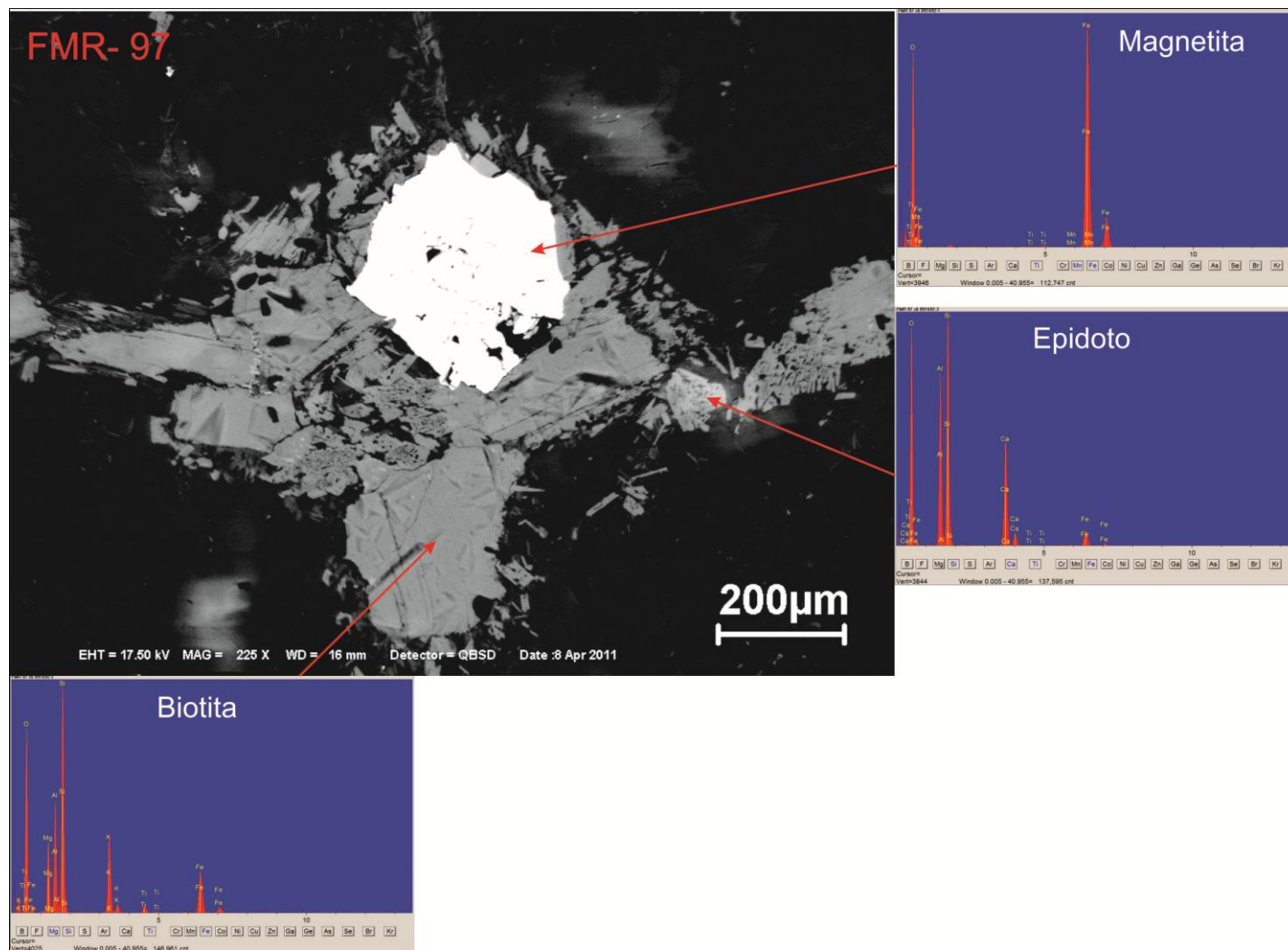


Figura 21 - Imagem de elétrons retroespalhados da amostra FMR-97, mapeada como Trondhjemito Mogno por GUIMARÃES (2009), apresentando cristal de magnetita associado com biotita e epidoto. Esta amostra possui similaridades composicionais, mineralógicas de suscetibilidade magnética com amostras do Tonalito Mariazinha.



5.3.2 Tonalito Mariazinha

As características texturais encontrados no Tonalito Mariazinha sugerem a predominância de cristais de magnetita, representados por cristais primários homogêneos e puros, não apresentando nenhum registro de outras fases minerais, tais como exsoluções de ilmenita com hematita (Figuras 22, 23, 24 e 25).

Os espectros de raios-x obtidos por meio de EDS demonstram que a magnetita é muito pura, ou seja, não há ocorrência de outro elemento expressivo em sua composição além de Fe e O. No geral, a característica mais importante dos cristais de magnetita, segundo os espectros EDS, é a uniformidade composicional apresentando a total dominância de oxigênio e ferro, e a ausência de Ti (Figuras 22, 23 e 24).

Porém, foi registrada localmente a ocorrência de:

- ✓ Goethita associada à magnetita (Figura 25);
- ✓ Cristais de magnetita hidrotermal associada a saussuritização do plagioclásio (Figura 26);
- ✓ Cristal de pirita, provavelmente de origem hidrotermal, bordejada por goethita e possuindo inclusão de calcopirita (Figura 27).

Figura 22 - Imagens de elétrons retroespalhados da amostra FMR-24 do Tonalito Mariazinha, mostrando cristais de magnetita homogênea primária, apresentando-se levemente a moderadamente fraturados.

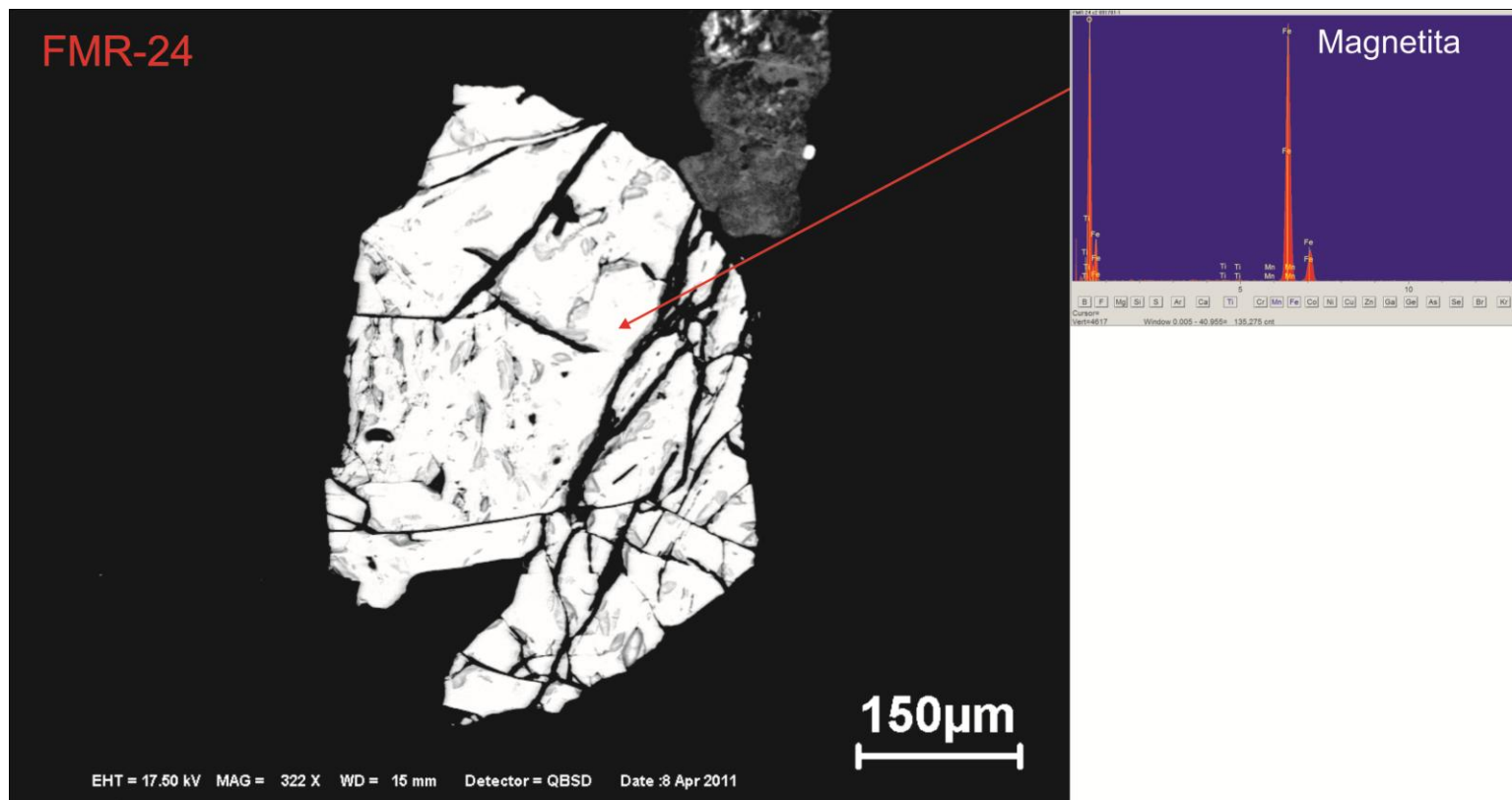


Figura 23 - Imagem de elétrons retroespalhados da amostra FMR-24 do Tonalito Mariazinha, mostrando um cristal homogêneo de magnetita primária englobando um cristal de zircão.

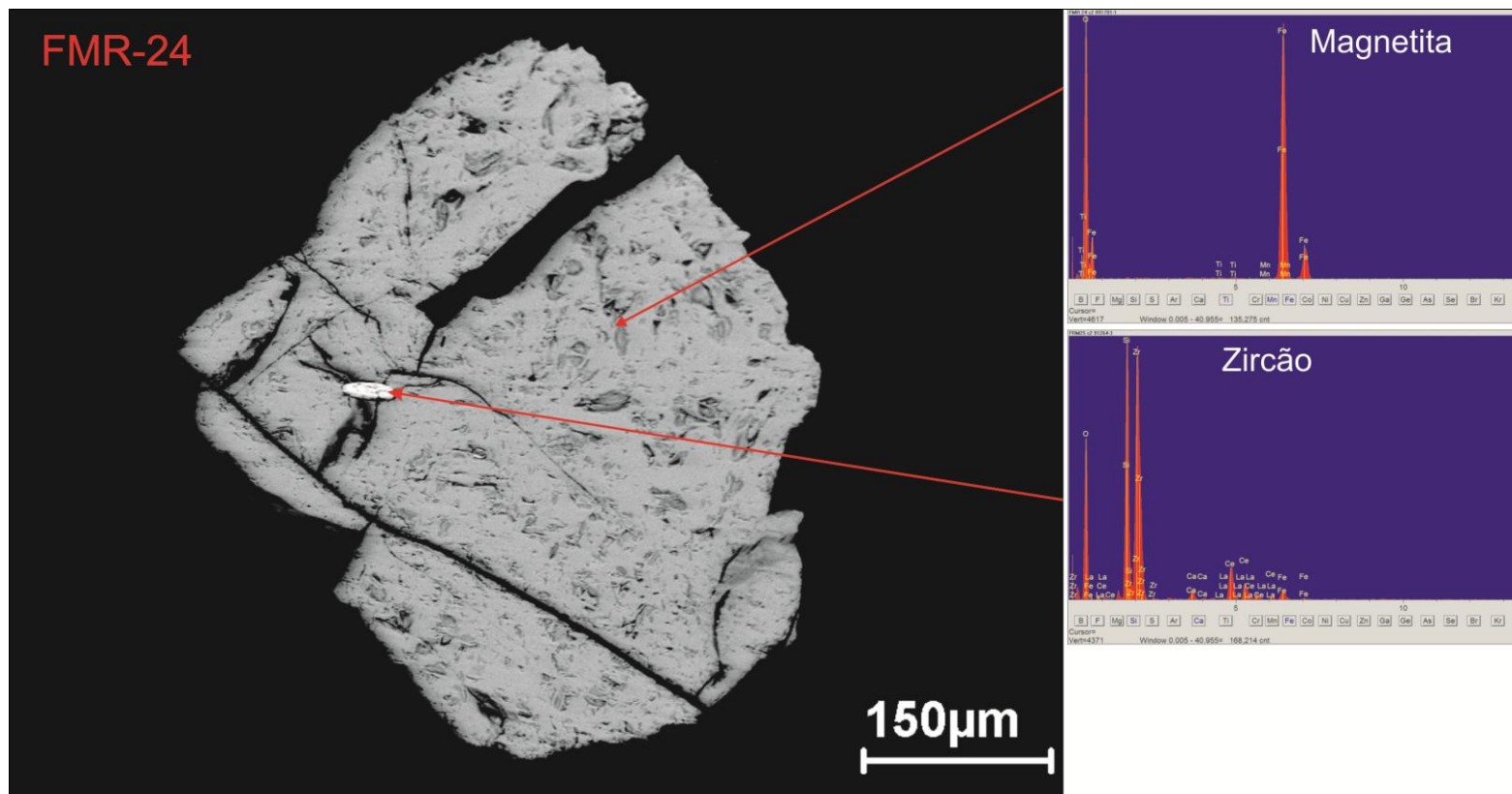


Figura 24 - Imagem de elétrons retroespaçados da amostra FMR-28 do Tonalito Mariazinha, apresentando cristal de magnetita associado com epidoto e biotita.

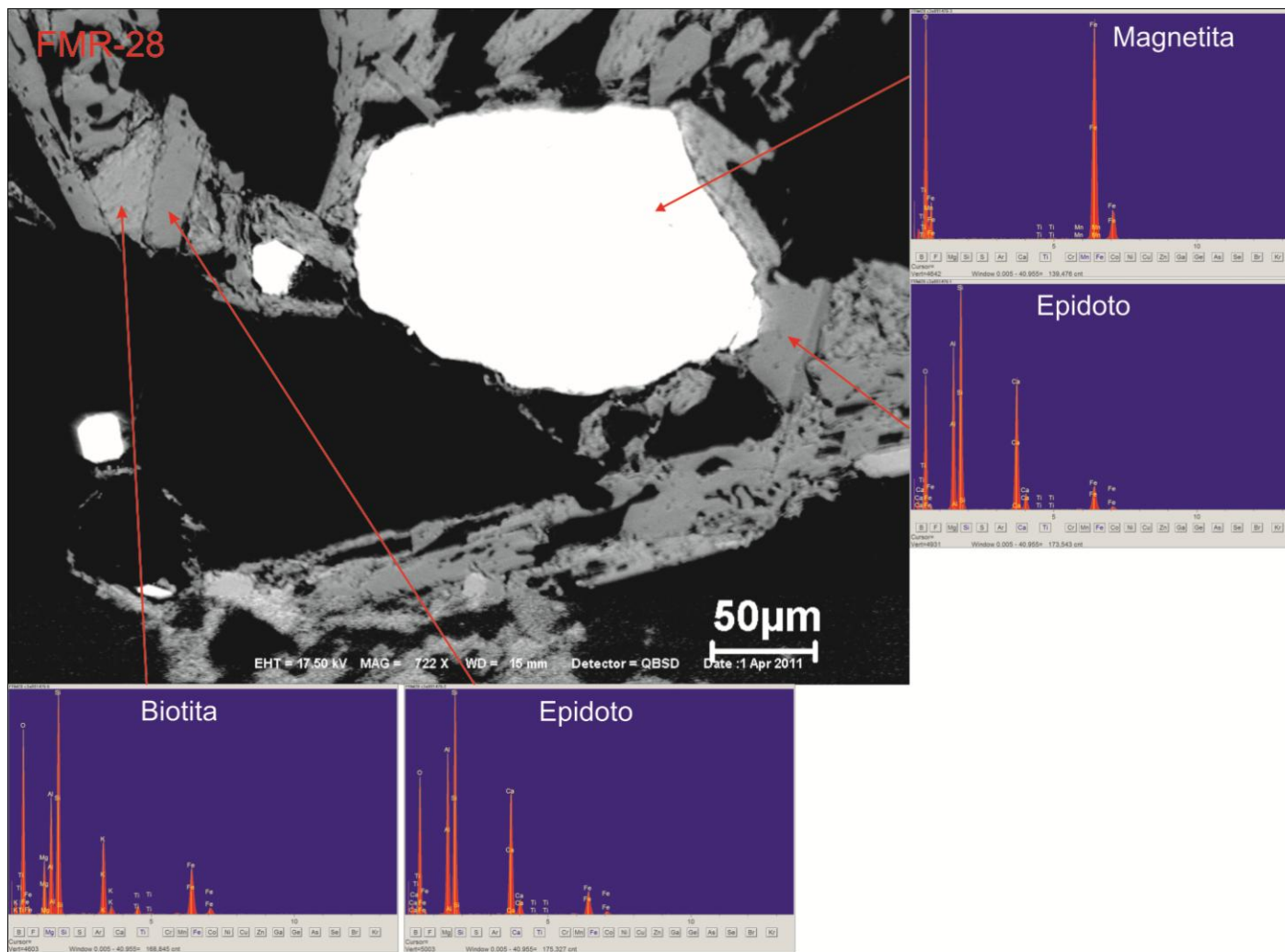


Figura 25 - Imagem de elétrons retroespalhados da amostra FMR-25 do Tonalito Mariazinha, mostrando um cristal de magnetita associado com cristais de goethita.

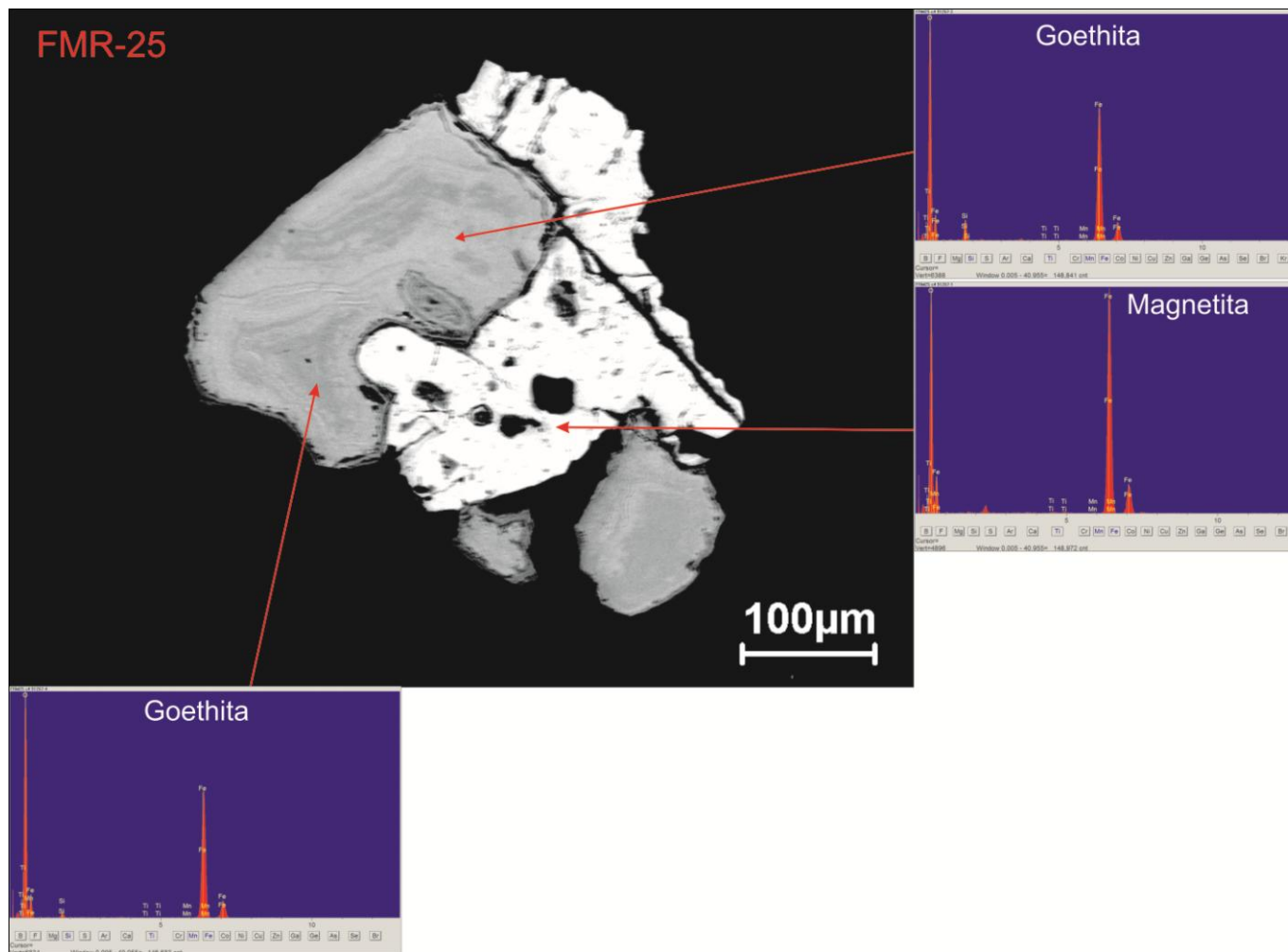


Figura 26 - Imagem de elétrons retroespalhados da amostra FMR-28 do Tonalito Mariazinha, apresentando cristais de magnetita provavelmente de origem hidrotermal associadas com cristais de epidoto e plagioclásio.

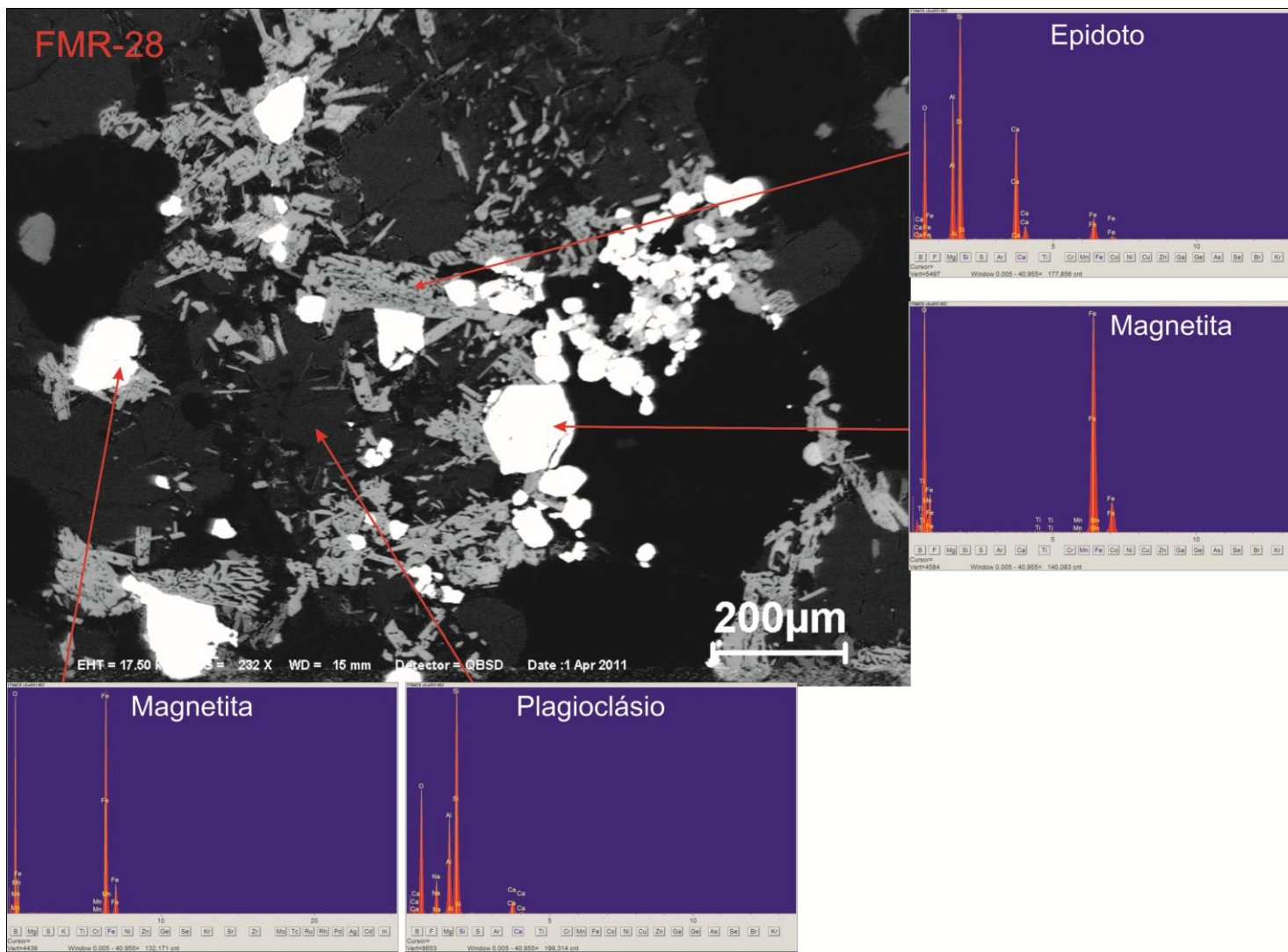
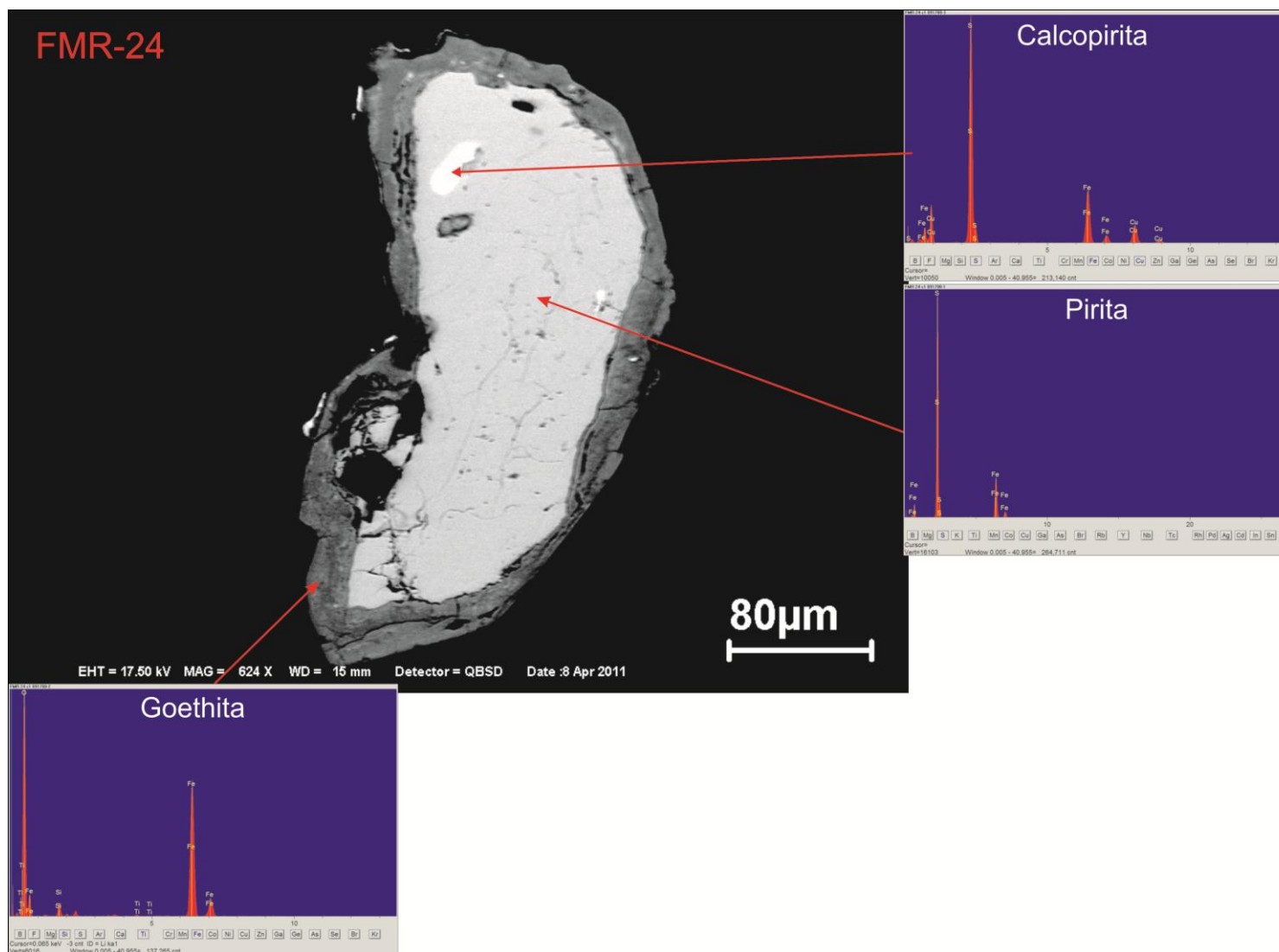


Figura 27 - Imagem de elétrons retroespalhados da amostra FMR-24 do Tonalito Mariazinha, mostrando um cristal de pirita apresentando inclusão de calcopirita e bordas alteradas para goethita.



6 DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

6.1 RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E MINERAIS OPACOS DO TRONDHJEMITO MOGNO

Em termos de valores de suscetibilidade magnética, as populações **C** e **D** são aquelas que apresentam maiores valores, porém a população **D** possui valores significativamente maiores comparados com a população **C**. Enquanto, que a população **D** apresenta valores de suscetibilidade magnética na ordem de grandeza de 10^{-3} , a população **C** possui valores na ordem de 10^{-4} . Esta diferença é causada pela variação da ocorrência da magnetita entre essas populações, resultando em um maior valor para a população **D**, em função da predominância de magnetita. Nas demais populações, além de diminuir o conteúdo de minerais opacos, também não ocorre de magnetita ou ocorre raramente, predominando a ilmenita envolvida por titanita, na medida em que se distancia da população **D**. As populações **A** e **B** são marcadas pelos valores de suscetibilidade magnética nas grandezas de 10^{-4} e 10^{-5} , refletindo a diminuição da quantidade de magnetita e também dos minerais óxidos de Fe e Ti como um todo. As amostras da população **D** (FMR-70 e 97) apresentam comportamento magnético, com valores de suscetibilidade magnética elevados, quando comparados as amostras das demais populações. A magnetita é o mineral opaco predominante nessas amostras. Se levarmos em consideração estes dados, tais amostras possuem similaridades com o Tonalito Mariazinha.

Na Tabela 5 é possível verificar a relação dos valores de suscetibilidade magnética com o tipo de mineral óxido de Fe e Ti. Onde, p. ex. as amostras da população **A**, **B** e **C** possuem valores de SM da ordem de 10^{-4} e 10^{-5} e contém ilmenita como principal fase óxido de Fe e Ti, e subordinadamente, hematita. Enquanto, as amostras cujos valores de SM são relativamente mais altos, da ordem de 10^{-3} (amostras FMR-70 e FMR-97) apresentam magnetita como principal fase de mineral óxido, e localmente ocorre ilmenita e hematita.

O processo de martitização atinge níveis incipientes, apresentando variações em uma mesma amostra, ou seja, pode se constatar a presença de magnetitas martitizadas como também aquelas sem a ocorrência de martitização. Desse modo, e levando em consideração que nas rochas das populações **A** e **B** a quantidade de

magnetita é extremamente baixa, ou ausente, não foram obtidos parâmetros para estabelecer a influencia do processo de martitização nos valores de suscetibilidade magnética.

Tabela 5 - Dados de suscetibilidade magnética e as principais fases minerais de óxidos de Fe e Ti do Trondhjemito Mogno com base nas laminas polidas e deduções feitas a partir dos dados de SM.

Populações	Amostras	SM (Siv)	Ox. de Fe e Ti predominante
D	FMR-70	$6,29 \times 10^{-3}$	Magnetita+ilmenita+hematita
	FMR-97	$4,60 \times 10^{-3}$	Magnetita
C	FMR-72	$4,41 \times 10^{-4}$	Ilmenita+hematita
	FMR-74	$4,27 \times 10^{-4}$	Ilmenita
	FMR-75	$3,77 \times 10^{-4}$	Ilmenita
	FMR-84	$3,75 \times 10^{-4}$	Ilmenita
	FMR-101	$3,50 \times 10^{-4}$	Ilmenita
	FMR-102	$2,63 \times 10^{-4}$	Ilmenita
	FMR-14	$2,52 \times 10^{-4}$	Ilmenita
	B	FMR-93	$1,25 \times 10^{-4}$
FMR-71		$1,20 \times 10^{-4}$	Ilmenita
FMR-90		$9,00 \times 10^{-5}$	Ilmenita
FMR-02		$7,30 \times 10^{-5}$	Ilmenita
FMR-98		$6,84 \times 10^{-5}$	Ilmenita
FMR-78		$5,80 \times 10^{-5}$	Ilmenita
FMR-99		$5,76 \times 10^{-5}$	Ilmenita
A	FMR-15	$5,55 \times 10^{-5}$	Ilmenita
	FMR-03	$5,41 \times 10^{-5}$	Ilmenita
	FMR-08	$5,30 \times 10^{-5}$	Ilmenita
	FMR-13A	$5,10 \times 10^{-5}$	Ilmenita
	FMR-05	$5,03 \times 10^{-5}$	Ilmenita
	FMR-73	$4,60 \times 10^{-5}$	Ilmenita
	FMR-86	$4,60 \times 10^{-5}$	Ilmenita
	FMR-01	$7,30 \times 10^{-5}$	Ilmenita
	FMR-88	$4,53 \times 10^{-5}$	Ilmenita
	FMR-11	$3,58 \times 10^{-5}$	Ilmenita

O Trondhjemito Mogno apresenta valores baixos de suscetibilidade magnética e conteúdos modais <0,1% (exceto a população **D**), com uma presença marcante de ilmenita na maioria de suas amostras. Essas características permitem classificá-lo como um granitóide da série a ilmenita (ISHIHARA 1981) (Figura 28). Uma vez que a ilmenita constitui a fase mineral de óxido Fe e Ti predominante nas rochas do Trondhjemito Mogno, a relação entre o conteúdo de minerais opacos e os valores de suscetibilidade magnética ocorre de forma inversamente proporcional, interferindo

de maneira negativa nos valores de suscetibilidade magnética. A predominância de ilmenita nos permite considerar que essas rochas foram formadas em condições de fO_2 relativamente baixas, porém acima do tampão W-M (Wustita-Magnetita).

6.2. RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E MINERAIS OPACOS DO TONALITO MARIAZINHA

Os valores de suscetibilidade magnética encontrado nas rochas do Tonalito Mariazinha foram caracterizados por ser, no geral, unimodais, representados pela população **A**. No entanto, os maiores valores de suscetibilidade magnética foram representados por três amostras, nas quais constituem a população **B**.

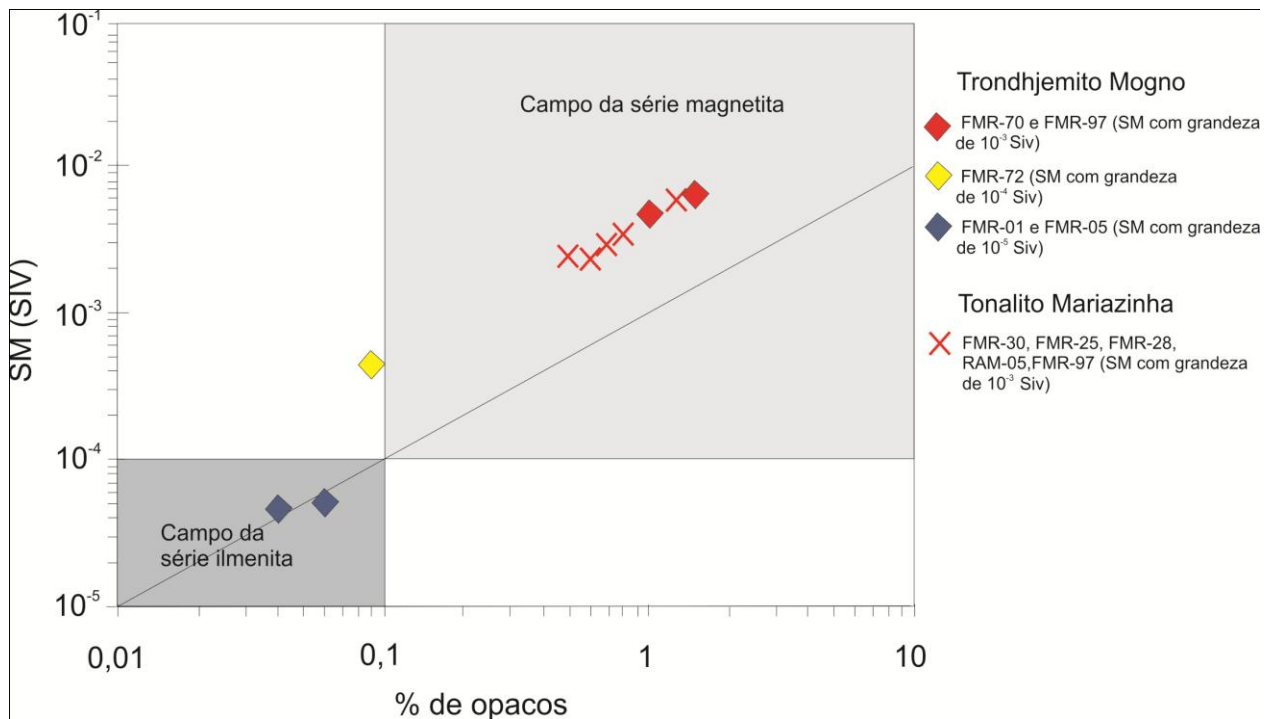
No Tonalito Mariazinha a fase mineral óxido de Fe e Ti predominante é a magnetita, podendo ocorrer hematita de maneira incipiente na forma de martita. Desse modo os valores de suscetibilidade magnética estão relacionados à variação da proporção modal e ao tamanho dos cristais de magnetita.

Nessas rochas o processo de martitização também ocorre de forma incipiente, apresentando variações em uma mesma amostra, não se obtendo parâmetros para estabelecer a influencia do processo de martitização nos valores de suscetibilidade magnética.

O Tonalito Mariazinha apresenta valores relativamente elevados de suscetibilidade magnética ($> 1 \times 10^{-3}$), bem como conteúdo de minerais opacos maiores que 0,1 %, com uma presença exclusiva de magnetita em todas as suas amostras estudadas. Sendo assim, é possível classificar esse granitóide como pertencendo à série a magnetita (ISHIHARA 1981) (Figura 28).

A magnetita constitui a principal fase mineral de óxido de Fe e Ti, a relação entre o conteúdo de minerais opacos e os valores de suscetibilidade magnética ocorre de forma diretamente proporcional, interferindo de maneira positiva nos valores de suscetibilidade magnética (Figura 28). A presença de magnetita nos permite considerar que essas rochas formaram-se em condições oxidantes, pelo menos acima do tampão N-N-O (Niquel-óxido de níquel), ou seja, em condições de fO_2 mais altas do que o Trondhjemito Mogno.

Figura 28 - Diagrama mostrando a relação entre o comportamento dos valores de suscetibilidade magnética e a proporção modal de minerais opacos do Trondhjemito Mogno e do Tonalito Mariazinha.



6.3. COMPARAÇÕES ENTRE O COMPORTAMENTO MAGNÉTICO ENTRE O TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA

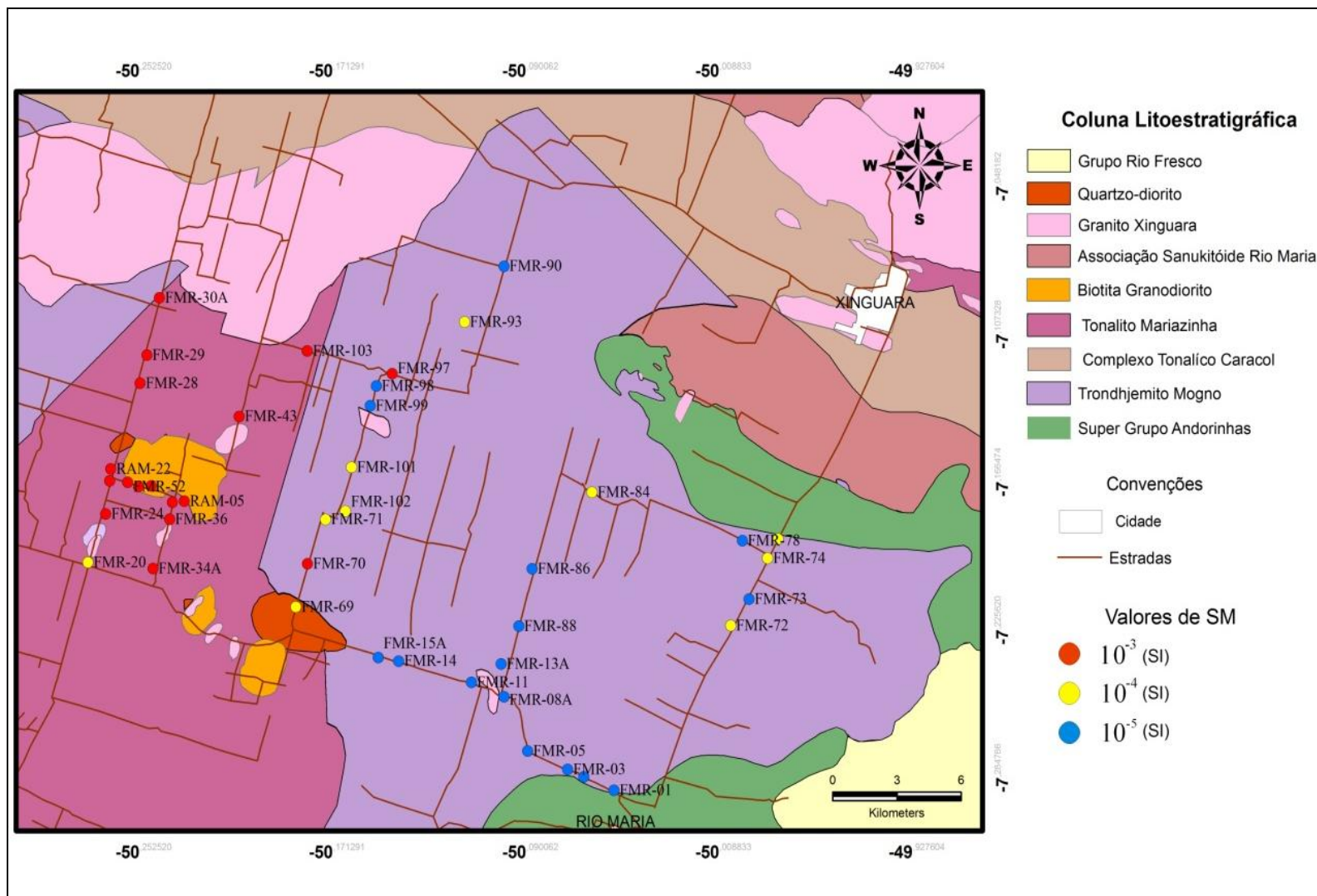
O comportamento magnético dos granitóides estudados pode ser visto no mapa da Figura 22. O Trondhjemito Mogno é caracterizado por apresentar baixos valores de suscetibilidade magnética, comumente representado em uma escala de grandeza de 10^{-4} e 10^{-5} da unidade SI(v). Isso se deve ao fato das rochas pertencentes ao Trondhjemito Mogno serem bastante leucocráticas, possuindo conteúdo de minerais máficos em torno 7% e conteúdo de opaco $<0,1\%$. Os minerais magnéticos ocorrem de maneira reduzida, e os que ocorrem são representados predominantemente pela ilmenita.

O Tonalito Mariazinha é caracterizado por apresentar valores de suscetibilidade magnética comumente representada em uma escala de grandeza de 10^{-3} da unidade SI(v). Esta rocha apresenta proporções modais de minerais máficos superiores a 10%, fazendo com que a ocorrência de minerais magnéticos seja

superior comparado com o Trondhjemito Mogno. Além de apresentar proporção modal de minerais opacos mais elevados, a fase mineral de óxido de Fe e Ti que ocorre nas rochas do Tonalito Mariazinha é representada pela magnetita, e subordinadamente ilmenita, resultando em valores de suscetibilidade magnética mais elevados.

No Trondhjemito Mogno os maiores valores de SM, representados pelas amostras **FMR-70** e **FMR-97**, apresentam suscetibilidade magnética na ordem de grandeza de 10^{-3} SI(v), conteúdo de opacos altos, magnetita e ilmenita como fases óxidos de Fe e Ti. Tais características são similares as encontradas nas amostras do Tonalito Mariazinha. Durante o trabalho de campo ficou evidente as similaridades texturais e estruturais desses pontos com aquele da seção tipo do Tonalito Mariazinha. É importante salientar que essas rochas estão próximas do contato entre o Trondhjemito Mogno e o Tonalito Mariazinha.

Figura 29 -: Mapa geológico e de amostragem apresentando as características magnéticas do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha (Modificado de GUIMARÃES 2009).



6.4 COMPARAÇÕES ENTRE O COMPORTAMENTO MAGNÉTICO DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA COM ALGUNS GRANITÓIDES SIMILARES DA PROVÍNCIA CARAJÁS.

Com base nos estudos de suscetibilidade magnética realizados em alguns granitóides da Amazônia Oriental e nos dados desta pesquisa, foi realizada uma comparação entre o comportamento magnético dos granitóides estudados neste trabalho com alguns dos granitóides similares da Província Carajás. As rochas escolhidas foram o Tonalito Arco Verde, que ocorrem a sul da área em estudo, as circunvizinhanças da Vila Marajoara e o Tonalito-Trondhjemito Gnaissico da região de Xinguara estudado por Figueiredo (1997), que ocorrem em Xinguara, os quais foram posteriormente reinterpretadas como Tonalito Mariazinha por Almeida et al. (2011) e Leite et al. (2010), e as rochas trondhjemíticas da região de Canaã dos Carajás, estudada por Nascimento (2006).

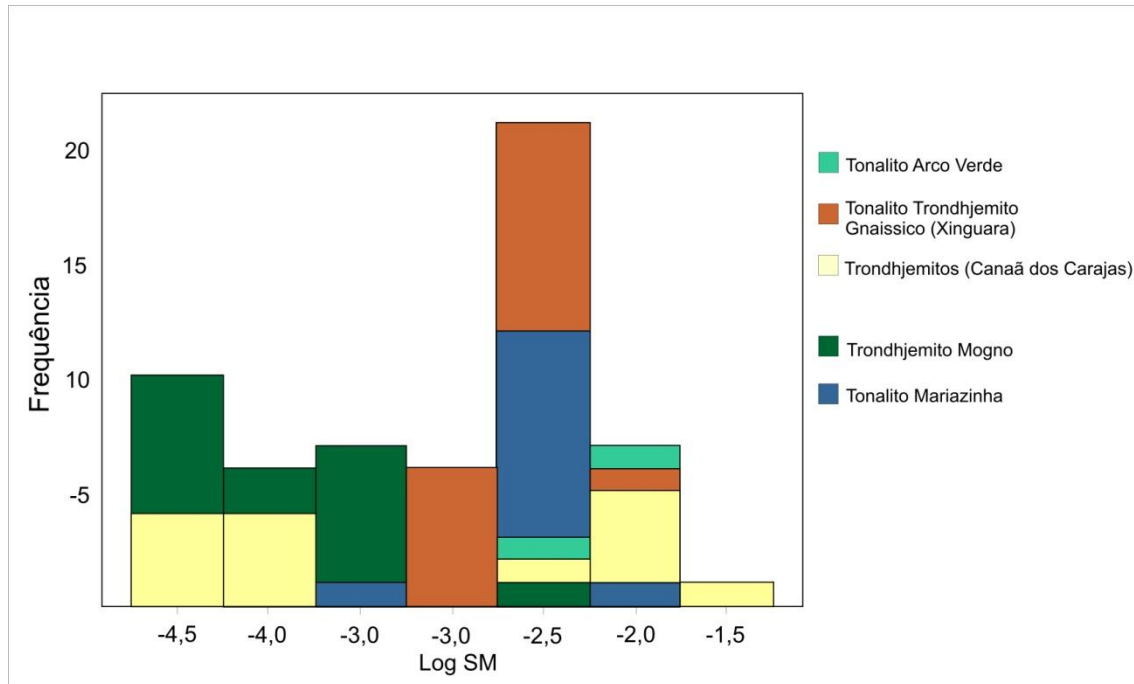
O Trondhjemito Mogno apresenta valores de suscetibilidade magnética no intervalo de $3,58 \times 10^{-5}$ a $4,41 \times 10^{-4}$, excluindo-se as amostras referentes à população **D**, se superpondo principalmente aos valores obtidos para as rochas trondhjemíticas da região de Canaã dos Carajás, cuja suscetibilidade magnética varia de $5,39 \times 10^{-5}$ a $1,44 \times 10^{-2}$. Esses valores podem ser correlacionados com os da população **A** e **D** do Trondhjemito Mogno. No entanto, a população **D** pode ser correlacionada também aos menores valores considerados do Tonalito Arco Verde e ao Tonalito-Trondhjemito Gnaissico de Xinguara.

O Tonalito Mariazinha apresenta valores de suscetibilidade magnética no intervalo de $1,17 \times 10^{-4}$ a $5,87 \times 10^{-3}$, que se superpõe principalmente aos valores obtidos para as rochas do Tonalito Arco Verde, cujas medidas de suscetibilidade magnética variam de $2,1 \times 10^{-3}$ a $1,77 \times 10^{-2}$.

Além da correlação com o Tonalito Arco Verde, os valores de suscetibilidade magnética do Tonalito Mariazinha podem ser superpostos em parte com a suscetibilidade magnética obtida do Tonalito-Trondhjemito Gnaissico de Xinguara e as rochas trondhjemíticas de Canaã dos Carajás. Desse modo as populações **A** e **B** do Tonalito Mariazinha podem ser correlacionadas com os dados de suscetibilidade magnética do Tonalito Arco Verde, com os valores intermediários a altos das rochas

trondhjemíticas de Canaã dos Carajás e com os valores modais do Tonalito-Trondhjemito Gnaissico da região de Xinguara.

Figura 30 - Histograma comparativo dos dados de suscetibilidade magnética dos granitóides estudados (Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha) com granitóides similares da Província Carajás (Tonalito Arco Verde, Tonalito-Trondhjemito Gnáissicos da região de Xinguara e Trondhjemitos da região de Canaã dos Carajás).



Vale ressaltar que as medidas de suscetibilidade magnética dessas rochas foram realizadas com aparelho antigo, com o uso de bobinas planas e cilíndricas. Na época constatou-se que os dados gerados pela bobina plana, que apresentavam valores menores que 1×10^{-3} não eram confiáveis, sendo necessário a utilização da bobina cilíndrica, na qual apresentava valores mais verdadeiros. Com a exceção das rochas trondhjemíticas de Canaã dos Carajás, os dados de suscetibilidade magnética dessas rochas foram obtidos somente pelo uso da bobina plana, ou seja, não foram considerados para essa comparação os valores menores que 1×10^{-3} Siv.

6.5 EVOLUÇÃO DOS MINERAIS OPACOS

As evidências texturais encontradas nas rochas do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha apontam que a maioria dos minerais opacos ocorre como inclusões em algumas fases minerais. Com base nessas relações texturais propõem-se uma sequência de formação e evolução dos minerais opacos para cada unidade estudada.

No Trondhjemito Mogno foram reconhecidos três estágios de cristalização, correspondendo aos estágios: magmático, tardi-magmático e pós-magmático.

Durante o estágio magmático ocorreu a formação da ilmenita individual. Posteriormente, durante o estágio tardi-magmático ocorreu a desestabilização da ilmenita individual e sua substituição parcial, com a utilização do titânio para formação da titanita. O cálcio e a sílica, também necessária para a sua formação, podem ser provenientes da reação de desestabilização do plagioclásio ou do próprio líquido magmático. O estágio pós-magmático foi caracterizado por processos de oxi-exoluções sobre os cristais de ilmenita, gerando intercrescimento de hematita.

Considerando que as amostras **FMR-70** e **FMR-97** pertencem ao Tonalito Mariazinha foi possível identificar dois estágios de cristalização, correspondendo aos estágios magmáticos e pós-magmáticos.

No estágio magmático ocorreu a formação de uma possível titanomagnetita. Posteriormente durante a fase pós-magmática ocorreu o processo de oxi-exsolução da titanomagnetita formando a Ilmenita *Sandwich* (presente na amostra **FMR-70**). Dessa forma os cristais de magnetita se empobreceram em Ti culminando no processo de martitização, originando as finas lamelas de hematita secundária sobre os cristais de magnetita. Em mais baixas temperaturas ocorreu a oxidação da pirita originando cristais de goethita.

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interpretação dos dados de suscetibilidade magnética, assim como os estudos detalhados dos minerais óxidos de Fe e Ti, permitiu uma melhor caracterização e individualização do Trondhjemito Mogno e do Tonalito Mariazinha.

- O Tonalito Mariazinha apresenta valores relativamente elevados de suscetibilidade magnética, representados em uma escala de grandeza maior que 10^{-3} Siv, refletindo a maior abundância e melhor preservação dos cristais de magnetita primários, podendo ter se formado em condições oxidantes, pelo menos acima do tampão N-N-O (Niquel-óxido de Niquel), ou seja, em condições de fO_2 mais altas do que o Trondhjemito Mogno.
- O Trondhjemito Mogno apresenta baixos valores de suscetibilidade magnética, refletindo a ausência de magnetita primária nessas rochas. Isso poderia ser explicado, em parte, pela provável desestabilização e redução das fases minerais magnéticas devido a processos hidrotermais que afetaram essas rochas. No entanto, é possível que as rochas pertencentes ao Trondhjemito Mogno já fossem originalmente pobres em minerais opacos, em função do seu caráter hololeucocrático, podendo ter se formado em condições de fugacidade de oxigênio baixas, porém acima do tampão W-M (Wustita-Magnetita).
- O Tonalito Mariazinha foi classificado como pertencente aos granitóides da série a magnetita e o Trondhjemito Mogno aos granitóides da série a ilmenita.
- As amostras **FMR-70 e FMR- 97** mapeadas por Guimarães (2009) como pertencentes ao Trondhjemito Mogno apresentaram valores de suscetibilidade magnética altos ($>10^{-3}$), quando comparados as demais amostras desta unidade e, magnetita como mineral opaco predominante, tendo ilmenita e hematita como fases subordinadas. Estas amostras possuem ainda similaridades texturais e estruturais com o Tonalito Mariazinha, e ainda, estão localizadas próximo ao contato entre estas unidades. Sendo assim, é bem provável que elas pertençam a esta unidade. No estudo realizado por Guimarães (2009) não foram feitas análises químicas nessas amostras, não sendo conclusivo classificá-las

como pertencentes a uma unidade ou outra com base na geoquímica. Além do mais, no gráfico que representa a relação entre suscetibilidade magnética e conteúdo modal de opacos essas rochas apresentam comportamento similar as amostras do Tonalito Mariazinha, na qual está inserida no campo dos granitóides da série a magnetita, se contrapondo a maioria das rochas do Trondhjemito Mogno que pertence à série a ilmenita.

- Nos estudos comparativos com rochas similares da Província Carajás, pode ser observada semelhanças do Tonalito Mariazinha com o Tonalito Arco Verde e os Tonalitos-Trondhjemitos Gnáissicos da região de Xinguará e o Trondhjemito Mogno apresenta maior afinidade com as variedades trondhjemíticas dos granitóides de Canaã dos Carajás.
- Em síntese, foi constatado com a aplicação desta metodologia, que além das diferenças, já levantadas por Guimarães (2009), Guimarães et al. (2010), Almeida (2010) e Almeida et al. (2011) para estes granitóides existe também diferenças marcantes no comportamento magnético e natureza nos minerais óxidos de Fe e Ti. Desse modo, estudo de suscetibilidade magnética e de caracterização dos minerais opacos pode ser adicionado às demais ferramentas usadas como técnica do mapeamento geológico e de caracterização petrológica de rochas ígneas.

REFERENCIAS

- ALMEIDA, J.A.C. *Evolução geológica do terreno granito-greenstone de Rio Maria*. 2010. 208f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2010.
- ALMEIDA, J.A.C.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, D.C. Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico bannach, terreno granito-greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 36, p. 282 - 295. 2006.
- ALMEIDA, J.A.C.; DALL'AGNOL, R.; GUIMARÃES, V.G. Petrologia Magnética do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito *Greenstone* de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 37, p.17-36. 2007.
- ALMEIDA, J.A.C.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M.A.O; MACAMBIRA, M.J.B; PIMENTEL, M.M.; RAMO, O.T.; GUIMARÃES, F.V., LEITE, A.A.S. Zircon geochronology, geochemistry and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás province, Brazil. *Precambrian Research*, n. 187, p. 201-221. 2011.
- ALTHOFF, F. J. Étude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara (Pará, Brasil): leur rôle dans l'évolution archéenne du craton Amazonien (2.7– 3.2 Ga). 1996. 296f. Tese (doutorado) - Université Henri Poincaré, Nancy I, France, 1996.
- ALTHOFF, F. J., BARBEY, P., BOULLIER, A. M. 2.8–3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, n.104, p. 187-206. 2000.
- BUDDINGTON, A.F.; LINDSLEY, D.H. Iron-Titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *J. Petrology*, v. 5, n.2, p. 310-357. 1964.
- CLARK, D.A. Magnetic petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation. *Exploration Geophysics*, n. 30, p. 5-26. 1999
- COSTA, J.B.S.; ARAÚJO, O.J.B.; SANTOS, A.; JORGE JOÃO, X. S.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. A província mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, série Ciências da Terra, n. 7, p.199-235. 1995
- DALL'AGNOL, R.; RAMÖ, O.T.; MAGALHÃES, M.S.; MACAMBIRA, M.J.B. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites. *Lithos*. n.46, p. 431-462. 1999.
- DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N.P.; RAMO, O.T.; MOURA, C.A.V.; MACAMBIRA, M.J.B.; OLIVEIRA, D.C. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, n.80 p.101-129. 2005.

DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M.A.; ALMEIDA, J.A.C.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S.; OLIVEIRA, D.C.; BARROS, C.E.M. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic Province, Eastern Amazonian Craton. In: DALL'AGNOL, R.; ROSA-COSTA, L.T.; KLEIN, E.L. (eds.). SYMPOSIUM ON MAGMATISM, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON, Belém. *Abstracts Volume and Field Trips Guide*. Belém: PRONEX-UFPA/SBG-NO, 2006. p. 97-150. 2006.

DUARTE, K.D. *Geologia e geoquímica do granito Mata Surrão – SW de Rio Maria-Pa- um exemplo de granito “stricto sensu” arqueano*. 1992. 217f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará – Instituto de Geociências, Belém, 1992.

FIGUEIREDO, M.A.B.M. *Comportamento magnético e natureza dos minerais opacos de granitoides arqueanos da região de Rio Maria, Sudeste do Pará*. 1997. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 1997.

FROST, B.R. Introduction to oxygen fugacity and its petrology importance. In: LINDSLEY, D. H. (ed.). *Oxide minerals: petrologic and magnetic significance*: Washington, D.C.: Mineralogical Society of America, 1991. p. 1-9. (Reviews in Mineralogy, 25).

HAGGERTY, S. E. The aeromagnetic mineralogy of igneous rocks. *Can. J. Earth Sci.* n.16, p.1281-1293. 1979.

HAGGERTY, S.E. Oxidation of opaque mineral oxides in basalts. In: RUMBLE III, D. (ed). *Oxide minerals*. 2nd ed. Washington, D.C.: Miner. Soc. Am, 1981. p: Hg1-Hg99 (Short course notes).

HAGGERTY, S.E. Oxide Textures – a mini-atlas. In: LINDSLEY, D.H. (ed). *Oxide minerals: petrologic and magnetic significance*. Mineralogical Society of America - Reviews in Mineralogy, n.25, p. 126-219, 1991.

ISHIHARA S. *The granitoid series and mineralization*. In: SKINNER, B. J. ed. *Economic Geology*, 75th anniversary volume, p.458-484. 1981

LE MAITRE, R. W. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd Edition , London, 193 p. 2002.

LEITE, A. A. S.; DALL'AGNOL, R., 1999. Geoquímica e aspectos petrogenéticos do Granito Xinguara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*. n.23, p.429-436.

LEITE A.A.S. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitoides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. 2001, 300f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2001.

LEITE, A.A.S.; DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M.J.B.; ALTHOFF, F.J. Geologia e geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências*. n.34, p.447-458. 2004.

LEITE, A.A.S.; ALTHOFF, F.J., DALL'AGNOL, R.; ALMEIDA, J.A.C. 2010. Arcabouço estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. Um: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45, Belém. Anais de Congresso Brasileiro de Geologia. SBG.1. CD-ROM.

MACAMBIRA, M. J. B. 1992. Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est; exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajás, Brasil. 1992. 212f. (Tese de doutorado) Université Montpellier II. France. 1992.

MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, Belém, n. 7, p. 263-287. 1995.

MACHADO, N., LINDENMAYER, Z.G., KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, n. 49, p. 329-354. 1991

MAGALHÃES, M.S.; DALL'AGNOL., R. Estudo de minerais opacos e suscetibilidade magnética nos Granitos Musa e Jamom (Região de Rio Maria- SE do Pará) e suas aplicações petrológicas. *Revista Brasileira de Geociências*. n.22, p.184-197. 1992.

MEDEIROS, H.; DALL'AGNOL, R. 1988. Petrologia da porção leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém. Anais de Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. v 3, p.1488-1499.

NASCIMENTO F.G.C. *Petrologia magnética das associações magmáticas arqueanas da Região de Canaã dos Carajás – PA*. 177f. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2006

OLIVEIRA, D.C. *Petrografia, Suscetibilidade Magnética e Mineral de Óxidos de Fe e Ti do Granito Redenção, Sudeste do Estado do Pará*. 1998. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 68f. 1998.

OLIVEIRA, D.C. *Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. 2001, 207f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2001.

OLIVEIRA, D.C., *Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico*. 2006. 186f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2006.

OLIVEIRA, M.A. *Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Sanukitóide Arqueano Rio Maria e Rochas Máficas Associadas, Leste de Bannach-PA*. 2005. 141f. Dissertação (mestrado em geologia e geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2005.

OLIVEIRA, M.A., Dall'Agnol, R., Althoff, F.J. Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Rio Maria da região de Bannach e comparações com as demais ocorrências no terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, n.36, p.313–326. 2006.

OLIVEIRA, M.A., DALL'AGNOL, R., ALTHOFF, F.J., LEITE, A.A.S. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane. *Amazonian craton, Brazil. Journal of South American Earth Sciences*, n. 27, p.146-160. 2009.

PIMENTEL, M.M.; MACHADO, N. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú-SP. *Boletim de resumos expandidos*, Camboriú-SP: SBG, 1994. n.1, p.390-391.

ROLANDO, A. P. ;MACAMBIRA, M. J. B. Geocronologia dos granitóides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta Continental no Sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: SBG, 2002. p. 525.

ROLANDO, A. P.; MACAMBIRA, M. J. B. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003, Salvador. *Expanded abstracts*. Salvador: [s.n.], 2003. 1 CD-ROM.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological Provinces of the Amazonian Cráton. *Episodes*, n. 22, p. 174-182. 1999.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V. et al. *Geologia do continente Sul Americano: evolução da obra de F. F. M. de Almeida*. São Paulo: BECA, 2004. p. 471-486.

VASQUEZ L. V.; ROSA-COSTA L. R.; SILVA C. G.; RICCI P. F.; BARBOSA J.O.; KLEIN E. L.; LOPES E.S.; MACAMBIRA E.B.; CHAVES C.L.; CARVALHO J.M.; OLIVEIRA J.G.; ANJOS G.C.; SILVA H. R. Unidades litoestratigráficas. In: VASQUEZ M. L., ROSA-COSTA L. T. (Org.) *Geologia e recursos minerais do estado do Pará: sistema de informações geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará*. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008. p.113-215.

WASILEWSKI, C.; WARNER, R. Magnetic petrology of deep crustal rocks-Ivrea Zone, Italy. *Earth Plan. Sci. Letters*, n.87, p. 347-361. 1998.

APÊNDICE

Apêndice A - Análises semi-quantitativas (MEV)

FMR 01 c1 091697

Ilmenita

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	323.67	43.367	wt.%	0.682
Ti	Ka	985.95	26.701	wt.%	0.241
Mn	Ka	102.86	4.672	wt.%	0.13
Fe	Ka	484.03	25.261	wt.%	0.325
Total			100	wt.%	

FMR 01 c1 091697

Titanita

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	261.05	48.572	wt.%	0.85
Al	Ka	59.1	1.199	wt.%	0.044
Si	Ka	875.51	15.557	wt.%	0.149
Ca	Ka	843.55	16.855	wt.%	0.164
Ti	Ka	615.67	17.817	wt.%	0.203
Total			100	wt.%	

FMR 01 c1 091697

Biotita

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	623.03	47.602	wt.%	0.539
Mg	Ka	299.61	6.846	wt.%	0.112
Al	Ka	450.3	9.385	wt.%	0.125
Si	Ka	901.26	18.259	wt.%	0.172
K	Ka	337.83	6.661	wt.%	0.102
Ti	Ka	23.3	0.628	wt.%	0.037
Fe	Ka	226.38	10.62	wt.%	0.2
Total			100	wt.%	

FMR 01 c1 091697**Clorita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	988.96	52.515	wt.%	0.472
Mg	Ka	377.77	8.683	wt.%	0.126
Al	Ka	523.98	11.21	wt.%	0.139
Si	Ka	654.32	13.714	wt.%	0.152
K	Ka	21.13	0.401	wt.%	0.025
Ti	Ka	4.57	0.115	wt.%	0.015
Fe	Ka	297.3	13.36	wt.%	0.219
Total			100	wt.%	

FMR 01 c1 091697**Epidoto**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	506.78	49.555	wt.%	0.623
Al	Ka	692.79	12.697	wt.%	0.136
Si	Ka	954.91	18.371	wt.%	0.168
Ca	Ka	641.91	12.854	wt.%	0.143
Fe	Ka	139.97	6.522	wt.%	0.156
Total			100	wt.%	

FMR 78 c3 091694**Ilmenita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	324.7	44.342	wt.%	0.696
Ti	Ka	928.07	26.114	wt.%	0.242
Mn	Ka	100.72	4.748	wt.%	0.134
Fe	Ka	457.6	24.796	wt.%	0.328
Total			100	wt.%	

FMR 78 c3 091694**Titanita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	278.98	50.62	wt.%	0.857
Al	Ka	38.16	0.796	wt.%	0.036
Si	Ka	818.34	14.821	wt.%	0.147
Ca	Ka	793.15	16.118	wt.%	0.162
Ti	Ka	586.42	17.223	wt.%	0.201
Fe	Ka	8.21	0.422	wt.%	0.042

Total 100 wt.%

FMR 78 c3 091694

Epidoto

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	507.77	50.88	wt.%	0.639
Al	Ka	668.52	12.78	wt.%	0.14
Si	Ka	891.55	17.923	wt.%	0.17
Ca	Ka	597.94	12.502	wt.%	0.145
Fe	Ka	121.52	5.916	wt.%	0.152
Total			100	wt.%	

FMR 78 c3 091694

Plagioclásio

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	861.91	54.736	wt.%	0.527
Na	Ka	227.4	6.317	wt.%	0.118
Al	Ka	591.68	10.126	wt.%	0.118
Si	Ka	1,536.29	27.023	wt.%	0.195
Ca	Ka	91.17	1.797	wt.%	0.053
Total			100	wt.%	

FMR72c12091499

Ilmenita

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	380.93	43.35	wt.%	0.628
Ti	Ka	1,064.86	25.41	wt.%	0.22
Mn	Ka	42.41	1.693	wt.%	0.074
Fe	Ka	642.56	29.55	wt.%	0.33
Total			100	wt.%	

FMR 72 c12 091499

Provável

Hematita

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	901.25	38.61	wt.%	0.364
Ti	Ka	10.93	0.238	wt.%	0.02
Mn	Ka	3.54	0.129	wt.%	0.019
Fe	Ka	1,354.65	61.02	wt.%	0.469
Total			100	wt.%	

FRM70 c4 91279-1**Ilmenita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	597,17	44,64	wt.%	0,517
Ti	Ka	699,81	15,319	wt.%	0,164
Mn	Ka	69,68	2,524	wt.%	0,086
Fe	Ka	889,49	37,517	wt.%	0,356
Total			100	wt.%	

FRM70 c4 91279-2**Ilmenita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	360,8	42,224	wt.%	0,629
Ti	Ka	1.090,30	26,145	wt.%	0,224
Mn	Ka	81,31	3,268	wt.%	0,102
Fe	Ka	613,48	28,363	wt.%	0,324
Total			100	wt.%	

FRM70 c4 91279-3**Hematita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	838,92	38,223	wt.%	0,373
Ti	Ka	83,6	1,819	wt.%	0,056
Mn	Ka	7,71	0,279	wt.%	0,028
Fe	Ka	1.354,46	59,68	wt.%	0,459
Total			100	wt.%	

FRM70 c4 91279-4**Ilmenita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	610,5	48,01	wt.%	0,55
Ti	Ka	839,6	17,854	wt.%	0,174
Mn	Ka	28,77	1,014	wt.%	0,053
Fe	Ka	810,15	33,123	wt.%	0,329
Total			100	wt.%	

FRM70 c5 91282-1**Magnetita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	991,31	39,214	wt. %	0,352
Ti	Ka	3,66	0,075	wt. %	0,011
Mn	Ka	4,17	0,142	wt. %	0,02
Fe	Ka	1.437,10	60,569	wt. %	0,452
Total			100	wt. %	

FRM70 c5 91282-3**Ilmenita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	387,32	44,277	wt. %	0,636
Ti	Ka	1.191,04	27,182	wt. %	0,223
Mn	Ka	140,59	5,384	wt. %	0,128
Fe	Ka	526,64	23,157	wt. %	0,285
Total			100	wt. %	

FRM70 c9 91286-1**Magnetita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	920,78	38,311	wt. %	0,357
Ti	Ka	5,61	0,119	wt. %	0,014
Fe	Ka	1.401,33	61,57	wt. %	0,465
Total			100	wt. %	

FMR 97 c6 091692-1**Magnetita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	562,19	34,2	wt. %	0,408
Ti	Ka	4,83	0,144	wt. %	0,019
Mn	Ka	2,84	0,142	wt. %	0,024
Fe	Ka		65,52	wt. %	0,572
Total			100	wt. %	

FMR 97 c6 091692-2**Biotita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	541,84	47,78	wt. %	0,581
Mg	Ka	242,35	6,366	wt. %	0,116
Al	Ka	391,4	9,289	wt. %	0,133
Si	Ka	785,72	18,11	wt. %	0,183
K	Ka	293,92	6,601	wt. %	0,109
Ti	Ka	34,55	1,062	wt. %	0,051
Fe	Ka	201,39	10,79	wt. %	0,215
Total			100	wt. %	

FMR 97 c6 091692-3**Epidoto**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	605,61	57,89	wt. %	0,665
Al	Ka	568,4	12,2	wt. %	0,145
Si	Ka	748,84	16,79	wt. %	0,174
Ca	Ka	390,33	9,151	wt. %	0,131
Ti	Ka	2,14	0,068	wt. %	0,013
Fe	Ka	71,61	3,909	wt. %	0,131
Total			100	wt. %	

FMR 24 c2 091701-1**Magnetita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	787,01	38,399	wt. %	0,387
Ti	Ka	6,09	0,152	wt. %	0,017
Mn	Ka	3,5	0,145	wt. %	0,022
Fe	Ka	1.190,99	61,304	wt. %	0,502
Total			100	wt. %	

FRM28 c3a091476-2**Epidoto**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	518,2	49,673	wt.%	0,617
Al	Ka	707,57	12,798	wt.%	0,136
Si	Ka	963,79	18,327	wt.%	0,167
Ca	Ka	637,91	12,608	wt.%	0,141
Ti	Ka	2,46	0,067	wt.%	0,012
Fe	Ka	141,97	6,528	wt.%	0,155
Total			100	wt.%	

FRM28 c3a091476-3**Magnetita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	793,32	37,9	wt.%	0,381
Ti	Ka	5,67	0,138	wt.%	0,016
Mn	Ka	4,69	0,19	wt.%	0,025
Fe	Ka	1.229,00	61,772	wt.%	0,498
Total			100	wt.%	

FRM28 c3a091476-6**Biotita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	636,44	47,905	wt.%	0,537
Mg	Ka	208,48	4,811	wt.%	0,094
Al	Ka	477,02	9,662	wt.%	0,125
Si	Ka	899,89	17,828	wt.%	0,168
K	Ka	343,3	6,617	wt.%	0,101
Ti	Ka	40,98	1,08	wt.%	0,048
Fe	Ka	262,87	12,098	wt.%	0,211
Total			100	wt.%	

FRM25 c4 91267-2**Magnetita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	871,29	38,661	wt.%	0,37
Ti	Ka	4,42	0,101	wt.%	0,014
Mn	Ka	6,01	0,228	wt.%	0,026
Fe	Ka	1.297,12	61,01	wt.%	0,479
Total			100	wt.%	

FRM25 c4 91267-3**Goethita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	1.100,53	47,449	wt.%	0,405
Si	Ka	115,14	2,644	wt.%	0,07
Ti	Ka	3,77	0,089	wt.%	0,013
Mn	Ka	6,65	0,257	wt.%	0,028
Fe	Ka	1.051,92	49,562	wt.%	0,432
Total			100	wt.%	

FRM25 c4 91267-4**Goethita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	1.170,17	49,019	wt.%	0,405
Si	Ka	32,46	0,759	wt.%	0,038
Ti	Ka	1,66	0,039	wt.%	0,009
Mn	Ka	3,57	0,139	wt.%	0,021
Fe	Ka	1.050,76	50,043	wt.%	0,437
Total			100	wt.%	

FRM28 c6a091482**Epidoto**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	532,36	49,782	wt.%	0,61
Al	Ka	664,87	11,844	wt.%	0,13
Si	Ka	1.070,39	19,81	wt.%	0,171
Ca	Ka	618,48	12,104	wt.%	0,138
Fe	Ka	142,22	6,46	wt.%	0,153
Total			100	wt.%	

FRM28 c6a091482**Magnetita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	796,41	37,78	wt.%	0,379
Ti	Ka	4,74	0,114	wt.%	0,015
Mn	Ka	6,85	0,276	wt.%	0,03
Fe	Ka	1.238,22	61,83	wt.%	0,497
Total			100	wt.%	

FRM28 c6a091482**Plagioclásio**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	823,35	52,073	wt.%	0,513
Na	Ka	239,8	6,15	wt.%	0,112
Al	Ka	727,6	11,592	wt.%	0,122
Si	Ka	1.667,76	28,067	wt.%	0,194
Ca	Ka	113,06	2,119	wt.%	0,056
Total			100	wt.%	

FRM28 c6a091482**Magnetita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	752,26	37,248	wt.%	0,384
Mn	Ka	4,22	0,177	wt.%	0,024
Fe	Ka	1.198,07	62,574	wt.%	0,511
Total			100	wt.%	

FMR 24 c1 091700-1**Pirita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
S	Ka	3.484,34	60,832	wt.%	0,291
Fe	Ka	768,55	39,168	wt.%	0,4
Total			100	wt.%	

FMR 24 c1 091700-2**Goethita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
O	Ka	1.031,33	47,991	wt.%	0,423
Si	Ka	66,81	1,681	wt.%	0,058
Ti	Ka	7,51	0,192	wt.%	0,02
Fe	Ka	975,4	50,135	wt.%	0,454
Total			100	wt.%	

FMR 24 c1 091700-3**Calcopirita**

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig
S	Ka	2.167,62	43,839	wt. %	0,266
Fe	Ka	651,92	32,76	wt. %	0,363
Cu	Ka	236,31	23,401	wt. %	0,431
Total			100	wt. %	