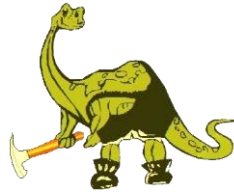




Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ADRIEL QUÉSEDE DE OLIVEIRA PEREIRA

PETROGRAFIA, SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E
MINERALOGIA DOS GABROS DA ÁREA DE SERRA
DOURADA, PROVÍNCIA CARAJÁS

BELÉM - PARÁ
MARÇO - 2012

ADRIEL QUÉSEDE DE OLIVEIRA PEREIRA

PETROGRAFIA, SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E
MINERALOGIA DOS GABROS DA ÁREA DE SERRA
DOURADA, PROVÍNCIA CARAJÁS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Roberto Dall’Agnol.

BELÉM
2012

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

- P455p Pereira, Adriel Quésede de Oliveira
 Petrografia, suscetibilidade magnética e mineralogia dos gabros da área de serra Dourada, Província Carajás / Adriel Quésede de Oliveira Pereira; Orientador: Roberto Dall’Agnol – 2012
 96 f. : il.
 Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2012.
1. Petrologia – Dourada, Serra (PA). 2. Petrografia. 3. Mineralogia. 4. Neoarqueano. 5. Gabros. 6. Suscetibilidade magnética. I. Dall’Agnol, Roberto, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 552.098115

ADRIEL QUÉSEDE DE OLIVEIRA PEREIRA

PETROGRAFIA, SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E
MINERALOGIA DOS GABROS DA ÁREA DE SERRA
DOURADA, PROVÍNCIA CARAJÁS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia 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. Roberto Dall'Agno - Orientador
Doutor em Geociências
Universidade Federal do Pará

Prof. Albano A. S. Leite - Membro
Doutor em Geociências
Universidade Federal do Pará

Dr. Hilton Tulio Costi - Membro
Doutor em Geociências
Museu Paraense Emílio Goeldi

A minha família,
que sempre em tudo me apoiou.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e entidades que contribuíram para que esse trabalho fosse concluído, em especial:

- A Deus, pela sua divina graça concedida a cada dia;
- Aos meus pais, pelo completo apoio e dedicação;
- As minhas queridas irmãs Adna e Abda, pelo companheirismo e momentos de descontração;
- Ao CNPq (processo: 484524/2007), pela bolsa de iniciação científica e INCT de Geociências da Amazônia pelo suporte financeiro;
- Ao Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitóides (GPPG) do Instituto de Geociências (IG) da UFPA, pelo suporte técnico-científico;
- A professora Gilmara, por todos os conselhos, ensinamentos;
- A todos os amigos do GPPG, que sempre estiveram dispostos a ajudar;
- Aos geólogos e amigos Pacheco (Igor Lima), Ruben, Camila, Hévila, Patrick e Fabrícia, pela sincera amizade;
- A todos os amigos da turma de 2007, pela amizade e momentos de descontração;
- A toda a minha família, parentes e amigos;
- A todos os professores do instituto de geociências, por ensinarem o caminho das pedras;
- Aos técnicos do instituto de geociências e a bibliotecária Lúcia, pela colaboração;
- E por último, porém não menos importante, ao professor Roberto Dall'Agnol, pelas correções, pelos conselhos, e imensa paciência.

Obrigado!

RESUMO

Com base nas composições modais, os gabros da região de Serra Dourada foram classificados em três grupos: (1) **gabros com olivina**: formados essencialmente por plagioclásio (An variando de 65 a 70), clinopiroxênio (augita), ortopiroxênio (enstatita), com olivina e anfibólios (ferropargasita e magnésiohornblenda) subordinados. (2) **gabros e gabro-noritos**: constituídos essencialmente por plagioclásio (An variando de 50 a 80), clinopiroxênio (essencialmente augita, subordinadamente diopsídio, pigeonita e clinoferrossilita), ortopiroxênio (enstatita) e anfibólio (ferropargasita). (3) Os **anfibólio-gabros** são rochas levemente foliadas, formadas essencialmente por plagioclásio (variando de labradorita a oligoclásio) e anfibólio (predominantemente ferropargasita, com poucas ocorrências de hastingsita, ferro-edenita, ferrotschermakita e actinolita), com clinopiroxênios (clinoenstatita e augita) e ortopiroxênios (enstatita) subordinados. Magnetita e ilmenita são os óxidos de Fe e Ti primários dos gabros com olivina e gabros e gabro-noritos. Estes minerais estão relacionados à oxi-exsolução da titanomagnetita, originalmente formada no magma. Porém a magnetita também pode ser formada por processos secundários. A petrologia magnética revelou que os gabros de Serra Dourada apresentam quatro populações (A, B, C e D) com diferentes características magnéticas. Os menores valores de SM estão na população A, e os maiores em D. Os grupos dos gabros com olivina e gabros e gabro-noritos concentram-se nas populações C e D, com seus valores relativamente elevados de SM. Os anfibólio-gabros se espalham nas diferentes populações, inclusive ocupando os valores de mais alta SM. Isso pode ser explicado pela formação secundária de magnetita.

Palavras chave: Petrologia – Dourada, Serra (PA). Petrografia. Mineralogia. Neoarqueano. Gabros. Suscetibilidade magnética.

ABSTRACT

Based on modal compositions, the gabbros in the region of Serra Dourada were classified into three groups: (1) gabbro with olivine, composed mainly of plagioclase (An ranging from 65 to 70), clinopyroxene (augite), orthopyroxene (enstatite), with olivine and amphibole (ferropargasite and magnesiohornblende) subordinates. (2) gabbro and gabbro-norite, composed mainly of plagioclase (An ranging from 50 to 80), clinopyroxene (mostly augite, subordinate diopside, clinoferrossilite and pigeonite), orthopyroxene (enstatite) and amphibole (ferropargasite). (3) The amphibole-gabbros are slightly foliated rock, composed mainly of plagioclase (ranging from labradorite to oligoclase) and amphibole (predominantly ferropargasite, with few instances of hastingsite, ferro-edenite, ferrotschermakite and actinolite), with clinopyroxene (augite and clinoenstatite) and orthopyroxene (enstatite) subordinates. Magnetite and ilmenite are primary oxides of Fe and Ti in gabbros with olivine and gabbro and gabbro-norite. These minerals are related to the oxy-exsolution titanomagnetite, originally formed in the magma. But magnetite can also be formed by secondary processes. The magnetic petrology of gabbros revealed that Serra Dourada have four populations (A, B, C and D) with different magnetic characteristics. The lower values of SM are in the population A, and the largest are in D. The groups of gabbros with olivine and gabbro and gabbro-norite are concentrated in populations C and D, with its relatively high values of MS. The amphibole-gabbro are scattered in different populations, including occupying the highest values of SM. This can be explained by the secondary formation of magnetite.

Key-words: Petrology - Dourada, Serra (PA). Petrography. Mineralogy. Neoproterozoic. Gabbros. Magnetic susceptibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização e acesso da região de Serra Dourada	15
Figura 2 - Mapa geológico da área com a localização das amostras estudadas	17
Figura 3 - Diagramas para classificação modal de rochas gabróicas	22
Figura 4 - Foto micrografias dos gabros com olivina	25
Figura 5 - Foto micrografias dos gabros e gabro-noritos	28
Figura 6 - Foto micrografias dos anfibólio-gabros	32
Figura 7 - Diagrama Ternário do sistema TiO_2 - FeO - Fe_2O_3	36
Figura 8 - Histograma comp. e gráfico de probab. referente aos dados de SM	38
Figura 9 - Gráfico de SM versus proporção de minerais opacos	44
Figura 10 - Assoc. de ilmenita composite interna, externa e magnetita (MEV)	45
Figura 11 - Intercrescimento de ilmenita trellis com magnetita (MEV)	46
Figura 12 - Intercrescimento de ilmenita trellis com magnetita (MEV)	47
Figura 13 - Associação de ilmenita composite externa e magnetita (MEV)	48
Figura 14 - Ilmenita esquelética associada a anfibólio pleocróico (MEV)	49
Figura 15 - Ilmenita esquel. associada a anfibólio pleoc. e calcopirita (MEV)	50
Figura 16 - Ferropargasita bordejando actinolita, e magnetita (MEV)	51
Figura 17 - Diagrama Q-J para distinção química entre os tipos de piroxênios	53
Figura 18 - Diagramas triangulares En-Wo-Fs para piroxênios Quad.	54
Figura 19 - Diagramas triangulares En-Wo-Fs para piroxênios Quad.	55
Figura 20 - Diag. triangulares (Ab-Or-An) para classificação de plagioclásios	57
Figura 21 - Diag. triangulares (Ab-Or-An) para classificação de plagioclásios	58
Figura 22 - Diagramas de classificação para anfibólios cálcicos	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 APRESENTAÇÃO.....	14
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	14
1.3 GEOLOGIA REGIONAL	15
1.4 GEOLOGIA LOCAL	16
2 JUSTIFICATIVA	18
3 OBJETIVOS	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	20
4.2 PETROGRAFIA.....	20
4.3 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E TRATAMENTO DOS DADOS	20
4.4 MINERALOGIA	20
5 PETROGRAFIA	22
5.1 GABROS COM OLIVINA	23
5.2 GABROS E GABRO-NORITOS	26
5.3 ANFIBÓLIO-GABROS	29
5.4 DISCUSSÕES SOBRE A PETROGRAFIA.....	31
6 PETROLOGIA MAGNÉTICA	35
6.1 PRINCÍPIOS DA PETROLOGIA MAGNÉTICA	35
6.2 RESULTADOS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SM)	36
6.3 ESTUDO DOS MINERAIS OPACOS	41
6.3.1 GABROS COM OLIVINA	41
6.3.2 GABROS E GABRO-NORITOS	41
6.3.3 ANFIBÓLIO-GABROS	41
6.4 DISCUSSÕES SOBRE OS MINERAIS ÓXIDOS DE FE E TI	42
7 QUÍMICA MINERAL	52

7.1 OLIVINA	52
7.2 PIROXÊNIOS	52
7.3 PLAGIOCLÁSIOS.....	55
7.4 ANFIBÓLIO	58
7.5 DISCUSSÕES SOBRE A MINERALOGIA	60
8 CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICES	70
APÊNDICE A - TABELA DE LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS E RESPECTIVOS MÉTODOS EMPREGADOS	71
APÊNDICE B - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS DAS OLIVINAS DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA	72
APÊNDICE C - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA	73
APÊNDICE D - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA	74
APÊNDICE E - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA	75
APÊNDICE F - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	76

APÊNDICE G - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	77
APÊNDICE H - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	78
APÊNDICE I - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	79
APÊNDICE J - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	80
APÊNDICE K - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA...	81
APÊNDICE L - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	82
APÊNDICE M - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	83
APÊNDICE N - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	84

APÊNDICE O - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	85
APÊNDICE P - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	86
APÊNDICE Q - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA.....	87
APÊNDICE R - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA...	88
APÊNDICE S - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA...	89
APÊNDICE T - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA...	90
APÊNDICE U - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA...	91
APÊNDICE V - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS GABROS COM OLIVINA, GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA	92
APÊNDICE W - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA	93

APÊNDICE X - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA	94
APÊNDICE Y - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA	95
APÊNDICE Z - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA	96

1 INTRODUÇÃO

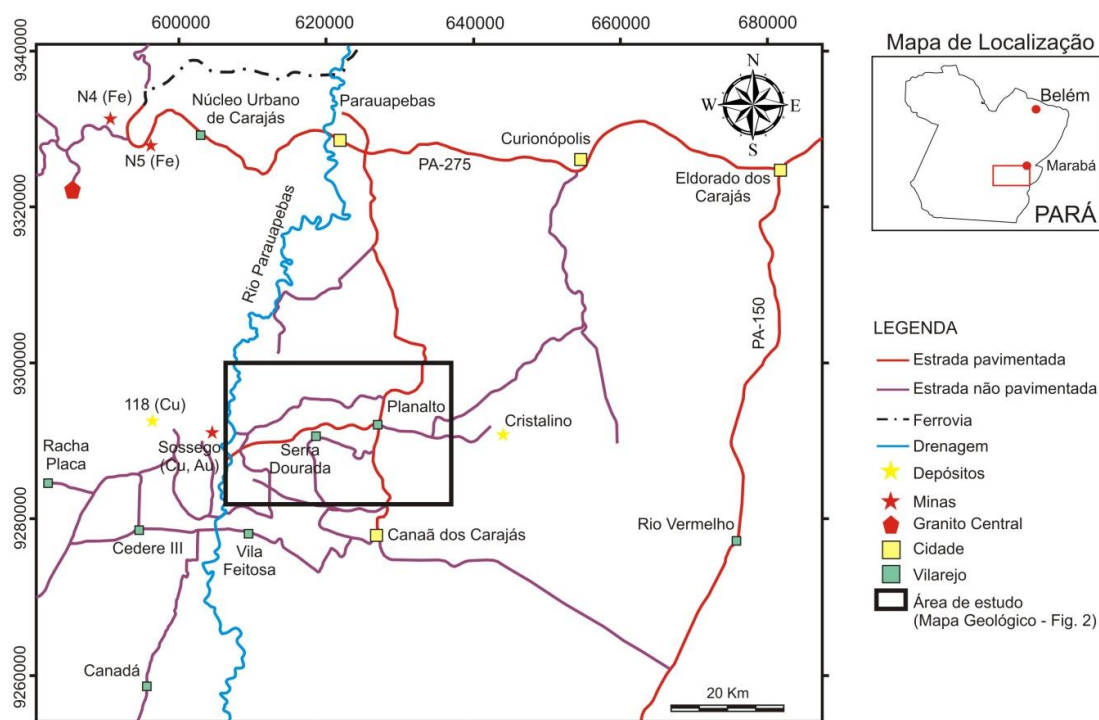
1.1 APRESENTAÇÃO

O domínio Carajás (VASQUEZ et al., 2008), localizado na porção norte da Província Carajás, é formado por uma ampla variedade de rochas granitóides, máficas e ultramáficas de idades variadas desde o Mesoarqueano ao Paleoproterozóico, porém predominantemente arqueanas. Diversos trabalhos foram desenvolvidos em granitóides do subdomínio de Transição, porção sul do Domínio Carajás (DALL'AGNOL et al., 2006; FEIO, 2011; GOMES & DALL'AGNOL, 2007; HUHNS et al., 1999; OLIVEIRA, 2003; OLIVEIRA et al., 2010; SANTOS, 2009). Entretanto, a caracterização geológica de rochas máficas e ultramáficas e, particularmente, daquelas de idade arqueana é restrita. Este trabalho contribui para preencher esta lacuna e para tal será dado enfoque em rochas gabróicas ocorrentes na região de Canaã dos Carajás – a sul da bacia Carajás e na porção norte do subdomínio de Transição, com intuito de caracterizar e individualizar os tipos de gabros deste segmento da Província Carajás, com base em petrografia e mineralogia.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

As ocorrências de gabros estudadas estão localizadas na área de Serra Dourada, município de Canaã dos Carajás, no domínio norte da Província Carajás, no sudeste do Estado do Pará. Partindo de Belém, o acesso à essa área pode ser feito por via terrestre ou aérea até a cidade de Marabá, seguindo-se desta em direção à Parauapebas por via terrestre pelas rodovias PA-150 e PA-275 (Fig. 1). O acesso para o município de Canaã dos Carajás se dá por estrada pavimentada, ligando o terminal ferroviário de Parauapebas com a cidade de Canaã dos Carajás.

Figura 1 - Mapa de localização e acesso da região de Serra Dourada, Província Carajás



Fonte: Modificado de Santos, 2009.

1.3 GEOLOGIA REGIONAL

A Província Carajás (PC) está localizada na porção sudeste do Cráton Amazônico. Tassinari & Macambira (2004) e Santos et al. (2003) subdividem o Cráton Amazônico em províncias geocronológicas, formadas em torno de um núcleo arqueano alongado na direção NW/SE, denominado originalmente Província Amazônia Central (TEIXEIRA et al., 1989), seguido de retrabalhamentos e acreção crustal ao longo de cinturões móveis.

Souza et al. (1996) subdividiram a Província Mineral de Carajás em dois blocos distintos, denominados de Rio Maria e Carajás. Esta proposta tem sido fortalecida ao longo do tempo (DALL'AGNOL et al. 2006), tendo sido assumida a existência dos dois domínios mencionados no mapa geológico do estado do Pará (VASQUEZ et al. 2008).

O domínio Rio Maria é formado por *greenstone belts* (Supergrupo Andorinhas) e granitóides tonalítico-trondhjemítico-granodioríticos (TTG; Tonalito Arco Verde, Trondhjemito Mogno; Complexo Tonalítico Caracol, Tonalito Mariazinha e Trondhjemito Água Fria; ALMEIDA et al. 2011), granitóides com alto Mg predominantemente granodioríticos (Suíte sanukitóide Rio Maria; OLIVEIRA et al. 2009),

leucogranodioritos e leucomonzogranitos cálcico-alcálicos enriquecidos em Ba e Sr, (Suíte Guarantã e granitos similares; 2,87 Ga; ALMEIDA et al. 2010) e leucogranitos potássicos (granitos Xinguara, Mata Surrão e correlatos). As diversas unidades mencionadas possuem idades arqueanas (2,98 a 2,86 Ga; ALMEIDA et al., 2011; DALL'AGNOL et al., 2006; LEITE, 2001; MACAMBIRA e LAFON, 1995; PIMENTEL e MACHADO, 1994).

O domínio Carajás é constituído de granulitos máficos do Complexo Pium (3,00-2,85 Ga; PIDGEON et al., 2000), gnaisses quartzo-feldspáticos do Complexo Xingu (2,97 Ga, AVELAR, 1996; SILVA, et al., 1974), sequências metavulcano-sedimentares do Supergrupo Itacaiúnas (2,76 Ga; MACHADO et al., 1991) e granitóides diversos de 2,76 a 2,56 Ga (Suíte Plaquê - AVELAR, 1996; Complexo Granítico Estrela - BARROS et al., 2009; granitos Planalto - HUHN et al., 1999; Old Salobo - MACHADO et al., 1991; Serra do Rabo - SARDINHA et al., 2006).

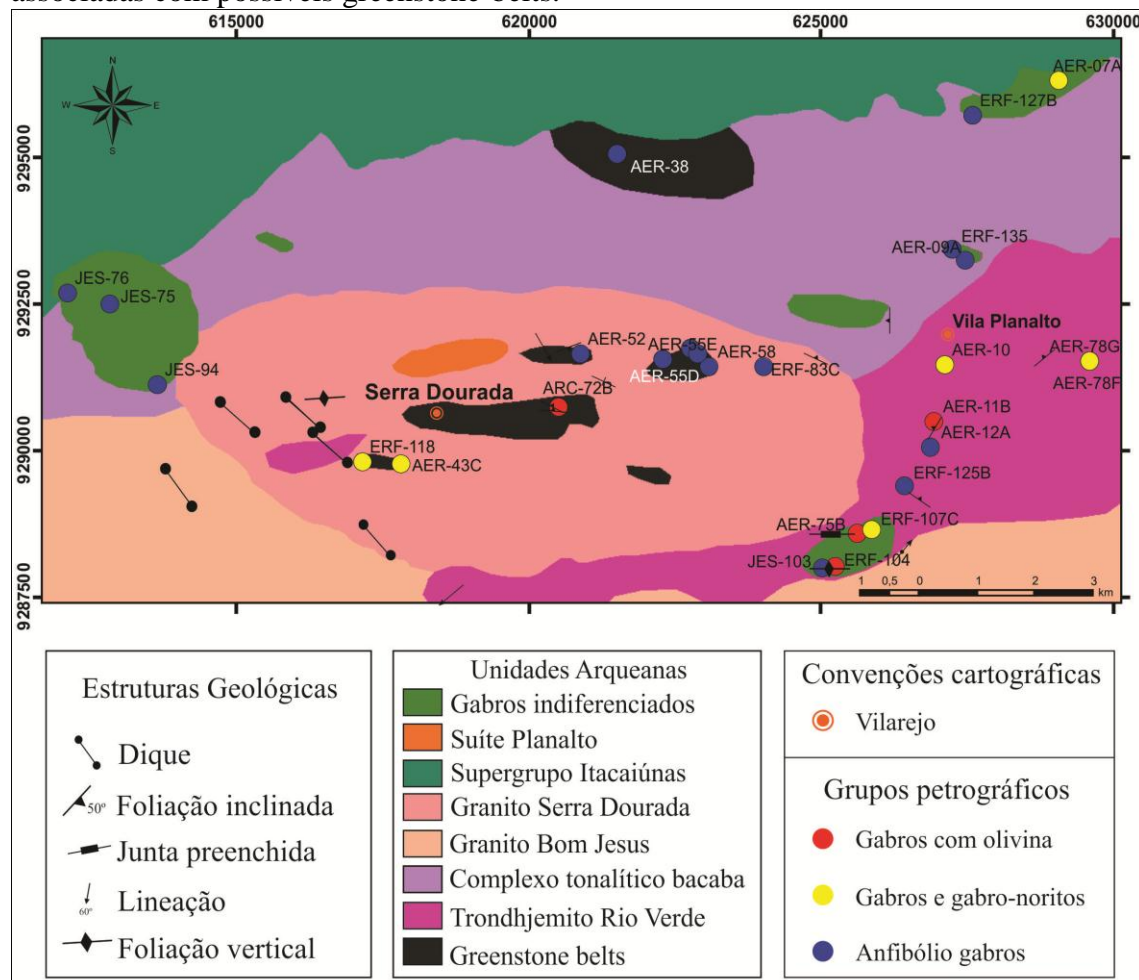
A região de Canaã dos Carajás, por sua vez, é constituída além do Complexo Pium, por diversos granitóides mesoarqueanos a neoarqueanos (3,0 a 2,73 Ga; FEIO 2011), bem como por diferentes unidades de rochas predominantemente máficas a ultramáficas que incluem greenstone belts mesoarqueanos, à sequência máfica neoarqueana do Supergrupo Itacaiunas, o corpo máfico-ultramáfico do Vermelho e pequenos corpos de gabros, possivelmente de idade mesoarqueana ou neoarqueana, que são o objeto do presente estudo (Fig. 2). Além das rochas máficas citadas, existem provavelmente na região diques paleoproterozóicos de diabásio.

1.4 GEOLOGIA LOCAL

A principal área de ocorrência de rochas máficas selecionadas para estudo foi mapeada por Feio (2011) e a sua geologia está apresentada na Figura 2. As rochas máficas se concentram notavelmente nas proximidades das localidades de Serra Dourada e Vila Planalto, e também em torno da mina do Sossego. Na porção central da área, intrudidas pelo Granito Serra Dourada, e na sua porção centro-norte, em contato com o Supergrupo Itacaiúnas, ocorrem rochas máficas, interpretadas como possivelmente associadas com *greenstone-belts*. As idades dessas rochas não foram definidas, mas seriam provavelmente rochas mesoarqueanas. Além disso, são comuns na área pequenos stocks de gabros e inúmeros diques máficos, estes em geral com orientação NW-SE (Fig. 2). O maior corpo de gabro identificado se situa na porção NW da área junto ao denominado Alvo Bacaba. As rochas estudadas fazem parte tanto dos

possíveis *greenstone-belts*, quanto dos corpos de gabros. As idades dos gabros e suas relações com as rochas máficas associadas aos *greenstone-belts* não se encontram inteiramente definidas.

Figura 2 - Mapa geológico da área norte de Canaã dos Carajás, mostrando localização das amostras estudadas e as principais ocorrências de gabros e rochas máficas associadas com possíveis *greenstone-belts*.



Fonte: Modificado de Feio (2011).

2 JUSTIFICATIVA

Conforme assinalado anteriormente, houve avanços significativos no estudo de rochas granitóides arqueanas presentes no subdomínio de Transição. Entretanto, a caracterização geológica de rochas máficas e ultramáficas é ainda muito limitada, apesar da importância das mesmas no contexto evolutivo da região. Foram identificadas em estudos anteriores (FEIO, 2011; ver referências adicionais naquele trabalho) muitas ocorrências de gabros na região de Serra Dourada, que se encontram pobremente caracterizadas do ponto de vista geológico, petrográfico e mineralógico. Com o objetivo de se obter uma melhor compreensão deste magmatismo máfico, formador das rochas gabróicas, e procurar esclarecer suas relações com o magmatismo granitóide arqueano, a presente pesquisa foi direcionada para a caracterização petrográfica e mineralógica das ocorrências de gabros e rochas máficas identificadas na área de Serra Dourada. Esta pesquisa servirá também de base no futuro para estudos mais aprofundados, envolvendo geoquímica em rocha total e isotópica.

3 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral a caracterização petrográfica e mineralógica e a definição do comportamento magnético dos gabros ocorrentes na área de Serra Dourada. Além disso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Efetuar o estudo petrográfico dos gabros arqueanos e classificar as suas diferentes variedades;
- b) Definir o comportamento magnético dos diferentes tipos de gabros;
- c) Caracterizar os minerais óxidos de Fe e Ti presentes nos mesmos e suas feições texturais;
- d) Estabelecer relações entre o conteúdo modal de minerais opacos e os valores de SM;
- e) Definir as associações minerais formadas no estágio magmático e aquelas relacionadas a processos metamórfico e/ou hidrotermais, bem como o(s) tipo(s) de transformação dominante(s);
- f) Caracterizar as principais fases minerais presentes nestas rochas, classificá-las e procurar explicar seu papel na evolução das rochas estudadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Foi efetuado levantamento bibliográfico com ênfase na geologia regional e no magmatismo máfico da Província Carajás, bem como sobre as características petrográficas e mineralógicas deste tipo de rocha e das principais associações máficas. Complementarmente foram pesquisados temas relacionados com petrologia magnética, incluindo suscetibilidade magnética e minerais óxidos de Fe e Ti e seu significado.

4.2 PETROGRAFIA

O estudo petrográfico envolveu a descrição mesoscópica, seguida de estudos de 31 lâminas polidas em microscópio ótico utilizando tanto as técnicas de luz transmitida, como refletida. Consistiu na descrição mineralógica detalhada das diversas variedades e na análise das relações texturais, intercrescimentos, texturas de exsolução e/ou substituição de seus principais minerais constituintes, procurando esclarecer a história de cristalização e as transformações metamórfico e/ou hidrotermais que afetaram as rochas gabróicas. Foram efetuadas análises modais de 31 amostras, as quais foram classificadas com base nas recomendações da Subcomissão de Nomenclatura de Rochas Ígneas da IUGS (Le MAITRE et al., 2002). Foram contados 2000 pontos por lâmina delgada e foi feita análise de apenas uma lâmina de cada amostra.

4.3 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E TRATAMENTO DOS DADOS

As medidas de suscetibilidade magnética (SM) foram realizadas no Laboratório de Petrologia Magnética da UFPA, utilizando suscetibilímetro SM-30, fabricado pela *ZH INSTRUMENTS*, que permite medidas em materiais com SM variando até 1×10^{-7} SI. O tratamento dos dados foi realizado com o programa Minitab 16, através da elaboração de diagramas de probabilidade e histogramas de frequência.

4.4 MINERALOGIA

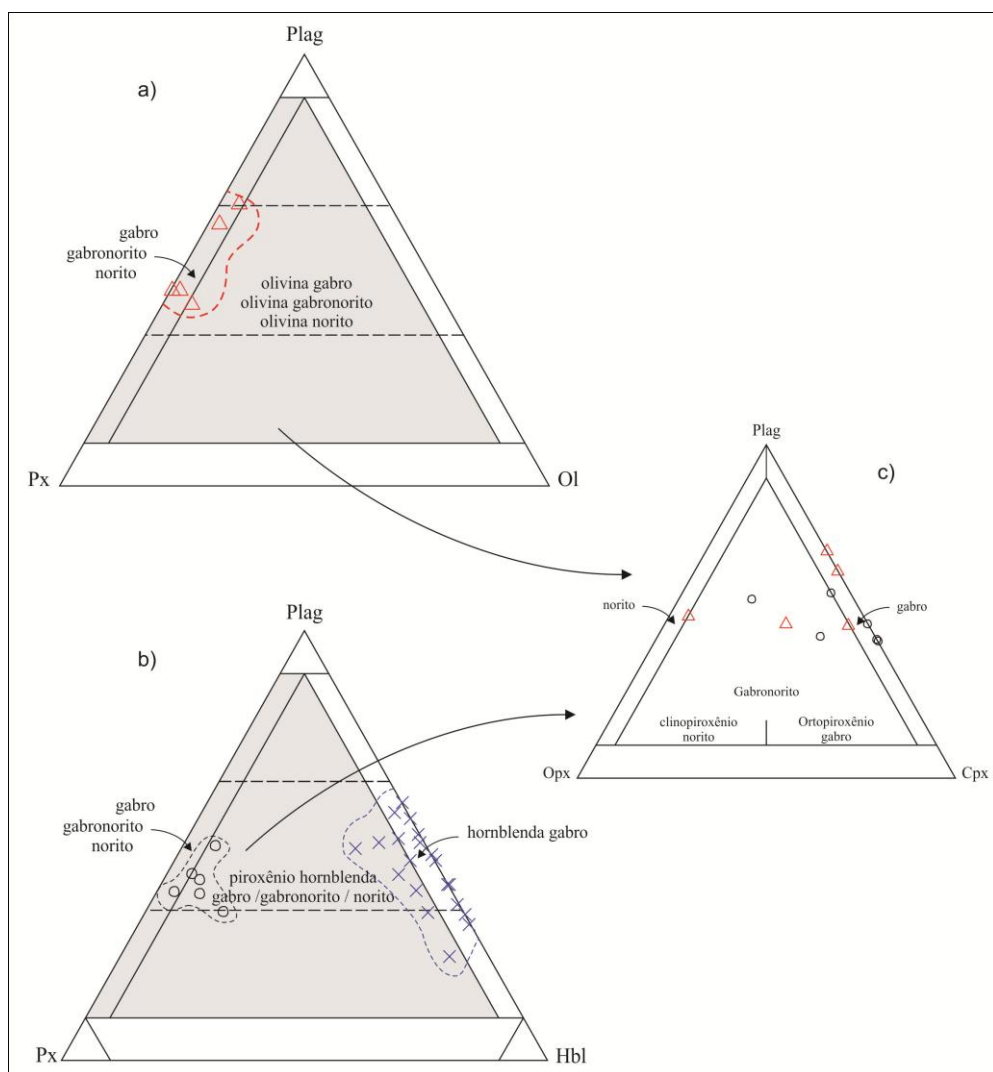
O estudo mineralógico, iniciado por meio da petrografia microscópica, foi complementado e aprofundado em microscopia eletrônica de varredura, tendo sido realizado em seções representativas dos diferentes tipos de gabros. As observações e análises em microscópio eletrônico foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV) do Instituto de Geociências da UFPA, sob a supervisão do Prof. Claudio Nery Lamarão. Elas consistiram no exame detalhado das

relações texturais entre as fases minerais de interesse, na determinação da natureza daquelas de difícil identificação ao microscópio ótico e na obtenção, por meio de Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia (EDS), de espectros de raios-X e das composições semi-quantitativas dos principais constituintes dessas rochas. Foram focalizadas tanto as fases magmáticas, quanto as formadas por processos metamórficos e/ou hidrotermais. Embora os resultados analíticos por EDS-MEV não sejam inteiramente rigorosos em termos da definição da composição dos minerais estudados, eles permitem uma primeira estimativa da natureza desses minerais. Em razão disso, elas foram utilizadas para uma classificação preliminar dos principais minerais dos gabros de Serra Dourada.

5 PETROGRAFIA

As tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam as composições modais das variedades de gabros da região de Serra Dourada, com as proporções dos diferentes minerais expressas em percentagem em volume. Os gabros de Serra Dourada são distribuídos em três grandes grupos: (1) *gabros com olivina*; (2) *gabros e gabro-noritos*; e (3) *anfíbólio-gabros*. As rochas destes grupos foram classificadas a partir das composições modais com base nos diagramas Piroxênio(Px)-Plagioclásio(Plag)-Olivina(Ol), Piroxênio(Px)-Plagioclásio(Plag)-Hornblenda(Hbl) e Ortopiroxênio(Opx)-Plagioclásio(Plag)-Clinopiroxênio(Cpx) (Fig. 3), conforme Le Maitre et al. (2002).

Figura 3 - Diagramas para classificação modal de rochas gabróicas, mostrando a distribuição das amostras estudadas e destacando os três grupos de rochas identificados. Plag = plagioclásio, Px = piroxênio, Hbl = anfíbólio, Ol = olivina, Opx = ortopiroxênio e Cpx = clinopiroxênio.



Fonte: Modificado de Le Maitre et al. (2002)

5.1 GABROS COM OLIVINA

As percentagens modais de olivina são restritas e variam de 0,4 a 3,6% (Tab. 1; chegam a atingir valores de 6,1 % quando somada à serpentina, seu produto de alteração). Isto faz com que tais rochas sejam classificadas de modo genérico como gabros com olivina, sendo que as duas amostras com percentagens mais elevadas de olivina (AER-11B e ERF-104; Tab. 1) plotam no limite do campo dos olivina gabros (Fig. 3a). As proporções modais de piroxênios revelam que as rochas dominantes nesta variedade são verdadeiros gabros, com variações para gabro-noritos e noritos (Tab. 1; Fig. 3c). Estas rochas apresentam textura subofítica e granulação média (Fig. 4a). São formados essencialmente por plagioclásio, clinopiroxênio e, eventualmente, ortopiroxênio, com olivina subordinada (Fig. 4b). Os minerais acessórios primários são magnetita, ilmenita e titanita e os secundários são mica branca, escapolita, clorita, serpentina, hematita, pirita e calcopirita. De modo geral, as rochas desta variedade se encontram relativamente pouco transformadas e sua mineralogia primária é perfeitamente identificável. São desprovidas de orientação ou deformação expressiva (Fig. 4c, d).

O **plagioclásio** é a fase dominante, com proporções modais variáveis entre 36,1 e 61,0 % (Tab. 1; valores representativos do somatório entre plagioclásio, mica branca e escapolita modais, admitindo-se que as duas últimas formaram-se às expensas do plagioclásio). Exibe cristais euédricos a subédricos com maclamento polissintético bem desenvolvido e por vezes zoneamento concêntrico e dimensões variáveis geralmente entre 1 e 5 mm (Fig. 4f). Não foram feitas determinações óticas da composição do plagioclásio, porém foram realizadas análises em MEV por EDS, onde na amostra ERF-104, a composição variou geralmente de An 65 a 55 com alguns valores de An > 70 (Fig. 20b) e, na amostra AER-11B as composições variam entre An 60 e 70 (Fig. 20c). Os cristais de plagioclásio apresentam contato reto com piroxênios e olivina. A alteração do plagioclásio leva à formação de mica branca e escapolita. Localmente são encontrados intercrescimentos granofíricos tardios.

Os **piroxênios** são os máficos dominantes e apresentam proporções modais entre 28,5 e 50,4 % (Tab. 1; valores calculados somando às proporções modais dos piroxênios aquelas de anfibólio, biotita e clorita, minerais secundários formados a partir deles). O clinopiroxênio é amplamente dominante na maioria das rochas cuja composição modal foi determinada. O ortopiroxênio é expressivo no gabro-norito (ARC-72B), mas é dominante apenas na amostra de norito (AER-11B). Ambos formam

cristais subédricos que envolvem parcialmente os cristais de plagioclásio, caracterizando a textura subofítica. Encontram-se fraturados e parcialmente alterados para anfibólio, biotita e clorita (Fig. 4e, f).

A **olivina** forma cristais fraturados e anédricos (< 5 mm) que costumam ocorrer como fragmentos de cristais englobados pelos piroxênios e bastante alterados para serpentina (iddingsita), (Fig. 4a, b, c).

Os **minerais opacos** encontram-se em proporções modais expressivas com conteúdo médio de 5,6% (Tab. 1). Os minerais opacos primários eram titanomagnetita e titanita, sendo que a primeira encontra-se transformada em intercrescimentos de magnetita praticamente pura e ilmenita em treliça (semelhante a Fig. 12). Além desta variedade textural de ilmenita, foi identificada ilmenita *patch* (mancha) e ilmenita sanduíche (DALL'AGNOL et al., 1997; HAGGERTY, 1991). A hematita presente é da variedade martita, derivada da oxidação da magnetita e de ocorrência localizada. Calcopirita e pirita formam cristais subédricos a anédricos associados com os piroxênios.

Tabela 1 - Composições modais dos gabros com olivina da área de Serra Dourada

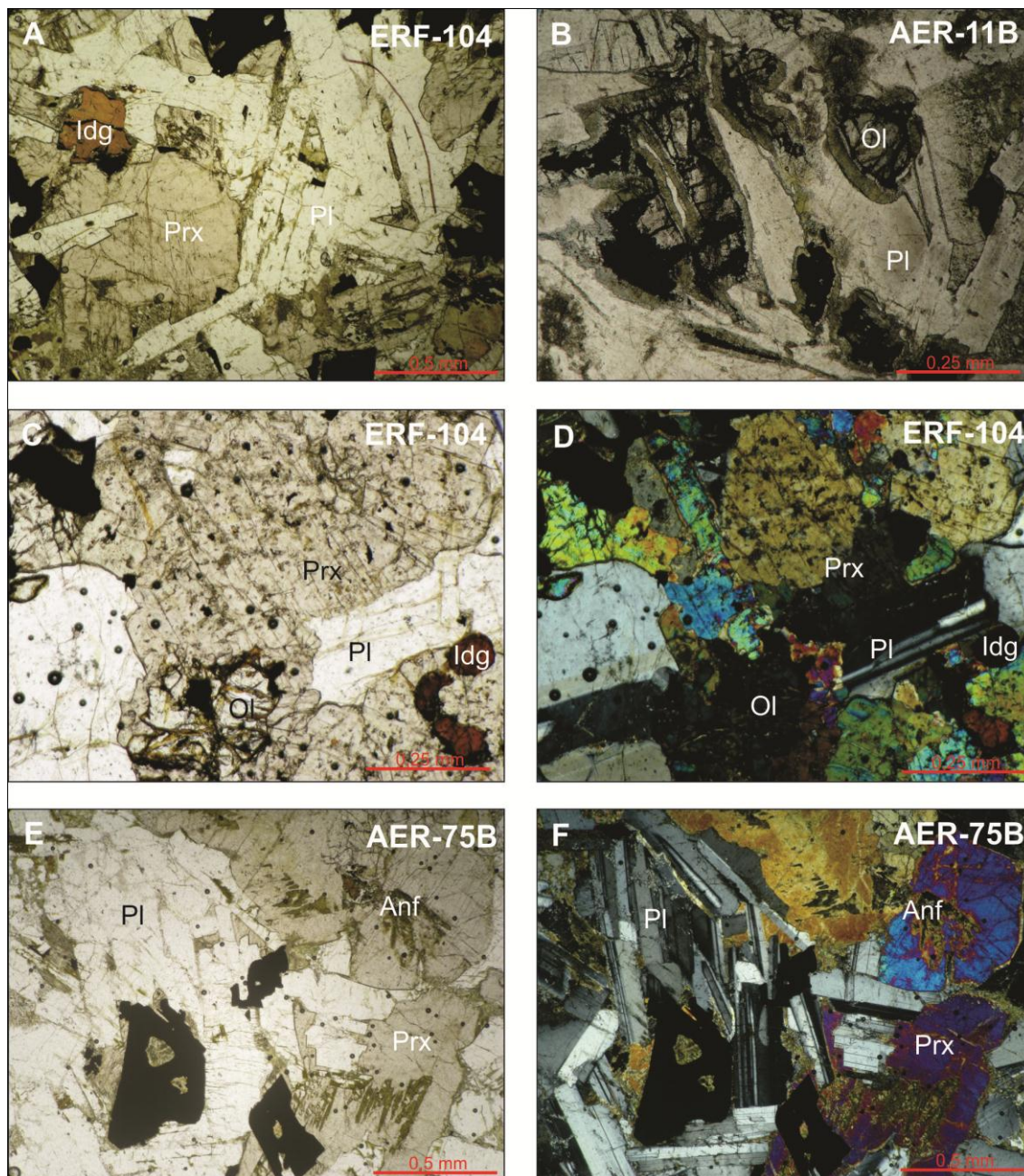
Grupo Mineral / Amostra	Gabros com olivina				
	AER11B	AER75B	ARC72B	ERF104	ERF122
Plagioclásio	36	52,8	30,6	52,6	37
Anfibólio	6,8	-	13,1	-	7,9
Clinopiroxênio	4,4	26,2	25	26,7	41,9
Ortopiroxênio	39,2	-	16,6	-	4,8
Olivina	3,4	2,3	1,5	3,6	0,4
Minerais opacos ¹	2,3	6	7,7	6,7	5,1
Biotita	-	-	-	-	0,3
Mica branca	5	4,3	5,5	8,4	2,6
Clorita	-	8,4	-	1,8	-
Escapolita	0,3	-	-	-	-
Serpentina	2,6	-	-	0,2	-
Félsicos	41,3	57,1	36,1	61	39,6
Máficos	58,7	42,9	63,9	39	60,4
Plagioclásio ²	42,3	60,7	45,6	65,4	45,5
Piroxênio ²	51,6	36,8	52,5	30,5	54,0
Olivina ²	6,1	2,4	1,9	4,1	0,5
Plagioclásio ³	48,6	62,3	46,5	68,2	45,7
Clinopiroxênio ³	5,2	37,7	32,2	31,8	48,7
Ortopiroxênio ³	46,2	-	21,4	-	5,5

1 - Magnetita, ilmenita, hematita, calcopirita, pirita e titanita;

2 - Recalculado a 100% para diagrama PxPlagOl;

3 - Recalculado a 100% para diagrama OpxPlagCpx.

Figura 4 - Foto micrografias de lâminas polidas do grupo de gabros com olivina. a) Mineralogia original preservada, bem como textura subofítica; b) Ocorrência de cristais de olivina; c) Ocorrência de cristais de olivina e idingsita, associadas ao piroxênio; d) Imagem anterior com nicóis cruzados; e) Cristais de anfibólio, produtos de alteração do piroxênio primário; f) Imagem anterior com nicóis cruzados. Pl = plagioclásio, Prx = piroxênio, Ol = olivina, Idg = idingsita, Anf = anfibólio.



5.2 GABROS E GABRO-NORITOS

São rochas isotrópicas de coloração cinza escuro, textura subofítica e granulação média (Fig. 5a, b). São geralmente mesocráticas com uma amostra melanocrática, com índice de cor variando entre 51,6 a 67,1%. Foram classificadas em sua maioria como gabros e, subordinadamente como gabro-noritos, com variedades de ortopiroxênio gabro e clinopiroxênio norito (Tab. 2; Fig. 3b, c). Sua mineralogia é constituída essencialmente por plagioclásio, clinopiroxênio e, eventualmente, ortopiroxênio. A magnetita e ilmenita são os minerais acessórios primários e os secundários são anfibólio, mica branca, escapolita, clorita, biotita, hematita, pirita, calcopirita e quartzo.

O **plagioclásio**, com proporções modais variáveis entre 32,9 a 48,4% (Tab. 2; valores representativos da somatória entre plagioclásio, mica branca e escapolita modais), exibe cristais euédricos a subédricos (com dimensões variando entre 0,5 a 2,0 mm), (Fig. 5b), com maclamento polissintético bem desenvolvido, exceto em amostras que foram intensamente transformadas por processos hidrotermais que obliteraram as maclas deste mineral. Observam-se também cristais com zoneamento concêntrico bem desenvolvido. A composição do plagioclásio determinada por meios óticos variou entre An54 e An48. Porém três amostras analisadas por EDS em MEV apresentaram composições mais cálcicas. Na amostra AER-78G, a composição variou entre An80 e An60, sendo que a maioria das análises encontra-se no campo da bitownita (Fig. 20d), enquanto que na amostra ERF-107C, a composição varia de An72 a An60 e as análises plotam em sua grande maioria no campo da labradorita (Fig. 20e). Já na amostra AER-10 a composição variou entre An70 e An58, portanto no campo da labradorita (Fig. 20f). A alteração do plagioclásio leva à formação de mica branca e escapolita (Fig. 4a, b, e).

Os **piroxênios** são os máficos dominantes e apresentam proporções modais entre 37,2 e 51,3 % (Tab. 2; valores calculados somando às proporções modais dos piroxênios, sem considerar aquelas dos minerais secundários formados a partir deles). O clinopiroxênio é amplamente dominante nas rochas estudadas, exceto na amostra AER-10, onde o ortopiroxênio o supera em abundância (Fig. 5c, d). Ambos formam cristais subédricos a anédricos, que por vezes, apresentam geminação do tipo simples. Envolvem parcialmente cristais de plagioclásio, caracterizando a textura subofítica. Encontram-se fraturados e parcialmente alterados para anfibólio, clorita e biotita (Fig. 5e, f).

O **anfíbólio** apresenta proporções modais entre 3,96 e 15,6%, mas quase sempre inferiores a 8% (Tab. 2). Forma cristais subédricos a anédricos, com pleocroísmo variando de amarelo pálido a verde azulado. Localmente encontram-se também cristais de anfíbólio incolor (actinolita), (Fig. 5a, b). A biotita e a clorita também são produto da alteração e se associam com o anfíbólio (Fig. 5a). Este forma textura em corona com o piroxênio e, localmente, simplectítica com minerais opacos.

O **quartzo** é muito escasso nas amostras estudadas (Tab. 2). Duas variedades texturais são encontradas: cristais anedrais intersticiais aos cristais de plagioclásio e piroxênios ou formando intercrescimentos granofíricos tardios.

Os **minerais opacos** encontram-se em proporções modais variando entre 2,5 a 4,9% (Tab. 2). Os minerais opacos primários e secundários são, no geral, idênticos aos descritos nos gabros com olivina. A única diferença diz respeito à ilmenita que, além das variedades *trellis*, *patch* e *sanduíche*, apresenta-se também como, *ilmenita composite*, interna e externa (Fig. 10).

Tabela 2 - Composições modais dos gabros e gabro-noritos da área de Serra Dourada

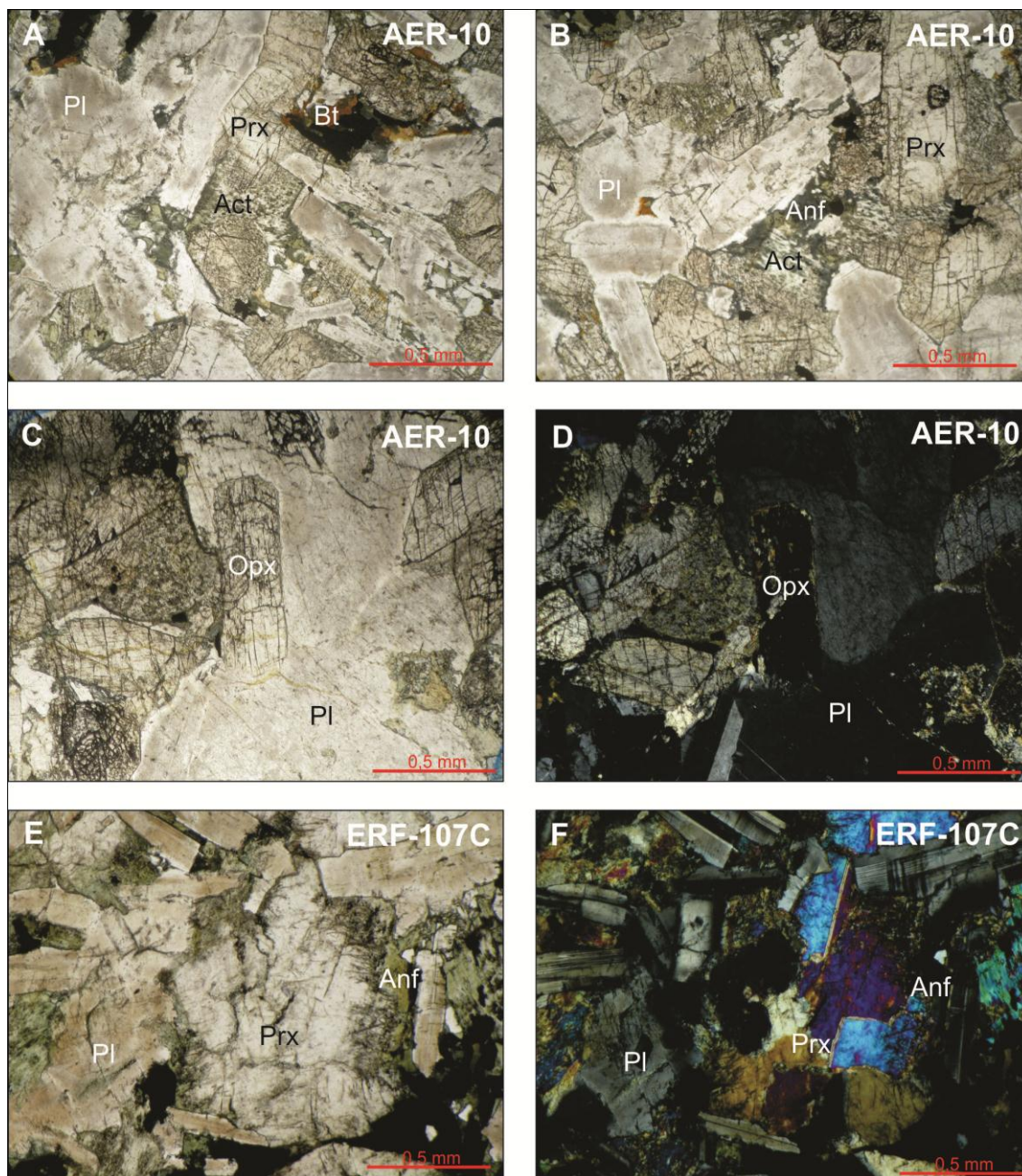
Grupo	Gabros e gabro-noritos					
	Mineral/Amostra	AER7A	AER10	AER43C	AER78G	ERF107C
Plagioclásio	14,9	41,7	41	28,3	33,4	21,9
Anfíbólio	12,4	6,8	5,3	6,5	3,6	15,6
Clinopiroxênio	33	13,3	49,2	37,9	51,3	46,7
Ortopiroxênio	4,2	24,5	-	12,7	-	-
Minerais opacos ¹	3,3	2,5	3,7	2,7	4,9	4,8
Quartzo	-	-	-	-	0,1	-
Biotita	0,4	4,5	-	-	-	-
Mica branca	31,6	6,7	0,8	5,5	2,6	11
Clorita	-	-	-	2,6	2,8	-
Escapolita	0,2	-	-	3,8	1,3	-
Félsicos	40,7	48,4	41,8	37,6	37,4	32,9
Máficos	59,3	51,6	58,2	62,4	62,6	67,1
Plagioclásio ²	42,1	49,6	43,4	38,6	39,3	34,6
Anfíbólio ²	7,5	7,0	5,5	9,4	3,8	16,4
Piroxênio ²	50,4	43,4	51,1	52,0	56,9	49,1
Plagioclásio ³	55,4	53,4	45,9	42,6	40,8	41,3
Clinopiroxênio ³	39,6	19,6	54,1	43,0	59,2	58,7
Ortopiroxênio ³	5,0	27,0	-	14,4	-	-

1 - Magnetita, ilmenita, hematita, calcopirita e pirita;

2 - Recalculado a 100% para diagrama PxPlagHbl;

3 - Recalculado a 100% para diagrama OpxPlagCpx.

Figura 5 - Foto micrografias de lâminas polidas do grupo de gabros e gabro-noritos. a) Rocha de tonalidade acinzentada, textura subofítica, onde plagioclásio e piroxênio são minerais primários, biotita e anfibólio (actinolita) secundários; b) Ocorrência de piroxênio e anfibólio; c) Cristais de ortopiroxênio; d) Imagem anterior com nicóis cruzados; e) Cristais de plagioclásios turvos, piroxênio e anfibólio produtos de alteração deste último; f) Imagem anterior com nicóis cruzados. Pl = plagioclásio, Prx = piroxênio, Act = actinolita, Bt = biotita, Anf = anfibólio, Opx = ortopiroxênio.



5.3 ANFIBÓLIO-GABROS

Apresentam estrutura levemente foliada, coloração cinza esverdeada, textura subofítica modificada em função da intensa substituição dos máficos primários e granulação média (Fig. 6a, b, f). Um aspecto notável observado em diversas amostras (p. ex.: AER-12A, ARC-128B, ARC-129A) é a presença de níveis milimétricos formados exclusivamente ou essencialmente por anfibólio com pleocroísmo em tons de verde intenso. As rochas desta variedade são geralmente mesocráticas, com apenas quatro amostras melanocráticas, com índice de cor variando no conjunto entre 44,7 e 77% (Tab. 3 e 4). Foram classificadas, em sua maioria, como anfibólio gabro e, subordinadamente como piroxênio-anfibólio gabro e melagabro (Fig. 3b). São formados essencialmente por plagioclásio e anfibólio, com clino e ortopiroxênios subordinados e restritos a algumas amostras (Tab. 3 e 4). Magnetita, ilmenita e titanita são os minerais acessórios primários, e os secundários são mica branca, escapolita, clorita, biotita, pirita, calcopirita e quartzo. Encontram-se intensamente transformadas por processos hidrotermais e há claras evidências texturais de que o anfibólio é um mineral secundário que se formou às expensas dos piroxênios primários.

O **plagioclásio**, com proporções modais entre 23 a 54,9% (Tab. 3 e 4; valores representativos da somatória entre plagioclásio, mica branca e escapolita modais), exhibe cristais euédricos a subédricos (com dimensões variando de 0,2 a 2 mm) que, de modo geral, foram intensamente transformados por processos hidrotermais que obliteraram as maclas deste mineral (Fig. 6b). A sua composição obtida por meios óticos pelo método Michel-Lévy foi de An46 (andesina). Além disso, apesar da alteração, três amostras, analisadas por EDS em MEV, permitiram uma visualização mais abrangente do zoneamento e variações composicionais presentes em cristais menos alterados e zonados de plagioclásio desta variedade de rocha. Dois cristais da amostra AER-55E foram analisados no sentido centro-borda, seguindo seu zoneamento concêntrico. As composições localizadas no centro destes cristais apresentam-se mais cálcicas (labradorita, An54) e, em direção às bordas vão se empobrecendo gradativamente em cálcio e enriquecendo em sódio até alcançarem a composição do oligoclásio sódico, com An18 (Fig. 21a). A amostra AER-9A apresentou bimodalidade em sua composição, com a maioria dos valores se situando entre An54 e An68, portanto no campo da labradorita (Fig. 21b), e algumas composições no intervalo de An27 a An35 (oligoclásio cálcico a andesina sódica). Finalmente, na amostra AER-52, a composição

obtida para o plagioclásio é mais sódica variando de An43 a An20, portanto de andesina a oligoclásio (Fig. 21c). A alteração do plagioclásio leva à formação de mica branca e, por vezes, escapolita.

O **anfíbólio** é o máfico dominante, com proporções modais entre 26,8 e 63,1% (Tab. 3 e 4; valores correspondentes às proporções modais do anfíbólio isolado). Forma cristais subédricos a anédricos. Há dois tipos distintos de anfíbólio, perfeitamente distinguíveis por seu contraste em coloração e modo de ocorrência. O primeiro tipo, e mais abundante, corresponde a cristais com pleocroísmo marcante em tons de verde, os quais costumam ocorrer envolvendo zonas de anfíbólio incolor ou fracamente colorido ou, eventualmente, restos de piroxênios (Fig. 6a, f). O segundo tipo de anfíbólio é representado pelo anfíbólio incolor que se apresenta em geral com hábito fibroso, em geral correspondendo ao núcleo dos cristais máficos primitivos, ora pseudomorfizados. Estes anfíbólios se distinguem também por sua elevada birrefringência que é bem nítida devido à ausência de cor do mineral em nicóis paralelos (Fig. 6c, d, e). A biotita e a clorita são produto de alteração e se associam com o anfíbólio que, não raramente, encontra-se com muitas inclusões de quartzo e minerais opacos.

Os **piroxênios** apresentam proporções modais variáveis entre 0,0 e 12,1% (Tab. 3 e 4; valores restritos às proporções modais dos piroxênios, sem considerar aquelas dos minerais secundários possivelmente formados a partir deles), sendo que em onze amostras esse mineral apresenta valores iguais ou inferiores a 1% e em sete delas não foi identificado (Tab. 3 e 4). Os dados modais, somados às evidências texturais, revelam que os piroxênios primários foram intensamente substituídos pelos minerais secundários com dominância do anfíbólio. O clinopiroxênio, quando presente, encontra-se sempre sob a forma de cristais reliquiaes fortemente alterados para anfíbólio. O ortopiroxênio também se apresenta como restos de cristais que se apresentam aparentemente um pouco mais preservados que o clinopiroxênio, porém em menor proporção que este.

A **biotita**, com proporções modais entre 0,5 e 17,2% (Tab. 3 e 4), é encontrada em duas texturas distintas, uma formando lamelas intersticiais (< 0,2 mm), com pleocroísmo variando de vermelho a castanho avermelhado, e outra formando cristais anedrais associados com o anfíbólio.

O **quartzo** está presente em metade das amostras analisadas em proporções modais variáveis entre 0,5 e 3,8% (Tab. 3 e 4). Encontra-se em duas variedades

texturais, pois desenvolve cristais anedrais intersticiais aos cristais de plagioclásio e anfibólio ou forma intercrescimentos granofíricos tardios.

Os **minerais opacos** encontram-se em proporções modais variando de 1,4 a 8,8% (Tab. 3 e 4). As fases primárias são magnetita, ilmenita e titanita; as fases secundárias são pirita e calcopirita. Texturalmente a ilmenita é encontrada como ilmenita em *patch*, *trellis*, sanduíche, composta interna, composta externa e esqueletal (Fig. 6f).

5.4 DISCUSSÕES SOBRE A PETROGRAFIA

O hidrotermalismo que afetou as rochas gabróicas da região de Serra Dourada é penetrativo, porém heterogêneo. A mineralogia e as principais feições texturais oriundas da alteração são representadas pela: alteração do piroxênio para anfibólios; mica branca, e escapolita como produto da alteração do plagioclásio; cristais de olivina alterada para idingsita; oxidação e substituição da magnetita; presença de sulfetos (pirita e calcopirita) associados à biotita hidrotermal.

Figura 6 - Foto micrografias de lâminas polidas do grupo dos anfibólio-gabros. a) Rocha de tonalidade esverdeada, ocorrendo plagioclásio anfibólio pleocróico; b) Imagem anterior com nicóis cruzados; c) Cristais fibrosos de anfibólio incolor (actinolita) bordejados por anfibólio pleocróico; d) Imagem anterior com nicóis cruzados; e) Cristais de plagioclásios turvos, anfibólio pleocróico, anfibólio incolor (actinolita) e magnetita associado a esse último; f) ocorrência de ilmenita *trilis* associada ao anfibólio pleocróico. Pl = plagioclásio, Anf = anfibólio, Act = actinolita, Mt = magnetita, Ilm E = ilmenita esquelética.

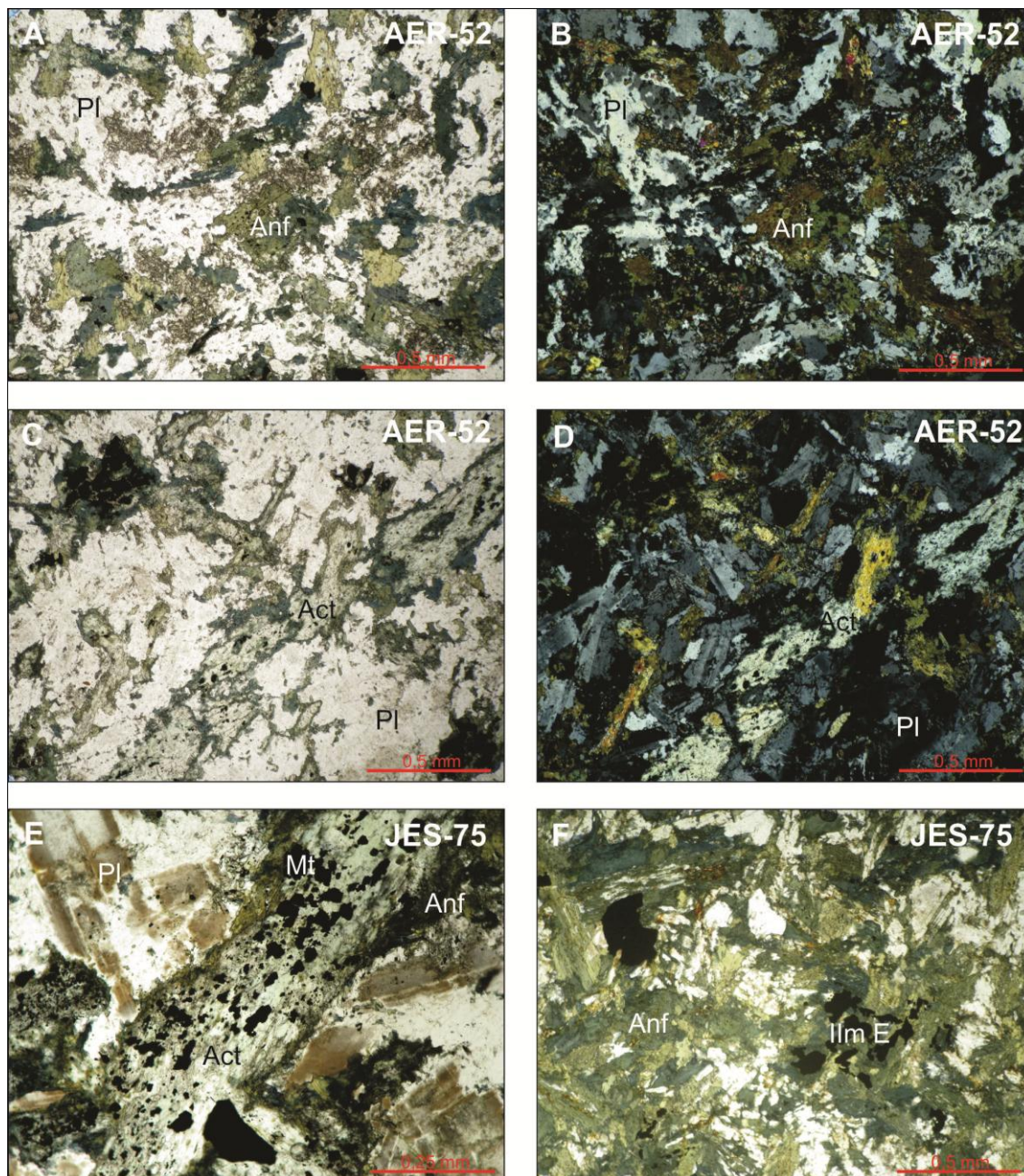


Tabela 3 - Composições modais dos anfibólio-gabros da área de Serra Dourada.

Grupo Mineral / Amostra	Anfibólio-gabros									
	AER09A	AER12A	AER52	AER55E	AER55D	AER38	AER58	AER78F	ARC128A	ARC128B
Plagioclásio	28,7	31,5	33,9	42,7	35	13	25,1	36,4	15,9	6,7
Anfibólio	26,8	44,8	38,4	41,6	53,5	63,1	42,8	50,8	54,9	62,3
Clinopiroxênio	9,7	4,6	1	1,9	-	7,1	0,6	5,8	7,2	-
Ortopiroxênio	2,4	3,8	-	1,2	-	0,5	-	1,3	-	-
Minerais opacos ¹	2,7	5,7	7,8	3,3	6,7	5	4,5	2,4	1,4	4,2
Quartzo	1,6	-	0,5	0,7	2,1	-	-	-	2,4	-
Biotita	2	-	-	1,6	-	-	15,5	-	1	0,9
Mica branca	15,8	8,3	8,5	4,2	-	4,8	4,3	2,2	7,9	22,4
Clorita	7,5	-	5,9	-	0,4	1,3	1,9	1,1	-	-
Escapolita	2,8	1,3	4	2,8	2,3	5,2	5,3	-	9,3	3,5
Félsicos	48,9	41,1	46,9	50,4	39,4	23	34,7	38,6	35,5	32,6
Máficos	51,1	58,9	53,1	49,6	60,6	77	65,3	61,4	64,5	67,4
Plagioclásio ²	49,4	43,6	50,6	51,8	40,9	24,2	36,3	39,5	34,4	34,0
Anfibólio ²	35,8	47,5	48,3	43,3	59,1	67,8	63,0	53,2	58,1	66,0
Piroxênio ²	14,7	8,9	1,1	4,9	-	8,0	0,6	7,3	7,5	-

1 - Magnetita, ilmenita, calcopirita, pirita e titanita;

2 - Recalculado a 100% para diagrama PxPlagHbl;

Tabela 4 - Composições modais dos anfibólio-gabros da área de Serra Dourada

Grupo	Anfibólio-gabros									
	Mineral / Amostra	ARC128C	ARC129A	ERF83C	ERF125B	ERF127B	ERF135	JES75	JES76	JES94
Plagioclásio	29,7	36	23,2	26,6	23,2	35,3	41,3	4,6	2,2	45,8
Anfibólio	44,8	27,9	31,9	39,2	63	39,1	48,7	41,7	32,8	23,1
Clinopiroxênio	4,8	8,9	0,1	-	0,5	-	-	-	-	-
Ortopiroxênio	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	2,5
Minerais opacos ¹	3	4,5	4,1	5,7	3,5	4,4	1,9	4,7	8,8	5
Quartzo	-	-	3,2	3,8	-	-	2	-	1,7	-
Biotita	1,5	7,4	4,6	-	1,5	17,2	1,4	-	0,5	14,5
Mica branca	4,1	8,7	19,7	6,6	6,9	2,8	2	47,4	51,4	9,1
Clorita	0,8	2,9	9,7	9,2	0,9	-	-	-	-	-
Escapolita	11,3	3,7	3,4	8,9	0,5	1,2	2,7	1,6	-	-
Epidoto	-	-	-	-	-	-	-	-	2,6	-
Félsicos	45,1	48,4	49,5	45,9	30,6	39,3	48	53,6	55,3	54,9
Máficos	54,9	51,6	50,5	54,1	69,4	60,7	52	46,4	44,7	45,1
Plagioclásio ²	46,5	50,7	52,6	46,5	31,7	41,1	47,9	56,2	59,9	57,8
Anfibólio ²	48,6	40,0	47,2	53,5	67,8	58,9	52,1	43,8	40,1	39,6
Piroxênio ²	4,9	9,3	0,2	0,0	0,5	-	-	-	-	2,6

1 - Magnetita, ilmenita, calcopirita e pirita;

2 - Recalculado a 100% para diagrama PxPlagHbl;

6 PETROLOGIA MAGNÉTICA

6.1 PRINCÍPIOS DA PETROLOGIA MAGNÉTICA

O estudo de suscetibilidade magnética (SM), em conjunto com a caracterização mineralógica e textural dos minerais óxidos de Fe e Ti, é uma poderosa ferramenta no entendimento dos processos que formaram ou alteraram/destruíram os minerais magnéticos nas rochas (CLARK, 1999).

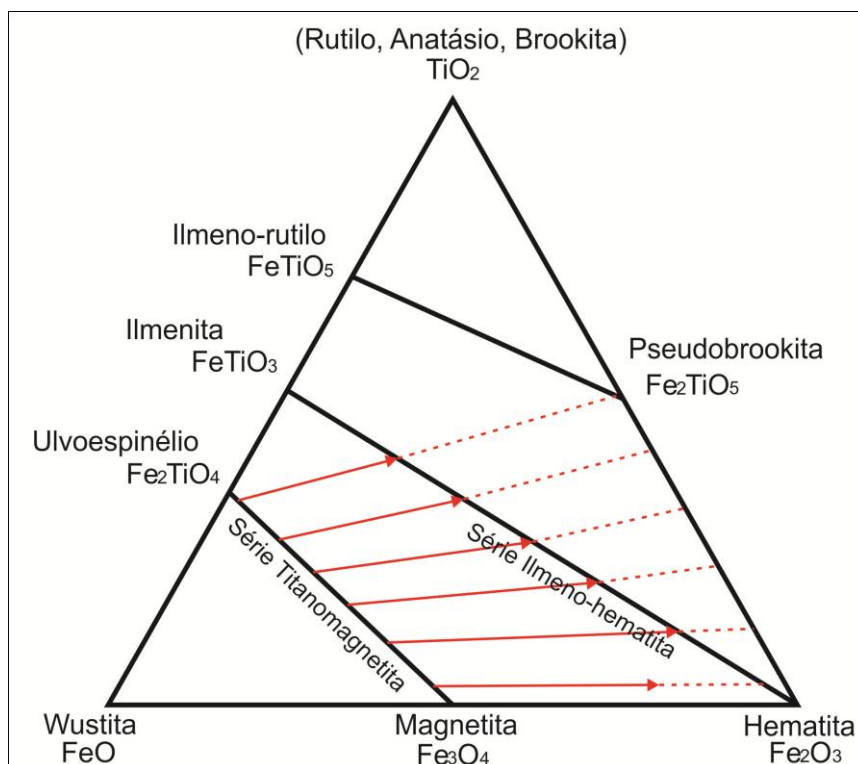
A suscetibilidade magnética (SM) de uma rocha está diretamente relacionada à natureza, quantidade e modo de ocorrência dos minerais ferromagnéticos nela contidos, tendo em vista que estes minerais são responsáveis pela intensidade e estabilidade da SM no decorrer do tempo. As rochas mostram características magnéticas similares às dos minerais ferromagnéticos que elas contêm. As propriedades magnéticas de uma rocha dependem ainda da partição do Fe entre os minerais óxidos de Fe e Ti, fortemente magnéticos, e as fases fracamente magnéticas (silicatos, carbonatos, etc.). Esta partição depende, por sua vez, da composição química, do estado de oxidação do Fe e das condições petrogenéticas nas quais a rocha foi cristalizada (CLARK, 1999).

Haggerty (1979) dividiu os minerais magnéticos formadores de rocha em: a) minerais formados por óxidos de Fe e Ti (visualizados no diagrama FeO-TiO₂-Fe₂O₃; Fig. 7); b) sulfetos à base de Fe, Ni e S; e c) ligas metálicas de Fe, Ni e Co. Além destes, podem existir soluções sólidas entre os componentes de cada sistema, sendo que as propriedades magnéticas dos minerais formadores dessas soluções variam em função do grau de solubilidade do sólido. As composições dos minerais individuais são controladas por suas temperaturas iniciais de formação, pela composição química da rocha, pela presença do *solvus* ao longo da solução sólida e pela fO₂ e fS₂.

Budington & Lindsley (1964) discutiram a importância dos minerais óxidos de Fe e Ti como geobarômetros e geotermômetros e seu interesse econômico. Esses autores dividiram os minerais óxidos de Fe e Ti em duas séries: série espinélio (titanomagnetita) e série romboedral (ilmeno-hematita). Ainda segundo aqueles autores, os óxidos de Fe e Ti (FeO, Fe₂O₃ e TiO₂) podem formar diversas associações minerais em função da intensidade de oxidação (fO₂), sendo as variedades texturais e as assembléias mais comumente encontradas, envolvendo estes minerais, fortemente dependentes de processos relacionados à oxidação e exsolução. Através destes processos, os cristais de titanomagnetita primária podem apresentar durante sua

evolução diferentes feições texturais, observadas principalmente na coexistência de magnetita e ilmenita formando intercrescimentos (DALL'AGNOL et al., 1997).

Figura 7 - Diagrama Ternário do sistema TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 , mostrando os minerais óxidos de Fe e Ti mais comuns. As setas em vermelho indicam a direção do aumento da oxidação com razão Fe e Ti constante e as linhas pretas às soluções sólidas entre: 1) magnetita-ulvoespínélio (série titanomagnetita); 2) hematita-ilmenita (série ilmeno-hematita); 3) ilmeno-rutilo-pseudobrookita.



Fonte: Modificado de Tarling (1971).

6.2 RESULTADOS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SM)

Foram realizadas medidas em 31 amostras dos gabros da área de Serra Dourada (Tab. 5). Os mesmos resultaram em valores de suscetibilidade magnética (SM) entre 5×10^{-4} SIv (valor mínimo) e $6,17 \times 10^{-2}$ SIv (valor máximo), com média de $1,93 \times 10^{-2}$ SIv (Tab. 6).

Os logaritmos dos valores de SM, quando interpretados a partir de histograma (Fig. 8a), mostraram valores espalhados entre -1,20995 e -3,30103. Os dados de SM, quando plotados em gráficos de probabilidade normal (Fig. 8b) revelam quatro populações, A, B, C e D com diferentes características magnéticas. A população D, que corresponde a 28% das amostras, resultou em valores mais elevados SM entre -1,20995 e -1,464284 (Tab. 5); já a população C, composta por 34% das amostras, apresenta valores de SM localizados no intervalo -1,596308 e -1,886057 (Tab. 5); enquanto que a

população B é composta por 13% das amostras estudadas com valores de SM entre -2,691791 e -2,886057 (Tab. 5); e a população A, com 16% amostras, é a menos magnética, com valores de SM de -3,115393 a -3,30103 (Tab. 5). Três amostras não foram agrupadas em nem uma população, por apresentarem valores de SM entre -2,025335 e -2,408935, logo, intermediárias entre as populações B e C (Fig. 8a e 8b).

A distribuição das diferentes variedades de rocha nas populações de SM (Fig. 8a) mostra que todos os gabros com olivina fazem parte das populações C e D e que apenas duas amostras de gabros e gabro-noritos não estão incluídas nessas duas populações e compõem as populações A e B. Os anfibólio-gabros são dominantes nas populações A e B, constituintes exclusivos da C e também aparecem em número expressivo nas populações C e D. A concentração dos gabros com olivina e gabros e gabro-noritos nas populações C e D sugere que as associações primárias de óxidos de Fe e Ti foram muito provavelmente melhor preservadas nestas variedades e continham proporções importantes de magnetita, talvez alterada localmente para fases não magnéticas (as duas amostras de gabros e gabro-noritos das populações A e B). Porém, como há muitas amostras de anfibólio-gabros com valores relativamente altos de SM (populações C e D, inclusive as seis amostras da população D com valores máximos de SM; Tab. 5), fica também evidente que os anfibólio-gabros contém muitas vezes teores modais expressivos de magnetita, que pode ter sido preservada pelos processos de alteração ou ser de origem secundária e distinta daquela presente nas variedades de gabro melhor preservadas.

Figura 8 - a) Histograma composto contendo as populações A, B, C e D, bem como as três amostras de SM intermediárias a B e C, é fornecida, também, a distribuição das diferentes variedades de gabros nas populações de SM identificadas; b) Gráfico de probabilidade referente aos dados de suscetibilidade magnética dos gabros estudados. As retas agrupam os dados de SM em populações distintas, A, B, C e D. Três amostras apresentam valores de SM intermediárias a B e C.

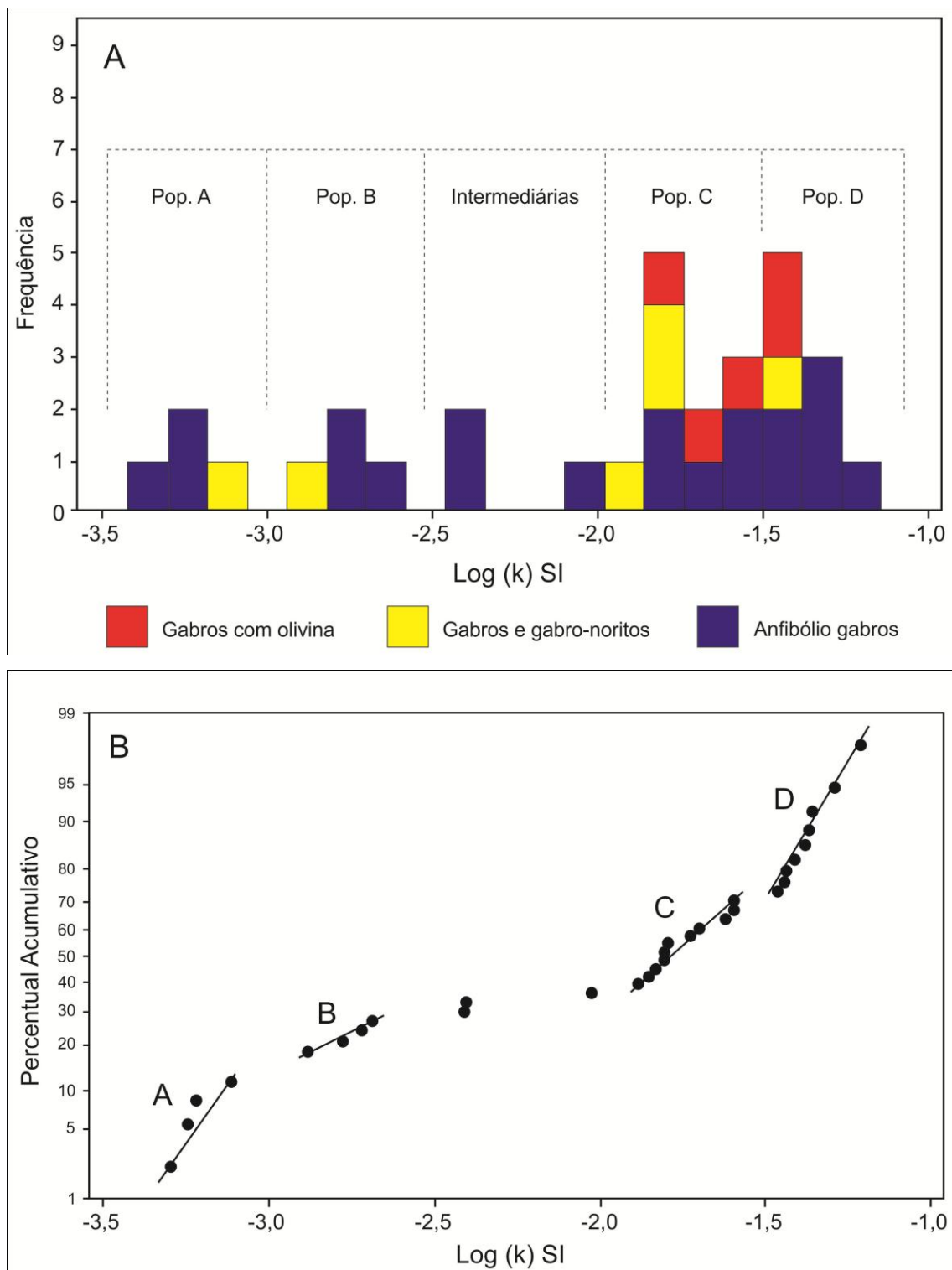


Tabela 5 - Dados de suscetibilidade magnética dos gabros da área de Serra Dourada.

População	Amostra	K (SI)	Log (k) SI	Grupo Petrográfico
População D	ERF-125B	6,17E-02	-1,20995	Anfibólio-gabros
	JES-103	5,13E-02	-1,289601	Anfibólio-gabros
	JES-76	4,40E-02	-1,356547	Anfibólio-gabros
	JES-94	4,30E-02	-1,366532	Anfibólio-gabros
	AER-52	4,17E-02	-1,380211	Anfibólio-gabros
	AER-12A	3,87E-02	-1,412663	Anfibólio-gabros
	ERF-104	3,67E-02	-1,435729	Gabros com olivina
	AER-43C	3,60E-02	-1,443697	Gabros e gabro-noritos
AER-75B	3,43E-02	-1,464284	Gabros com olivina	
População C	AER-55D	2,53E-02	-1,596308	Anfibólio-gabros
	ERF-122	2,53E-02	-1,596308	Gabros com olivina
	ERF-83C	2,40E-02	-1,619789	Anfibólio-gabros
	ARC-128A	2,00E-02	-1,69897	Anfibólio-gabros
	ARC-72B	1,87E-02	-1,728933	Gabros com olivina
	AER-55E	1,60E-02	-1,79588	Anfibólio-gabros
	AER-10	1,57E-02	-1,805023	Gabros e gabro-noritos
	AER-11B	1,57E-02	-1,805023	Gabros com olivina
	ERF-107C	1,47E-02	-1,833669	Gabros e gabro-noritos
	JES-75	1,40E-02	-1,853872	Anfibólio-gabros
ERF-118	1,30E-02	-1,886057	Gabros e gabro-noritos	
Intermediárias	ERF-135	9,43E-03	-2,025335	Anfibólio-gabros
	ARC-128C	3,93E-03	-2,405239	Anfibólio-gabros
	AER-78F	3,90E-03	-2,408935	Anfibólio-gabros
População B	AER-09A	2,03E-03	-2,691791	Anfibólio-gabros
	ARC-128B	1,90E-03	-2,721246	Anfibólio-gabros
	ARC-129A	1,67E-03	-2,778151	Anfibólio-gabros
	AER-7A	1,30E-03	-2,886057	Gabros e gabro-noritos
População A	AER-78G	7,67E-04	-3,115393	Gabros e gabro-noritos
	ERF-127B	6,00E-04	-3,221849	Anfibólio-gabros
	AER-38	5,67E-04	-3,246672	Anfibólio-gabros
	AER-58	5,00E-04	-3,30103	Anfibólio-gabros

*K (SI_v) = Valor médio de SM no sistema internacional.

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos, por população, dos dados de SM dos gabros da região de Serra Dourada.

Parâmetros Estatísticos	K (SI)				
	População D	População C	População B	População A	Geral
Média	0,0430370371	0,0183939395	0,0017250000	0,0006083335	0,0198795699
Mediana	0,0416666670	0,0160000000	0,0017833335	0,0005833335	0,0156666670
Média Geométrica	0,0423403119	0,0178954494	0,0017009384	0,0006008471	0,0097211565
Variância	7,55E-05	2,13E-05	1,03E-07	1,29E-08	3,03E-04
Desvio Padrão	0,0086865868	0,0046183646	0,0003213108	0,0001134478	0,0174074860
Valor Mínimo	0,0343333330	0,0130000000	0,0013000000	0,0005000000	0,0005000000
Valor Máximo	0,0616666670	0,0253333330	0,0020333330	0,0007666670	0,0616666670

6.3 ESTUDO DOS MINERAIS OPACOS

Nos gabros, o teor modal dos minerais opacos varia de 1,4 até 8,8% (Tab. 1, 2, 3 e 4). Os minerais opacos identificados foram óxidos de Fe e Ti e sulfetos, além da titanita que, apesar de ser um mineral transparente, interessa nessa discussão por ser uma fase acessória rica em Ti importante em rochas magmáticas. Os minerais óxidos de Fe e Ti identificados foram **magnetita**, **ilmenita** e **hematita** por vezes na forma de **martita**. Os sulfetos são **pirita** e **calcopirita**. A **titanita** é encontrada apenas em poucas amostras, associada aos óxidos mencionados. A magnetita está associada com diversos tipos texturais de ilmenita, sugerindo que a associação magnetita-ilmenita foi derivada de titanomagnetita (solução sólida entre ulvoespinélio e magnetita; Fig. 7) por processo de oxi-exsolução.

6.3.1 GABROS COM OLIVINA

Os minerais opacos encontram-se em proporções modais expressivas com conteúdo médio de 5,6% (Tab. 1). Os minerais opacos primários eram titanomagnetita e titanita hipidiomórficas, sendo que a primeira encontra-se transformada em intercrescimentos de magnetita (Mt) praticamente pura e *ilmenita trellis* (Ilm T; cf. Fig. 12). Além desta variedade textural de ilmenita, foi identificada *ilmenita patch* e *ilmenita sanduíche*. A hematita presente é da variedade martita, derivada da oxidação da magnetita e de ocorrência localizada. Calcopirita e pirita são minerais opacos secundários e formam cristais subédricos a anédricos associados com os piroxênios.

6.3.2 GABROS E GABRO-NORITOS

Os minerais opacos encontram-se em proporções modais variando entre 2,5 e 4,9% (Tab. 2). Os minerais opacos primários e secundários são, no geral, idênticos aos descritos nos gabros com olivina. A única diferença diz respeito à ilmenita que, além das variedades *trellis*, *patch* e *sanduíche*, apresenta-se também como, *ilmenita composite*, interna (Ilm Cint; Fig. 10) e externa (Ilm Cext; Fig. 10). Observa-se que o hidrotermalismo, altera parcialmente a magnetita intercrescida com a ilmenita em alguns cristais de *ilmenita trellis*, dando início ao processo de dissolução da magnetita nesses cristais (Fig. 11).

6.3.3 ANFIBÓLIO-GABROS

Os minerais opacos encontram-se em proporções modais variando de 1,4 a 8,8% (Tab. 3). As fases presentes são magnetita, ilmenita, titanita, pirita e calcopirita

(Cpy), sendo estes dois últimos xenomórficos (Fig. 15). Texturalmente a ilmenita é encontrada como *ilmenita trellis* (Ilm T; Fig. 12), *ilmenita patch*, *ilmenita composite*, interna (Ilm Cint) e externa (Ilm Cext; Fig. 13). Encontra-se também ilmenita com textura *esqueletal* (Ilm E), interpretada como produto da alteração hidrotermal de intercrescimentos entre magnetita e *ilmenita*, onde as lamelas de magnetita foram lixiviadas restando apenas às lamelas de ilmenita *trellis* (Fig. 14 e 15). A magnetita difere notavelmente em textura daquela presente nas outras duas variedades de gabros. Ela costuma ocorrer em finos grãos xenomórficos dispostos em zonas no interior de anfibólitos incolores de composição actinolítica (Fig. 16), em geral circundados por anfibólito com pleocroísmo verde intenso (geralmente ferropargasita).

6.4 DISCUSSÕES SOBRE OS MINERAIS ÓXIDOS DE FE E TI

A titanomagnetita deveria ser o mineral óxido de Fe e Ti originalmente formado no magma dos gabros estudados, possivelmente acompanhada de ilmenita. Processos de oxi-exsolução durante o resfriamento do magma afetaram a titanomagnetita e levaram à formação de intercrescimentos de magnetita e ilmenita *trellis* e, talvez, às associações de magnetita e ilmenita *composite*. Observa-se que em todos os grupos de gabros há evidências de intercrescimentos de ilmenita *trellis* e magnetita, porém apenas nas rochas mais preservadas é possível encontrar intercrescimentos menos transformados (semelhante a Fig. 11). Nas rochas mais alteradas, a magnetita foi parcialmente ou totalmente dissolvida restando apenas a ilmenita, cujo arranjo textural revela sua textura *trellis* reliquiar (Fig. 14).

As feições texturais e mineralógicas primárias dos minerais óxidos de Fe e Ti foram mudadas pela alteração hidrotermal. Os resultados disso são a presença de ilmenita de aspecto esqueletal e a formação de magnetita secundária associada ao anfibólito incolor (Fig. 16).

A melhor preservação da mineralogia original nas rochas do grupo dos gabros com olivina e gabros e gabro-noritos levaria a hipótese de que estas rochas poderiam apresentar as maiores suscetibilidade magnéticas. Porém, essa hipótese se baseava no fato de os anfibólito-gabros apresentarem-se mais alterados e trazia como pressuposto que a magnetita nestas rochas fora desestabilizada e dissolvida por processos hidrotermais. Isso faria com que a SM das rochas deste grupo fossem diminuída, aumentando esse efeito com o crescimento do grau de alteração. No entanto, essa premissa não foi confirmada, pois não se observou relação direta entre os grupos

petrográficos e as populações de SM (Tab. 5, Fig. 8a). Porém, apesar da diversificação da SM dentro de um mesmo grupo petrográfico, é possível observar uma concentração dos grupos de gabros com olivina e gabros e gabro-noritos nas populações C e D, com uma amostra do grupo dos gabros e gabro-noritos na população A e outra na B. Os anfibólio-gabros são dominantes nas populações A, B e intermediária, mas são igualmente numerosos nas demais populações, inclusive ocupando os valores de mais alta SM (Tab. 4). Este espalhamento e os altos valores de SM podem ser explicados pela formação secundária de muitos cristais de magnetita associado aos anfibólios incolores, a partir de processos secundários que não afetaram os gabros com olivina e gabros e gabro-noritos de modo intenso. A transformação mencionada (Fig. 16) está bem representada nas amostras AER-55E, JES-76, JES-94 e JES-103, todas pertencentes ao grupo dos anfibólio-gabros.

Portanto, a assinatura magnética das rochas estudadas reflete tanto processos magmáticos (titanomagnetita transformada em intercrescimentos ou associações de magnetita pura e ilmenita *trellis* ou *composite*), quanto processos secundários responsáveis pela substituição das fases máficas primárias, levando à formação de anfibólios incolores e magnetita secundários.

Os gabros estudados apresentam, no caso das amostras das populações C e D, uma correlação positiva entre a proporção modal de minerais opacos e os valores de SM (Fig. 9). Isto indica que para as rochas que formam estas populações, a magnetita deve ser a fase dominante entre os opacos. Já nas demais populações (A, B e intermediária), não há nenhuma correlação nítida, havendo variações expressivas nos conteúdos modais de opacos que não são acompanhadas pela SM. Isto revela que nestas a magnetita não é uma fase importante e que, em sua grande maioria, elas devem conter minerais opacos com magnetismo fraco ou inexpressivo.

Figura 9 - Gráfico de suscetibilidade magnética versus proporção de minerais opacos, mostrando correlação positiva entre estes parâmetros nas amostras das populações C e D e ausência de correlação no caso das demais populações.

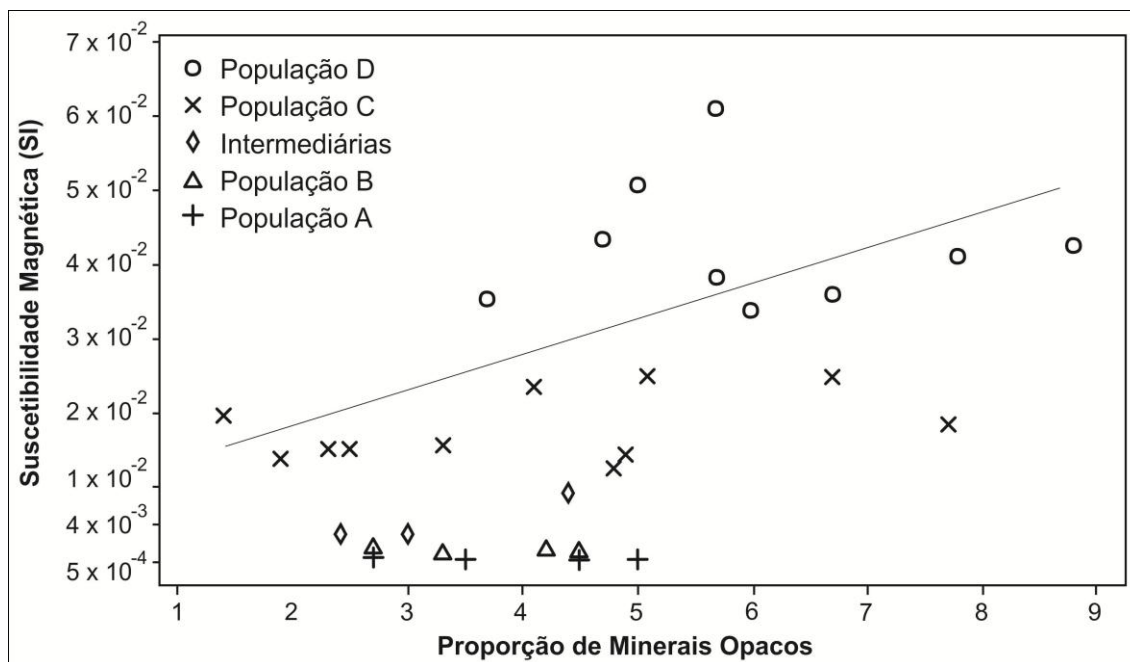


Figura 10 - Associação de ilmenita composite interna (Ilm Cint), externa (Ilm Cext) e magnetita (Mt). Prx = piroxênio. (amostra AER-10, grupo de gabros e gabro-noritos). Imagens de elétrons retroespalhados e espectros EDS obtidos em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

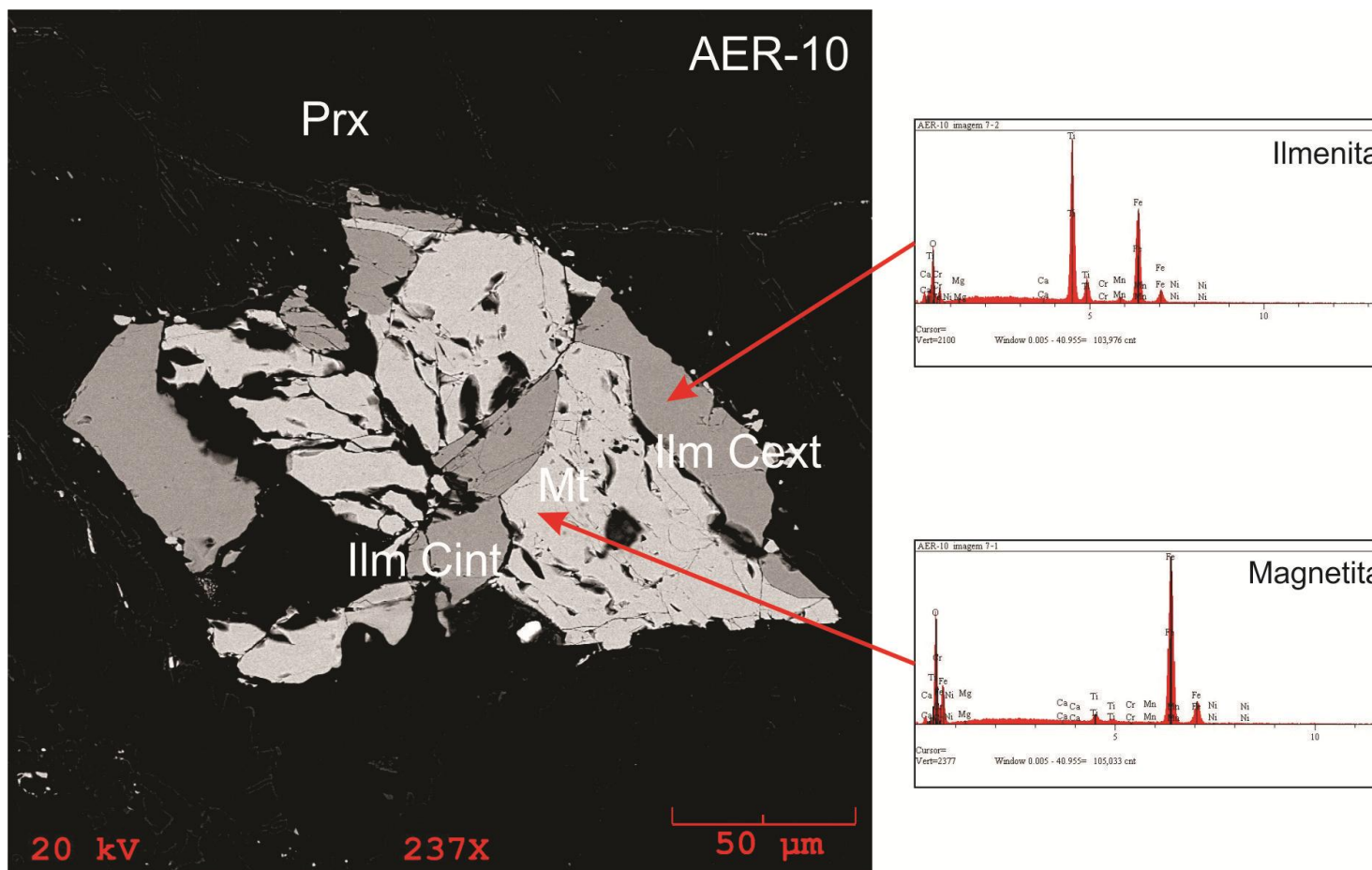


Figura 11 - Intercrescimento de ilmenita trellis (Ilm T) com magnetita (Mt). Pode-se observar o início do processo de dissolução da magnetita (amostra ERF-107C, grupo de gabros e gabro-noritos). Imagens de elétrons retroespalhados e espectros EDS obtidos em MEV.

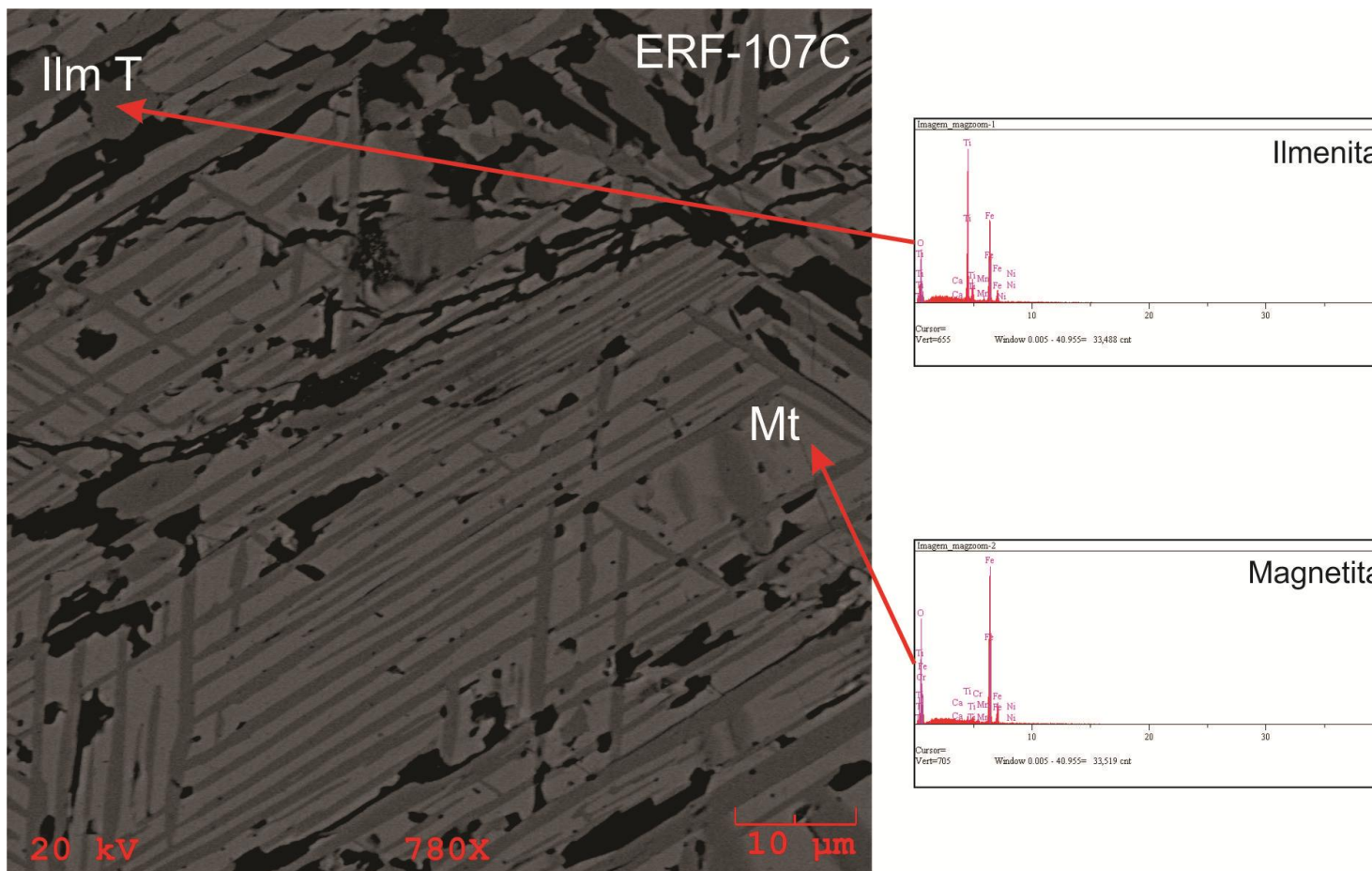


Figura 12 - Intercrescimento de ilmenita trellis (Ilm T) com magnetita (Mt). Observa-se o processo de fragmentação destes minerais (amostra AER-52, grupo dos anfibólio-gabros). Imagens de elétrons retroespalhados e espectros EDS obtidos em MEV.

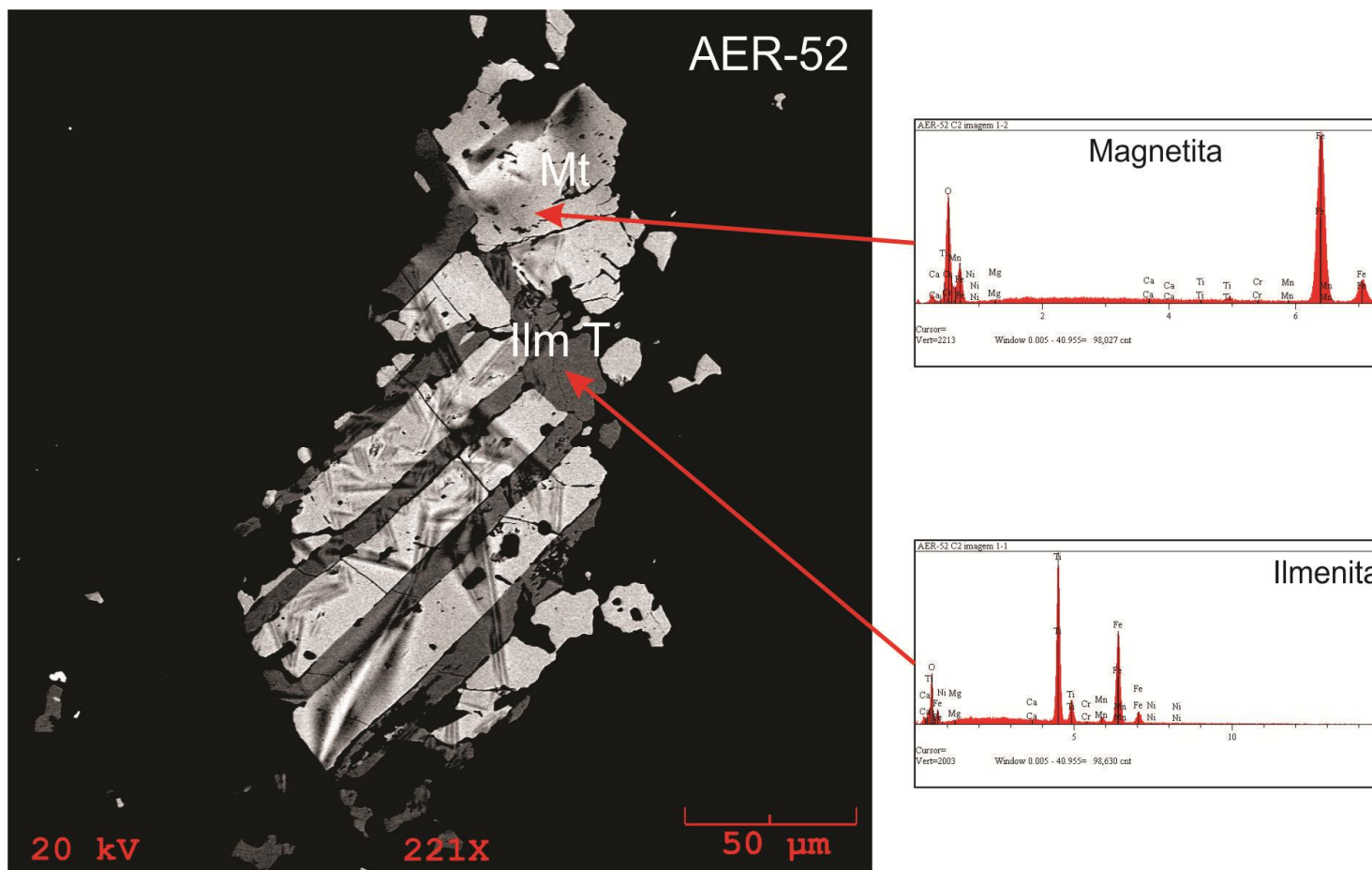


Figura 13 - Associação de ilmenita composite externa (Ilm Cext) e magnetita (Mt), (amostra AER-52, grupo dos anfibólio-gabros). Imagens de elétrons retroespalhados e espectros EDS obtidos em MEV.

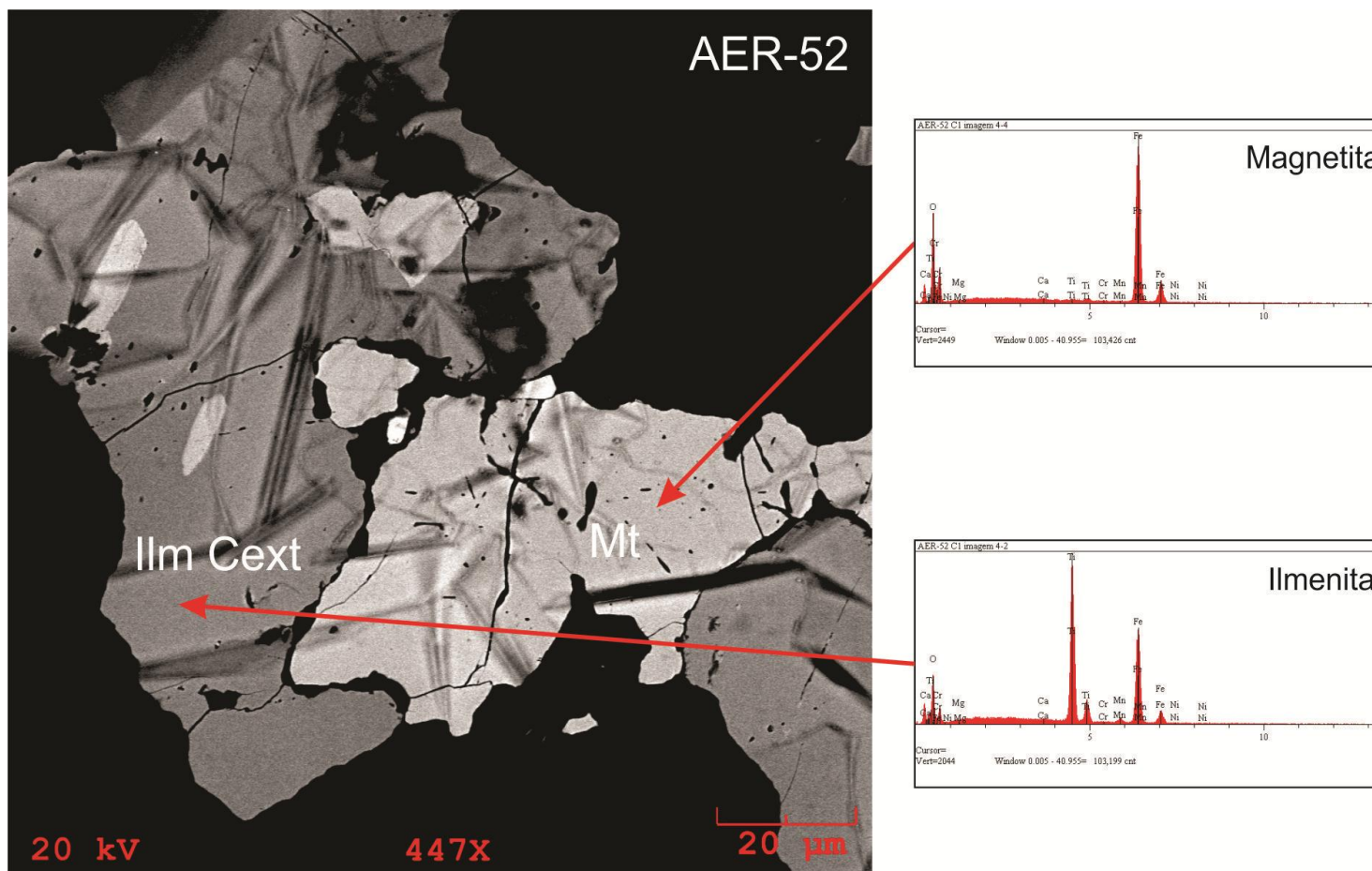


Figura 14 - Ilmenita com textura esqueletal (Ilm E) associada a anfibólio pleocróico (Anf). Interpretada como produto da alteração hidrotermal de intercrescimento entre magnetita e ilmenita, onde as lamelas de magnetita foram dissolvidas restando apenas às lamelas de ilmenita trellis (amostra AER-9A, grupo dos anfibólio-gabros). Imagens de elétrons retroespalhados e espectros EDS obtidos em MEV.

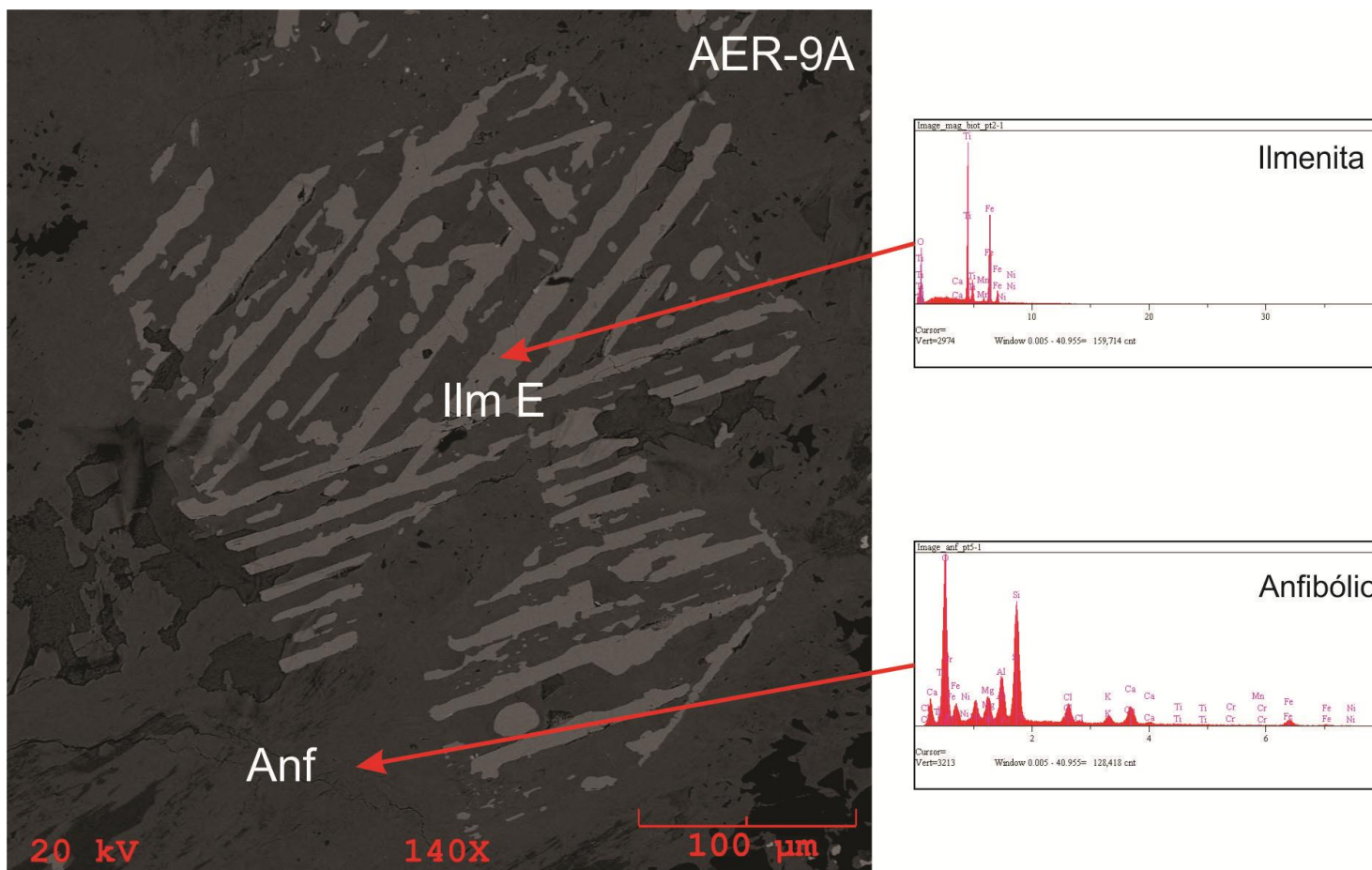


Figura 15 - Ilmenita com textura esquelética (Ilm E) associada a anfibólio pleocróico (Anf) e calcopirita (Cpy) (amostra AER-9A, grupo dos anfibólio-gabros). Imagens de elétrons retroespalhados e espectros EDS obtidos em MEV.

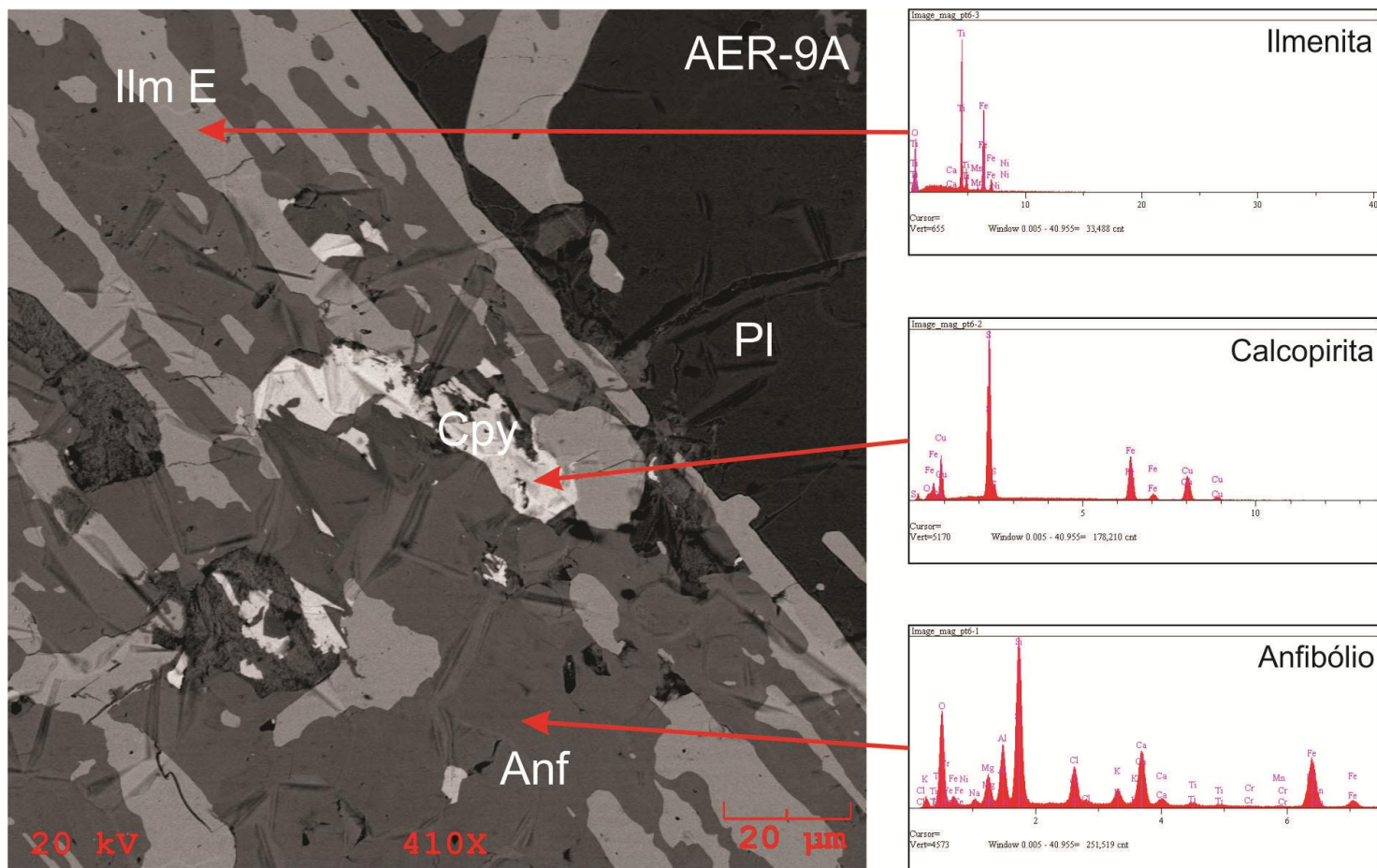
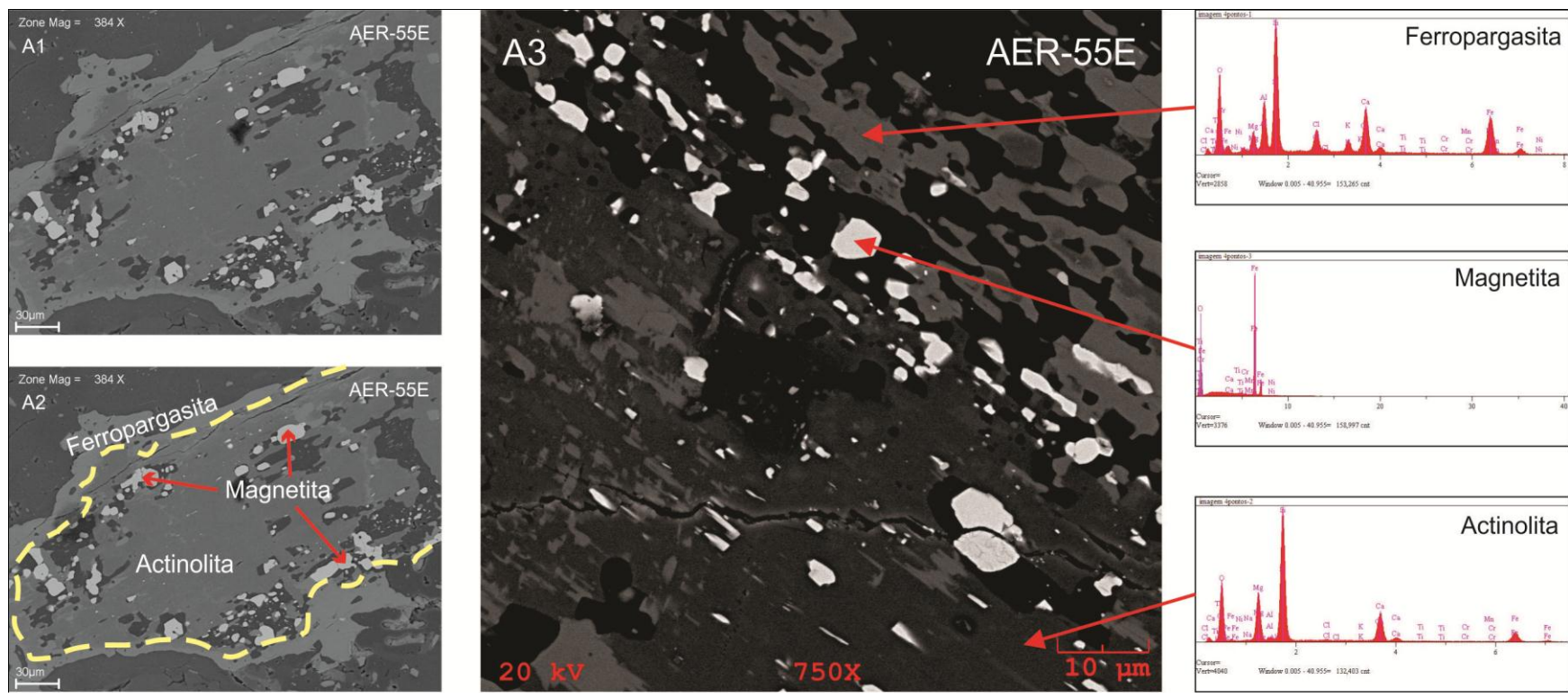


Figura 16 - Cristais de anfibólio pleocróico - ferropargasita - bordejando o anfibólio incolor - actinolita - e cristais de magnetita associados com esse último (A1 e A2); A3). Espectros EDS das três fases encontradas (amostra AER-55E, grupo dos anfibólio-gabros). Imagens de elétrons retroespalhados e espectros EDS obtidos em MEV.



7 QUÍMICA MINERAL

Para visualizar as composições químicas dos principais minerais presentes nos gabros da área de Serra Dourada e fazer a sua classificação preliminar, foram realizadas análises semi-quantitativas por EDS (Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia) em microscópio eletrônico de varredura, em amostras representativas das variedades de rocha estudadas. O tratamento e diagramação dos dados foi realizado com os programas R e GCDKit 2.3.

7.1 OLIVINA

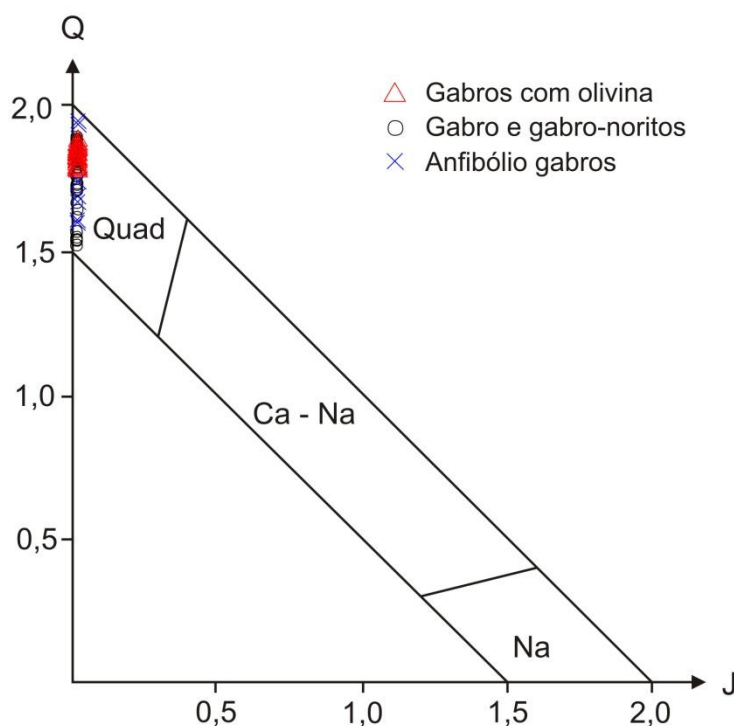
Este mineral está presente apenas no grupo de gabros com olivina e os cristais analisados provêm da amostra ERF-104. Os resultados obtidos estão sumarizados no Apêndice B. Foram efetuadas nove análises em quatro cristais distintos e se constatou que os cristais analisados apresentam teores de FeO variando entre 37,9 a 43,8% e de MgO entre 20,5 e 25% que correspondem a 46 a 55% de moléculas de faialita. Portanto, as olivinas analisadas apresentam composições com teores aproximadamente equivalentes de forsterita e faialita.

7.2 PIROXÊNIOS

Os piroxênios (orto e clinopiroxênio) analisados provêm de sete amostras, sendo duas do grupo dos gabros com olivina (ERF-104 e AER-11B), três do grupo dos gabros e gabro-noritos (AER-10, AER-78G e ERF-107C) e uma do grupo dos anfibólio-gabros (AER-09A). As composições obtidas constam nos Apêndices de C a K.

Para a classificação preliminar dos cristais analisados, adotou-se a proposta de Morimoto et al. (1988). No diagrama Q-J (Fig. 17), todas as análises plotam no campo dos piroxênios cálcico-ferro-magnesianos (Quad), situando-se todos os pontos muito agrupados e próximos aos valores máximos de Q e mínimos de J. No diagrama triangular En-Wo-Fs de classificação, os piroxênios apresentaram composições distintas em cada uma das amostras analisadas (Fig. 18a).

Figura 17 - Diagrama Q-J para distinção química entre os tipos de piroxênios. Todas as amostras estudadas situam-se no campo dos piroxênios cálcico-ferro-magnesianos (Quad).



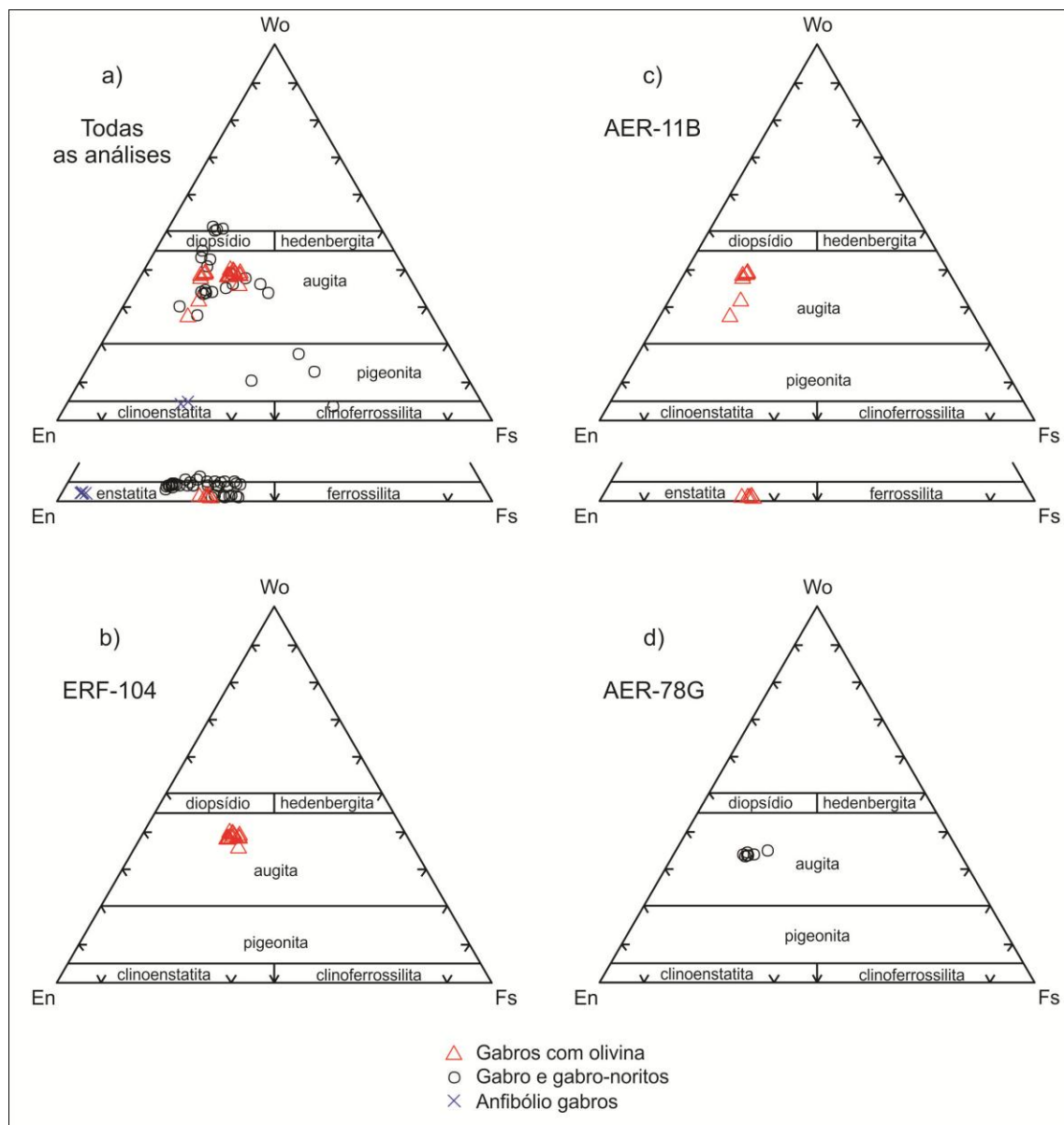
Fonte: Modificado de Morimoto (1988).

Nas amostras ERF-104 e AER-11B, representativas dos gabros com olivina, foram efetuadas vinte e quatro análises em sete cristais distintos, os quais apresentam composição bastante uniforme (Apêndices C e D). O clinopiroxênio de ambas amostras foi classificado como augita, sendo relativamente magnesiano (Fig. 18b e 18c). O ortopiroxênio, analisado apenas na amostra AER-11B, apresenta composição de enstatita (Fig. 18c; Apêndice D).

Nas três amostras do grupo de gabros e gabro-noritos estudadas (AER-78G, AER-10 e ERF-107C), foram obtidas sessenta e cinco análises em dezoito cristais distintos. Na amostra AER-78G constatou-se igualmente dominância de augita, sendo as composições muito uniformes e similares às da amostra do gabro com olivina (Fig. 18d; Apêndice E). Na amostra AER-10, predomina amplamente a enstatita, porém, além desta, foi constatada a ocorrência de diopsídio e augita (Fig. 19a; do Apêndices G a J). Na amostra ERF-107C, além de augita similar a das amostras mencionadas anteriormente, tem-se uma augita mais rica em moléculas de wollastonita e, portanto, transicional para diopsídio, e algumas análises com composição pigeonítica e até mesmo de clinoferrosilita (Fig. 19b; Apêndice F). Esse espalhamento composicional

com redução de moléculas de Wollastonita (Wo) e Enstatita (Mg), com acréscimo de moléculas de ferrossilita (Fe), é provavelmente resultado de processos de exsolução que modificaram a composição dos cristais primários de augita (Fig. 19b).

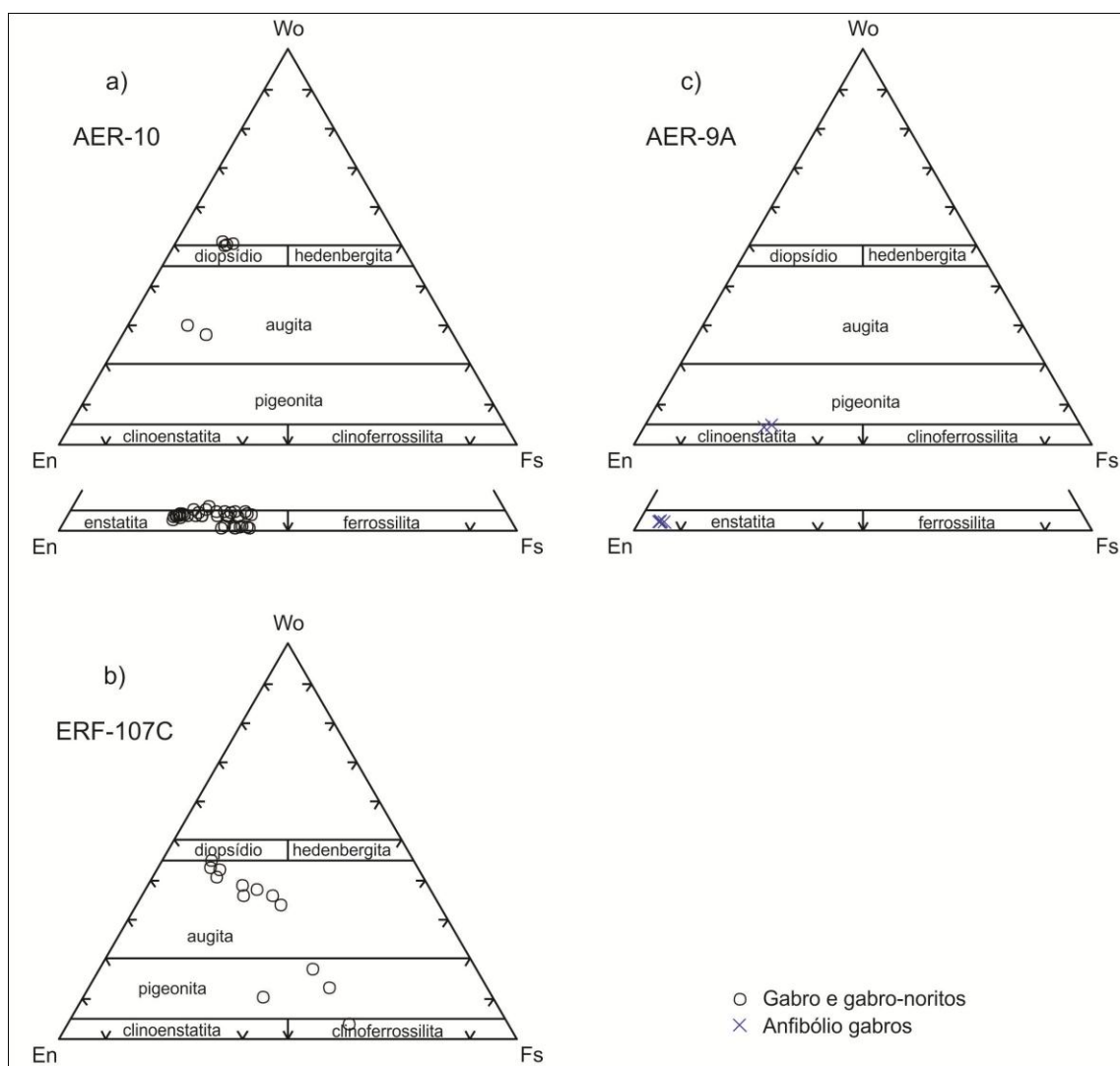
Figura 18 - Diagramas triangulares En-Wo-Fs de classificação de piroxênios Quad. a) todas as amostras analisadas; Gabros com olivina: b) ERF-104 e c) AER-11B; Gabros e gabro noritos: d) AER-78G.



Fonte: Modificado de Morimoto (1988)

Na única amostra representativa dos anfíbólio-gabros (AER-9A), foram analisados três cristais e obtidas seis análises. Os cristais analisados revelaram composições de clinoenstatita e de enstatita, sendo mais magnesianos aqueles de ortopiroxênio (Fig. 19c; Apêndice K).

Figura 19 - Diagramas triangulares En-Wo-Fs de classificação de piroxênios Quad. Gabros e gabro-noritos: a) AER-10 e b) ERF-107C; Anfibólio-gabros: c) AER-9A.



Fonte: Morimoto (1988)

7.3 PLAGIOCLÁSIOS

Os cristais analisados provêm de oito amostras, sendo duas do grupo dos gabros com olivina (ERF-104 e AER-11B), três do grupo dos gabros e gabro-noritos (AER-10, AER-78G e ERF-107C) e três do grupo de anfibólio-gabros (AER-9A, AER-52 e AER-55E). Todas as análises obtidas (Fig. 20a; do Apêndice L a U) foram plotadas no diagrama normativo ternário albita-ortoclásio-anortita (Ab-Or-An) e apresentam composições variadas (Fig. 20a).

Nas amostras ERF-104 e AER-11B, representativas dos gabros com olivina, foram efetuadas vinte análises em cinco cristais. As composições obtidas na amostra ERF-104 (Fig. 20b; Apêndice L) variaram de labradorita (An 65 a 57) a bitownita (An

73 a 71). Na amostra AER-11B (Fig. 20c; Apêndice M), as composições obtidas foram todas de bitownita com teores anortita entre 81 e 72.

Nas três amostras do grupo de gabros e gabro-noritos estudadas (AER-78G, ERF-107C e AER-10), foram realizadas quarenta e sete análises em nove cristais distintos. Na amostra AER-78G, a composição variou entre An58 e An79, sendo que a maioria das análises encontra-se no campo da bitownita (Fig. 20d; Apêndice N). Na amostra ERF-107C, a composição varia de An50 a An72 e as análises plotam em sua grande maioria no campo da labradorita (Fig. 20e; Apêndice O). Já na amostra AER-10, a composição variou geralmente entre An58 e An70, portanto no campo da labradorita (Fig. 20f; Apêndices P e Q).

Nas três amostras representativas dos anfibólio-gabros (AER-55E, AER-9A e AER-52), foram analisados quatorze cristais e obtidas trinta e sete análises (do Apêndice R ao U). Na amostra AER-55E, dois cristais foram analisados no sentido do centro para a borda, procurando acompanhar o zoneamento concêntrico observado localmente no plagioclásio. Os resultados obtidos mostraram que as composições dos pontos localizados no centro destes cristais apresentam-se mais cálcicas, com An54 (labradorita) e, partindo do centro em direção às bordas, estes cristais são gradativamente empobrecidos em cálcio e enriquecidos em sódio, até alcançarem a composição do oligoclásio sódico, com An18 (Fig. 21a; Apêndices S e T). A amostra AER-9A apresentou bimodalidade na composição do plagioclásio com alguns valores no intervalo de An27 a An35 (oligoclásio cálcico a andesina sódica), porém com a maioria deles se situando entre An54 e An68, portanto no campo da labradorita (Fig. 21b; Apêndice R). Na amostra AER-52, a composição obtida para o plagioclásio é mais sódica variando de An30 a An44, portanto andesina (Fig. 21c; Apêndice U).

Figura 20 - Diagramas triangulares albíta-ortoclásio-anortita (Ab-Or-An) para classificação de plagioclásios. a) todas as amostras analisadas; gabros com olivina: b) ERF-104 e c) AER-11B; gabros e gabro-noritos: d) AER-78G, e) ERF-107C, e f) AER-10.

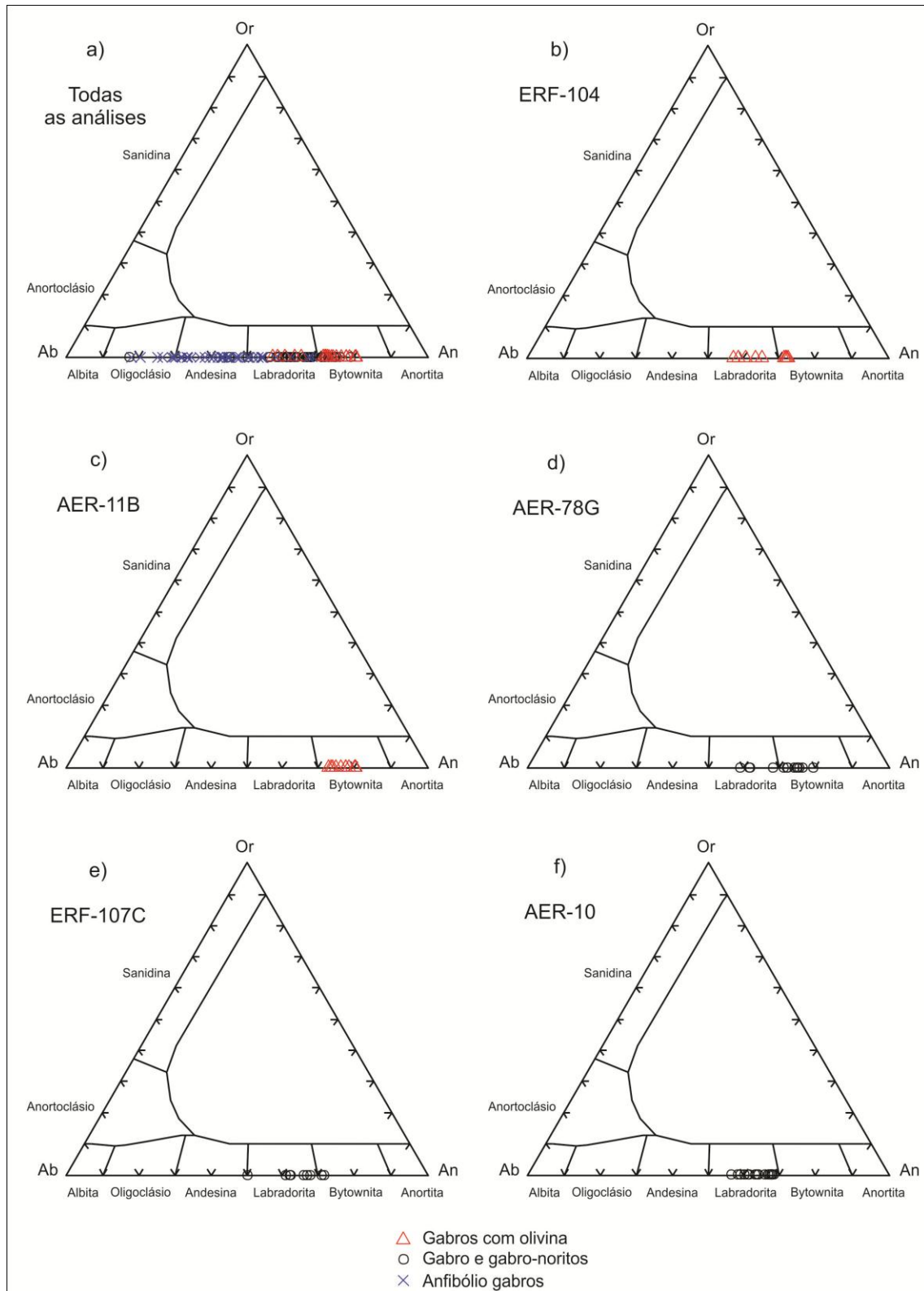
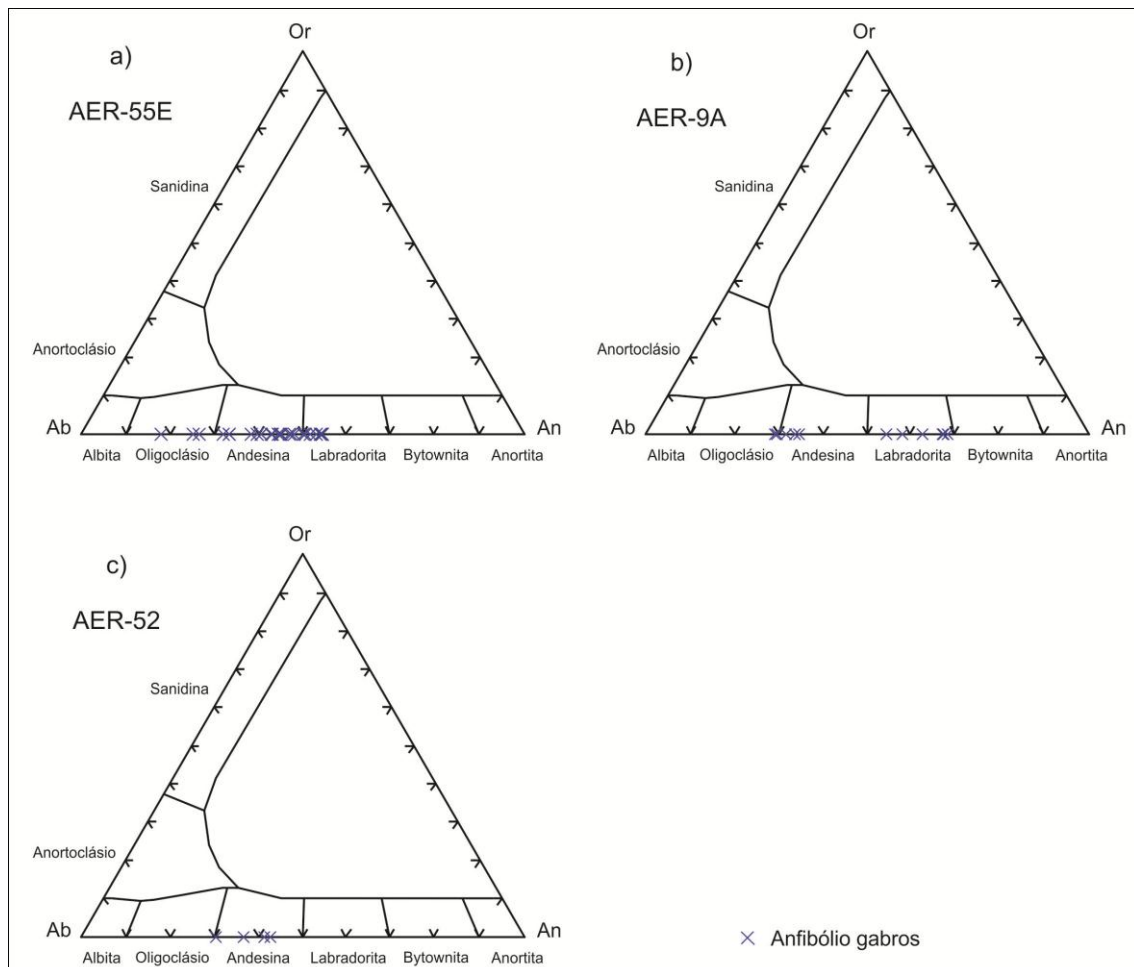


Figura 21 - Diagramas triangulares albíta-ortoclásio-anortita (Ab-Or-An) para classificação de plagioclásios. Amostras do grupo dos anfibólio-gabros. a) AER-55E, b) AER-9A e c) AER-52.



7.4 ANFIBÓLIO

Utilizou-se para a classificação dos anfibólios, o esquema proposto pela International Mineralogical Association (IMA; LEAKE et al., 1997; LEAKE et al., 2003), e para a estimativa das fórmulas estruturais, foi utilizado o cálculo 13eCNK (Apêndices de V até Z). Sete amostras foram analisadas, sendo uma do grupo dos gabros com olivina (AER-11B), uma do grupo de gabros e gabro-noritos (AER-10) e cinco do grupo dos anfibólio-gabros (AER-9A, AER-12A, AER-52, AER-55E, ERF-83C).

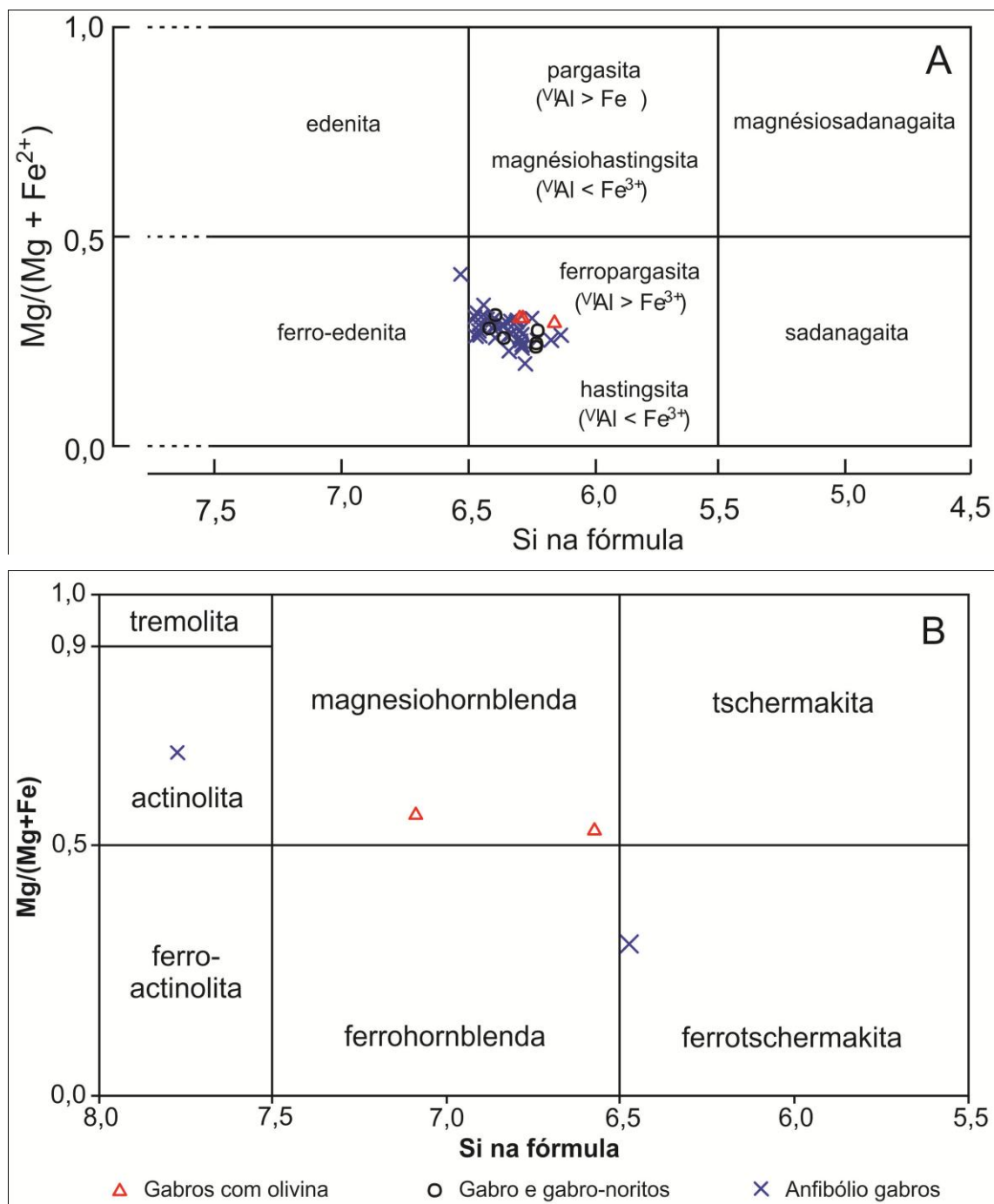
Confirmando o indicado pelas observações petrográficas, todos os anfibólios presentes nas amostras estudadas são cálcicos, pois satisfazem a fórmula $Ca_B \geq 1,50$; $Na_B < 0,5$, proposta por Leake et al. (1997). Estes também subdividem os anfibólios cálcicos com base em duas regras: $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A \geq 0,50$ e $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A \leq 0,50$. A grande maioria dos anfibólios analisados satisfaz a primeira regra, com

apenas quatro composições satisfazendo a segunda regra. Assim, as composições foram plotadas nos respectivos diagramas binários de classificação, onde ambos apresentam em seus vértices os parâmetros: $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ versus Si (Fig. 22a, b). A composição deste mineral nas diferentes amostras analisadas apresenta composição variável.

Na única amostra analisada do grupo dos gabros com olivina (AER-11B), foram realizadas cinco análises em dois cristais distintos, os quais apresentam composição de ferropargasita [$(Na + K)_A \geq 0,50$; Fig. 22a; Apêndice V], ou de magnésiohornblenda [$(Na + K)_A \leq 0,50$; Fig. 19b; Apêndice V]. Na amostra analisada dos gabros e gabro-noritos foram realizadas seis análises em três cristais distintos, os quais apresentam composição de ferropargasita (Fig. 22a; Apêndice V).

Nas cinco amostras de anfibólio-gabros analisadas predomina nitidamente a composição de ferropargasita, ($^{VI}Al > Fe^{3+}$; Apêndices de W a Z), com duas análises, nas amostras AER-9A e AER-52, revelando composição de hastingsita ($^{VI}Al < Fe^{3+}$; Apêndice Z) e uma análise acusando composição de ferro-edenita (amostra AER-12A; Apêndice Z) [classificadas com base no diagrama $(Na + K)_A \geq 0,50$; Fig. 22a]. Apenas duas análises satisfazem a regra $(Na + K)_A \leq 0,50$ e, plotadas no diagrama correspondente, acusaram composição de ferrotschermakita ou actinolita (Fig. 22b; Apêndice Z). Esta análise de actinolita foi realizada em cristal de anfibólio incolor da amostra AER-55E, sendo que as demais são provenientes de anfibólios de coloração geralmente verde. Cabe esclarecer que foram feitas diversas outras tentativas para obter análises adicionais do anfibólio incolor, porém as mesmas forneceram resultados inconsistentes, possivelmente devido ao hábito fibroso e granulação extremamente fina desse mineral que impediu a obtenção de maior número de análises representativas do mesmo.

Figura 22 - Diagramas de classificação para anfibólios cálcicos. a) Diagrama $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A \geq 0,50$; $Ti < 0,5$; b) Diagrama $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A \leq 0,50$; $Ca < 0,5$.



Fonte: (IMA; LEAKE et al., 1997)

7.5 DISCUSSÕES SOBRE A MINERALOGIA

Os gabros com olivina e os gabros e gabro-noritos apresentam sistematicamente plagioclásios com composições relativamente enriquecidas em anortita, com predomínio de labradorita e presença subordinada de bitownita. Por sua vez, os anfibólio-gabros apresentam labradorita associada com oligoclásio (cálcico e

sódico) e andesina sódica, como é observado nas amostras AER-9A e AER-55E (Fig. 21a, b). Na amostra AER-52, os plagioclásios presentes também são sempre relativamente sódicos. Isto sugere que nos anfibólio-gabros os plagioclásios primitivos foram reequilibrados para composições mais sódicas, compatíveis com as condições de fácies anfibolito. Como isso ocorre nas rochas enriquecidas em anfibólio, é muito provável que a transformação do plagioclásio esteja relacionada aos mesmos processos responsáveis pela formação do anfibólio às expensas dos máficos primários. É difícil concluir se essas transformações foram resultantes de metamorfismo ou de hidrotermalismo. As composições dos plagioclásios analisados sugerem que as transformações teriam se dado em condições de fácies anfibolito. Porém, os cristais de plagioclásio analisados nos anfibólio-gabros são subordinados em relação aqueles intensamente alterados para mica branca e/ou escapolita, que indicariam transformações em mais baixa temperatura e, possivelmente, relacionadas com hidrotermalismo.

A presença de cristais secundários de magnetita associados com o anfibólio incolor (actinolita), pode ser explicada pela composição química das fases envolvidas. Observa-se que os anfibólios pleocróicos (ferropargasita, hastingsita, ferro-edenita, ferrotschermakita, e magnésiohornblenda) apresentam-se mais enriquecidos em ferro do que o anfibólio incolor (actinolita), o que reflete o quimismo intrínseco destes minerais. Pressupondo que ambos foram formados às expensas dos piroxênios primários, a proporção de ferro para ambas as fases seria a mesma, no entanto a actinolita admite menos ferro em sua estrutura, comparado com os anfibólios pleocróicos. Logo, quando da transformação dos piroxênios primários para anfibólio, existiria ferro disponível para a formação de magnetita. A evidência que corrobora essa hipótese é a presença de finos cristais de magnetita pura associados com os cristais de actinolita (Fig. 16).

8 CONCLUSÕES

Com base nas composições modais, os gabros da região de Serra Dourada foram classificados em três grupos: (1) *gabros com olivina*; (2) *gabros e gabro-noritos* e (3) *anfíbólio-gabros*. Os **gabros com olivina** apresentam textura subofítica e granulação média. São formados essencialmente por plagioclásio, clinopiroxênio e, eventualmente, ortopiroxênio, com olivina subordinada. Os minerais acessórios primários são magnetita, ilmenita e titanita e os secundários são mica branca, escapolita, clorita, serpentina, hematita, pirita e calcopirita. Estes gabros se encontram pouco transformados e sua mineralogia primária é perfeitamente identificável. São desprovidos de orientação ou deformação expressiva.

A variedade **gabros e gabro-noritos** é formada por rochas isotrópicas de coloração cinza escuro, geralmente mesocráticas, com textura subofítica e granulação média. Foram classificadas em sua maioria como gabros e, subordinadamente como gabro-noritos, com variedades de ortopiroxênio gabro e clinopiroxênio norito. Sua mineralogia é constituída essencialmente por plagioclásio, clinopiroxênio e, eventualmente, ortopiroxênio. A magnetita e ilmenita são os minerais acessórios primários e os secundários são anfíbólio, mica branca, escapolita, clorita, biotita, hematita, pirita, calcopirita e quartzo.

Os **anfíbólio-gabros** apresentam coloração cinza esverdeada e granulação média. São rochas levemente foliadas, com a textura subofítica original modificada em função da intensa substituição dos máficos primários. Um aspecto notável é a presença de níveis milimétricos formados essencialmente por anfíbólio com pleocroísmo em tons de verde intenso. As rochas desta variedade são geralmente mesocráticas com apenas quatro amostras melanocráticas. Foram classificadas, em sua maioria, como anfíbólio gabro e, subordinadamente, como piroxênio-anfíbólio gabro e melagabro. São formados essencialmente por plagioclásio e anfíbólio, com clino e ortopiroxênios subordinados e restritos a poucas amostras. Magnetita, ilmenita, titanita, mica branca, escapolita, clorita, biotita, pirita, calcopirita e quartzo são os minerais acessórios. Encontram-se intensamente transformadas por processos subsolidus e há claras evidências texturais de que o anfíbólio é um mineral secundário que se formou às expensas dos piroxênios primários.

O hidrotermalismo ou metamorfismo que afetou as rochas gabróicas da região de Serra Dourada é penetrativo, porém heterogêneo em intensidade. A mineralogia e as

principais feições texturais oriundas da alteração são representadas pela: transformação do piroxênio para anfibólios; mica branca e escapolita como produto da alteração do plagioclásio; cristais de olivina alterada para iddingsita; dissolução da magnetita; presença de sulfetos (pirita e calcopirita) associados à biotita hidrotermal e quartzo.

A petrologia magnética revelou que os gabros de Serra Dourada apresentam quatro populações (A, B, C e D) com diferentes características magnéticas. A população D abrange 28% das amostras e exibe valores mais elevados de SM entre -1,464284 e -1,20995; a população C, composta por 34% das amostras, apresenta valores de SM localizados no intervalo -1,886057 e -1,596308; a população B engloba 13% das amostras estudadas com valores de SM entre -2,886057 e -2,691791; a população A, com 16% das amostras, é a menos magnética, com valores de SM variando de -3,30103 a -3,115393. Três amostras não foram agrupadas em nenhuma dessas populações, por apresentarem valores de SM entre -2,408935 e -2,025335, logo são intermediárias entre as populações B e C.

Magnetita e ilmenita são os óxidos de Fe e Ti primários dos gabros com olivina e gabros e gabro-noritos. Estes minerais estão relacionados à oxi-exsolução da titanomagnetita, originalmente formada no magma. Observa-se que em todos os grupos de gabros há ocorrência de intercrescimentos de ilmenita *trellis* com a magnetita, porém apenas nas rochas mais preservadas é possível encontrar essa relação de intercrescimento bem conservada. Nas rochas mais alteradas hidrotermalmente as lamelas de magnetita são parcialmente ou totalmente dissolvidas restando apenas estrutura reliquiar indicada pela ilmenita *trellis*.

O melhor estado de preservação da mineralogia original, inclusive da magnetita, e os elevados conteúdos de magnetita primária nas rochas dos grupos dos gabros com olivina e gabros e gabro-noritos, justificam os seus valores relativamente elevados de SM e sua concentração nas populações C e D. Já os anfibólio-gabros mostram grande espalhamento e ocorrem nas diferentes populações, inclusive ocupando os valores de mais alta SM. Este espalhamento e os altos valores de SM podem ser explicados pela formação secundária de magnetita associada aos anfibólios incolores, a partir de processos hidrotermais e/ou metamórficos, enquanto nas demais amostras houve dissolução da magnetita e conseqüente redução de SM.

As análises químicas semiquantitativas dos principais minerais presentes em amostras representativas dos grupos de gabros estudados mostraram que nos **gabros com olivina** as olivina analisadas na amostra ERF-104 apresentam composições com

teores aproximadamente equivalentes de forsterita e faialita. Os clinopiroxênios são classificados como augita, sendo relativamente magnesianos, e os ortopiroxênios são classificados como enstatita. O plagioclásio apresenta composições que variaram entre An65 a An55 com alguns valores de An superiores a 70. Os anfibólios apresentam composição da ferropargasita e magnésiohornblenda. **Nos gabros e gabro-noritos**, os clinopiroxênios são predominantemente augita, porém com ocorrência de diopsídio, pigeonita e clinoferrossilita; os ortopiroxênios têm composição de enstatita. O plagioclásio possui composição variando entre An50 e An80. O anfibólio apresenta composição de ferropargasita. Os restos de cristais de piroxênios encontrados nos **anfibólio-gabros** apresentam composições de clinoenstatita e enstatita ou de augita. O plagioclásio na amostra AER-9A apresentou bimodalidade (labradorita vs. oligoclásio cálcico a andesina sódica) ou. composição sódica (An20 a An43). Dois cristais zonados apresentam composição de labradorita (An54) no centro, variando gradativamente em direção às bordas para oligoclásio sódico (An18). Os anfibólios presentes nesta variedade possuem predominantemente a composição de ferropargasita com raras ocorrências de hastingsita, ferro-edenita e ferrotschermakita, sendo que uma única análise realizada em anfibólio incolor apresentou composição de actinolita.

As composições dos plagioclásios dos gabros com olivina e gabros e gabro-noritos foram interpretadas como representativas das composições primárias, enquanto que nos anfibólio-gabros os plagioclásios primitivos foram reequilibrados para composições mais sódicas, compatíveis com as condições de fácies anfibolito.

A presença de cristais secundários de magnetita associados com o anfibólio incolor (actinolita) deve-se à substituição de piroxênios primários por actinolita relativamente pobre em ferro com formação associada de magnetita.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. A. C.; DALL'AGNOL, R.; DIAS, S. B.; ALTHOFF, F. J. Origin of the Archean leucogranodiorite-granite suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for the granite magmatism in the Archean. *Lithos*. v. 120, p. 235-257, 2010.

ALMEIDA, J. A. C.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M. A.; MACAMBIRA, M. J. B.; PIMENTEL, M. M.; RÄMÖ, O. T.; GUIMARÃES, F. V.; LEITE, A. A. S. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*. v. 187, p. 201-221, 2011.

AVELAR V. G. *Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental*. 1996. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

BARROS C. E. M.; SARDINHA A. S.; BARBOSA J. P. O.; MACAMBIRA M. J. B.; BARBEY P.; BOULLIER A. M. Structure Petrology, Geochemistry and zircon U/Pb and Pb/ Pb Geochronology of the Synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type Granites from the Carajás Metallogenic Province, Northern Brazil. *The Canadian Mineralogist*, v. 47, p. 1423-1440, 2009.

BUDDINGTON, A. F. & LINDSLEY, D. H. Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *J. Petrology*. v. 5 (2), p. 310-357, 1964.

CLARK, D. A. Magnetic Petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation. *Exploration Geophysics*, v. 30, p. 5-26, 1999.

DALL'AGNOL R.; PICHAVANT M.; CHAMPENOIS M. Iron-Titanium Oxide Minerals of the Jamon Granite, Eastern Amazonian Region, Brazil: Implications for the Oxygen Fugacity in Proterozoic, A-type Granites. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 69 (3), p. 325-347, 1997.

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. Abstracts Volume and Field Trips Guide*. Belém: PRONEX-UFPA/SBG-NO, 2006. p. 97-150.

FEIO, G. R. L. *Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. 2011. 190 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011

GOMES, A. C. B.; DALL'AGNOL, R. Nova associação tonalítica-trondhjemítica Neoarqueana na região de Canaã dos Carajás: TTG com altos conteúdos de Ti, Zr e Y. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, p. 182-193, 2007.

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

HAGGERTY, S. E. Oxide textures - a mini-atlas. In: LINDSLEY, D. H. Oxide minerals: petrologic and magnetic significance. *Mineral Soc. Am. Reviews in Mineralogy*, v. 25, p. 129-219, 1991.

HUHN S. B.; MACAMBIRA M. J. B.; DALL'AGNOL R.. Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino arqueano Planalto, região da Serra do Rabo, Carajás-PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 1999, Manaus. *Boletim de Resumos Expandidos...* Manaus: SBG-NNO, 1999. v. 1, p. 463-466.

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

LEAKE B. E.; WOOLEY A. R.; ARPS C. E. S.; BIRCH W. D.; GILBERT M. C.; GRICE J. D.; HAWTHORNE F. C.; KATO A.; KISCH H. J.; KRIVOVICHEV V. G.; LINTHOUT K.; LAIRD J.; MANDARINO J. A.; MARESCH W. V.; NICKEL E. H.; SCHUMACHER J.; SMITH J. C.; STEPHENSON N. C. N.; UNGARETTI L.; WHITTAKER E. J. W.; YOUZHI G. Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineral. Mag.*, v. 61, p. 295-321, 1997.

LEAKE B. E.; WOOLEY A. R.; ARPS C. E. S.; BIRCH W. D.; BURKE, E. A. J.; FERRARIS, G.; GRICE J. D.; HAWTHORNE F. C.; KISCH H. J.; KRIVOVICHEV V. G.; SCHUMACHER J.; STEPHENSON N. C. N.; WHITTAKER E. J. W. Nomenclature of Amphiboles: Additions and Revisions to the International Mineralogical Association's 1997 Recommendations. *The Canadian Mineralogist*, v. 41, p. 1355-1362, 2003.

LE MAITRE, R. W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B.; LE BAS, M. J.; BONIN, B.; BATEMAN, P.; BELLINI, G.; DUDEK, A.; EFREMOVA, S.; KELLER, J.; LAMERE, J.; SABINE, P.A.; SCHMID, R.; SORENSEN, H.; WOOLLEY, A.R. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press. 2002. 254 p.

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, v. 7, p. 263-287, 1995.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T. H.; LINDENMAYER, Z. G. U-Pb geochronology of Archaean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Res.* v. 49, p.329-354, 1991.

MORIMOTO, C. N.; FABRIES, J.; FERGUSON, A. K.; GINZBURG, I. V.; ROSS, M.; SEIFERT, F. A.; ZUSSMAN, J. Nomenclature of pyroxenes. *Amr. Mineral.* v. 73, p. 1123-1133, 1988.

OLIVEIRA, M. A. *Caracterização petrográfica, estudo de susceptibilidade magnética e natureza dos minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Planalto, Serra dos Carajás-PA*. 2003. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Centro de Geociência, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.

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*. v. 27, p. 146-160, 2009.

OLIVEIRA, D. C.; SANTOS, P. J. L.; GABRIEL, E. O.; RODRIGUES, D. S.; FARESIN, A. C.; SILVA, M. L. T.; SOUSA, S. D.; SANTOS, R. V.; SILVA, A. C.; SOUZA, M. C.; SANTOS, R. D.; MACAMBIRA, M. J. B. Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 2010. CD-ROM.

PIDGEON, R. T.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from the pium complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of the granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, v. 166, p. 159-171, 2000.

PIMENTEL M. M.; MACHADO N. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú. *Boletim de Resumos Expandidos...* Camboriú: SBG, 1988. p. 390-391.

SANTOS, J. O. S. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil Central. In: BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M., GONÇALVES, J. H. (Eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Companhia de Recursos Minerais/CPRM, 2003. p. 169-226.

SANTOS, P. A. *Petrografia, suscetibilidade magnética, geoquímica e geocronologia do granito Rio Branco, Província Carajás, SE do Pará*. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociência, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

SARDINHA A. S.; BARROS C. E. M.; KRYMSKY R. Geology, geochemistry and U-Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Metallogenic Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 20, p.327-339, 2006.

SILVA G. G.; LIMA M. I. C.; ANDRADE A. R. F.; GUIMARÃES, G.; ISSLER, R. S. Geologia das Folhas SB.22 Araguaia e parte da SC.22 Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974. Porto Alegre, *Anais...* Porto Alegre: SBG, 1974. v. 4, p. 137-141.

SOUZA, S. R. B.; MACAMBIRA, M. J. B.; SCHELLER, T. Novos dados geocronológicos para os granitos deformados do rio Itacaiúnas (Serra dos Carajás, PA), implicações estratigráficas. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., 1996, Belém. *Resumos expandidos...* Belém: SBG, 1996. p. 380-383.

TARLING, D. H. The commoner magnetic minerals and their identification. In: Principles and applications of paleomagnetism. London, Chapman and Hall. p.21-31. 1971.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. Evolução Tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C. D. R., BRITO NEVES, B. B. (Org.). *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de F. F. M. de Almeida*. São Paulo: BECA, 2004. p. 471-486.

TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. *Precambrian Research*, v. 42, p.213-227, 1989.

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. 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. 2008. 328 p

APÊNDICES

**APÊNDICE A - TABELA DE LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS
E RESPECTIVOS MÉTODOS EMPREGADOS**

Grupo Petrográfico	Amostra	Latitude	Longitude	SM	Modal	MEV
Gabros com olivina	AER-11B	9290489	626932	x	x	x
	AER-75B	9288591	625599	x	x	
	ARC-72B	9290745	620514	x	x	
	ERF-104	9288031	625234	x	x	x
	ERF-122B	9289365	611408	x	x	
Gabros e gabros-noritos	AER-07A	9296314	629055	x	x	
	AER-10	9291459	627103	x	x	x
	AER-43C	9289787	617806	x	x	
	AER-78G	9291531	629585	x	x	x
	ERF-107C	9288634	625860	x	x	x
	ERF-118	9289820	617150	x	x	
Anfibólio-gabros	AER-09A	9293232	627449	x	x	x
	AER-12A	9290065	626869	x	x	x
	AER-38	9295069	621520	x	x	
	AER-52	9291653	620868	x	x	x
	AER-55D	9291555	622284	x	x	
	AER-55E	9291555	622284	x	x	x
	AER-58	9291431	623085	x	x	
	AER-78F	9291531	629585	x	x	
	ARC-128A	9291745	622772	x	x	
	ARC-128B	9291745	622772	x	x	
	ARC-128C	9291745	622772	x	x	
	ARC-129A	9291638	622894	x	x	
	ERF-83C	9291420	624014	x	x	x
	ERF-125B	9289389	626431	x	x	
	ERF-127B	9295723	627569	x	x	
	ERF-135	9293417	627249	x	x	
	JES-75	9292480	612840	x	x	
	JES-76	9292680	612100	x	x	
JES-94	9291125	613640	x	x	x	
JES-103	9287981	625029	x	x		

APÊNDICE B - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS DAS OLIVINAS DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros com olivina		Amostra: ERF-104						
Ponto:	Imagem3-1	Imagem3-2	Imagem3-3	Imagem5-1	Imagem5-2	Imagem5-3	Imagem8-1	Imagem8-2	Imagem9
SiO ₂	38,66	38,51	39,06	38,18	38,03	37,18	38,87	39,42	37,58
FeO	39,46	39,06	38,55	42,28	42,12	43,86	37,99	39,08	43,08
MgO	24,11	24,02	24,96	21,63	21,98	20,58	25,00	24,90	21,64
Total	102,23	101,59	102,57	102,09	102,14	101,63	101,87	103,40	102,29
<i>Forsterita (mol%)</i>									
Fo	52,14	52,30	53,58	47,70	48,20	45,56	53,99	53,18	47,24
Fa	47,86	47,70	46,42	52,30	51,80	54,44	46,01	46,82	52,76

APÊNDICE C - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros com olivina			Amostra: ERF-104			Mineral: Augita						
Ponto:	Img.2-1	Img.2-2	Img.3-1	Img.3-2	Img.3-3	Img3px-1	Img3px-2	Img3px-3	Img.4-1	Img.4-2	Img.9-1	Img.9-2	Img.9-3
SiO ₂	45,21	45,01	45,05	45,67	45,51	45,73	45,24	45,44	45,43	44,41	45,27	45,12	44,76
FeO	16,85	17,15	19,67	16,67	17,52	16,90	17,18	16,90	17,47	18,63	18,64	16,49	18,50
MgO	15,15	14,24	14,35	14,90	14,16	14,90	14,33	14,90	14,51	13,78	13,73	14,56	13,97
CaO	22,79	23,61	20,93	22,76	22,80	22,48	23,24	22,76	22,59	23,18	22,35	23,83	22,77
Si	2,05	2,05	2,06	2,06	2,07	2,06	2,06	2,06	2,06	2,04	2,07	2,05	2,05
Soma T	2,05	2,05	2,06	2,06	2,07	2,06	2,06	2,06	2,06	2,04	2,07	2,05	2,05
Fe*	0,38	0,39	0,45	0,38	0,40	0,38	0,39	0,38	0,40	0,43	0,43	0,38	0,43
Mg	0,62	0,61	0,55	0,62	0,60	0,62	0,61	0,62	0,60	0,57	0,57	0,62	0,57
Soma M1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mg	0,18	0,14	0,21	0,16	0,14	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14	0,17
Ca	0,72	0,75	0,67	0,72	0,73	0,71	0,74	0,72	0,72	0,75	0,72	0,76	0,73
Soma M2	0,90	0,90	0,88	0,88	0,87	0,87	0,89	0,89	0,88	0,91	0,87	0,90	0,90

*Calculadas com base em 6 oxigênios.

APÊNDICE D - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros com olivina					Amostra:	AER-11						
Mineral:	Enstatita					Augita							
Ponto:	C1Im2p1	C1Im2p2	C1Im2p3	C1Im2p4	C1Im2p5	C5Imp1-1	C5Imp1-2	C5Imp1-3	C5Imp1-4	C5Im2p1-1	C5Im2p1-2	C5Im2p1-3	
SiO ₂	47,88	48,15	48,37	48,29	47,93	48,21	48,60	47,66	47,19	48,32	47,43	47,39	
FeO	28,27	28,74	27,79	27,05	28,47	14,08	13,95	11,59	12,28	11,81	12,23	12,29	
MgO	23,42	22,91	23,38	24,27	23,13	18,78	20,73	17,57	16,92	17,45	17,14	16,99	
CaO	0,43	0,20	0,46	0,39	0,47	18,92	16,71	23,18	23,61	22,42	23,19	23,33	
Si	2,09	2,10	2,10	2,09	2,10	2,09	2,08	2,08	2,07	2,09	2,08	2,08	
Soma T	2,09	2,10	2,10	2,09	2,10	2,09	2,08	2,08	2,07	2,09	2,08	2,08	
Fe*	0,62	0,63	0,61	0,59	0,63	0,31	0,30	0,25	0,27	0,26	0,27	0,27	
Mg	0,38	0,37	0,39	0,41	0,37	0,69	0,70	0,75	0,73	0,74	0,73	0,73	
Soma M1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Mg	0,80	0,79	0,78	0,80	0,79	0,25	0,33	0,14	0,13	0,13	0,14	0,13	
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,57	0,50	0,71	0,73	0,68	0,71	0,72	
Soma M2	0,82	0,79	0,80	0,82	0,81	0,82	0,83	0,85	0,86	0,81	0,85	0,85	

*Calculadas com base em 6 oxigênios.

APÊNDICE E - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros e gabro-noritos	Amostra:			Mineral:	Augita	
Ponto:	(C2) 1	(C3) 2-1	(C3) 2-2	(C3) 2-3	(C4) 2-1	(C4) 2-2	(C4) 2-3
SiO ₂	52,13	52,11	51,32	52,07	52,04	51,60	56,35
FeO	12,88	12,46	14,25	13,15	13,10	13,48	14,25
MgO	16,16	16,66	15,77	16,28	16,54	16,35	12,67
CaO	18,83	18,77	18,66	18,49	18,32	18,58	16,73
Si	2,19	2,19	2,18	2,19	2,19	2,18	2,31
Soma T	2,19	2,19	2,18	2,19	2,19	2,18	2,31
Fe*	0,27	0,26	0,30	0,28	0,28	0,29	0,29
Mg	0,73	0,74	0,70	0,72	0,72	0,71	0,60
Soma M1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89
Mg	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09	0,00
Ca	0,56	0,55	0,56	0,55	0,54	0,55	0,48
Soma M2	0,61	0,62	0,64	0,62	0,62	0,64	0,48

*Calculadas com base em 6 oxigênios.

APÊNDICE F - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros e gabro-noritos				Amostra: ERF-107C								
Mineral:	Diopsídio		Augita				Pigeonita				Clinoferrossilita		
Ponto:	1px-1	2px-1	2px-2	2px-3	1pxplag1	1pxplag2	2pxplag1	2pxplag2	2pxalt1	1px-2	2pxalt2	2pxalt3	2pxalt4
SiO ₂	46,85	45,83	44,63	46,28	44,97	47,32	45,16	47,02	44,84	44,06	45,41	45,41	41,93
FeO	9,38	17,07	20,02	11,82	22,62	9,90	18,58	11,90	24,79	38,38	34,19	31,35	45,16
MgO	16,37	14,43	13,40	16,03	11,99	16,64	14,95	16,48	11,64	10,84	11,32	17,28	11,00
CaO	27,40	22,67	21,95	25,88	20,41	26,15	21,32	24,61	18,72	6,72	9,08	5,96	1,91
Si	2,06	2,07	2,06	2,05	2,08	2,07	2,05	2,07	2,09	2,12	2,14	2,08	2,09
Soma T	2,06	2,07	2,06	2,05	2,08	2,07	2,05	2,07	2,09	2,12	2,14	2,08	2,09
Fe*	0,21	0,39	0,46	0,26	0,53	0,22	0,43	0,26	0,58	0,93	0,81	0,72	1,13
Mg	0,79	0,61	0,54	0,74	0,47	0,78	0,57	0,74	0,42	0,07	0,19	0,28	-0,13
Soma M1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mg	0,04	0,14	0,18	0,09	0,17	0,06	0,21	0,10	0,21	0,53	0,43	0,64	0,76
Ca	0,84	0,72	0,71	0,81	0,66	0,80	0,68	0,76	0,61	0,23	0,30	0,19	0,07
Soma M2	0,88	0,86	0,89	0,89	0,83	0,86	0,89	0,86	0,82	0,76	0,72	0,83	0,83

*Calculadas com base em 6 oxigênios.

APÊNDICE G - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros e gabro-noritos			Amostra:	AER-10			Mineral:	Enstatita			
Ponto:	Imag1-1	Imag1-2	Imag1-3	Imag1-4	Imag1-5	Imag1-6	Imag4-1	Imag4-2	Imag4-3	Imag4-4	Imag4-5	
SiO ₂	49,55	49,81	47,08	47,78	45,94	47,88	49,81	50,13	47,36	46,98	47,13	
FeO	22,43	20,99	29,64	27,28	31,72	26,67	20,80	20,65	29,11	30,33	28,88	
MgO	25,86	26,80	22,71	22,76	19,94	22,71	27,16	27,70	21,58	20,69	21,88	
CaO	2,17	2,41	0,57	2,18	2,40	2,74	2,23	1,51	1,95	2,00	2,10	
Si	2,10	2,09	2,08	2,09	2,08	2,09	2,09	2,09	2,09	2,10	2,09	
Soma T	2,10	2,09	2,08	2,09	2,08	2,09	2,09	2,09	2,09	2,10	2,09	
Fe*	0,48	0,44	0,66	0,60	0,72	0,59	0,44	0,43	0,65	0,68	0,64	
Mg	0,52	0,56	0,34	0,40	0,28	0,41	0,56	0,57	0,35	0,32	0,36	
Soma M1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Mg	0,74	0,74	0,82	0,75	0,76	0,73	0,76	0,77	0,75	0,75	0,76	
Ca	0,06	0,07	0,02	0,07	0,08	0,08	0,07	0,04	0,06	0,06	0,07	
Soma M2	0,81	0,82	0,84	0,82	0,84	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,83	

*Calculadas com base em 6 oxigênios.

APÊNDICE H - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros e gabro-noritos						Amostra: AER-10					
							Mineral: Enstatita					
Ponto:	Im4-6	C2Im2p-2	C2Im3-1	C2Im3-2	C2Im3-3	C2Im3-4	C3Im1p-1	C3Im1p-2	C3Im2-1	C3Im2-2	C3Im2-3	
SiO ₂	47,17	46,87	48,52	48,99	46,45	46,48	46,17	46,70	50,12	49,69	46,72	
FeO	29,01	32,67	24,84	23,74	31,91	33,10	32,16	32,01	20,59	21,22	31,01	
MgO	21,30	20,11	23,07	25,02	21,17	20,08	19,37	20,74	27,04	26,61	21,75	
CaO	2,53	0,35	3,57	2,26	0,47	0,34	2,30	0,55	2,25	2,49	0,52	
Si	2,09	2,10	2,10	2,09	2,08	2,10	2,09	2,09	2,10	2,09	2,08	
Soma T	2,09	2,10	2,10	2,09	2,08	2,10	2,09	2,09	2,10	2,09	2,08	
Fe*	0,65	0,74	0,54	0,51	0,72	0,75	0,73	0,72	0,43	0,45	0,70	
Mg	0,35	0,26	0,46	0,49	0,28	0,25	0,27	0,28	0,57	0,55	0,30	
Soma M1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Mg	0,74	0,78	0,69	0,75	0,82	0,80	0,75	0,80	0,74	0,74	0,82	
Ca	0,08	0,01	0,11	0,07	0,01	0,01	0,07	0,02	0,07	0,07	0,02	
Soma M2	0,82	0,79	0,80	0,81	0,83	0,81	0,82	0,81	0,81	0,82	0,83	

*Calculadas com base em 6 oxigênios.

APÊNDICE I - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros e gabro-noritos						Amostra:	AER-10						Mineral:	Enstatita					
Ponto:	C4Im4-3	C4Im4-4	C4Im4-5	C4Im4-6	C4Im4-7	C4Im4-8	C6Im1p1	C6Im1p2	C7Im1-1	C7Im1-2	C7Im1-3	C7Im1-4	C6Im1p1	C6Im1p2	C7Im1-1	C7Im1-2	C7Im1-3	C7Im1-4		
SiO ₂	49,64	48,89	46,12	48,60	48,16	47,22	48,10	48,15	48,44	50,13	46,57	46,97	48,10	48,15	48,44	50,13	46,57	46,97		
FeO	20,56	22,07	31,16	24,06	25,07	28,10	28,98	25,09	24,93	21,39	29,73	31,24	28,98	25,09	24,93	21,39	29,73	31,24		
MgO	27,65	26,59	20,00	24,64	24,59	21,89	22,66	24,52	24,48	26,57	20,97	21,57	22,66	24,52	24,48	26,57	20,97	21,57		
CaO	2,15	2,45	2,72	2,70	2,18	2,79	0,26	2,23	2,15	1,91	2,74	0,23	0,26	2,23	2,15	1,91	2,74	0,23		
Si	2,08	2,08	2,08	2,09	2,08	2,09	2,10	2,08	2,09	2,10	2,08	2,09	2,10	2,08	2,09	2,10	2,08	2,09		
Soma T	2,08	2,08	2,08	2,09	2,08	2,09	2,10	2,08	2,09	2,10	2,08	2,09	2,10	2,08	2,09	2,10	2,08	2,09		
Fe*	0,43	0,47	0,71	0,52	0,54	0,62	0,64	0,55	0,54	0,45	0,67	0,70	0,64	0,55	0,54	0,45	0,67	0,70		
Mg	0,57	0,53	0,29	0,48	0,46	0,38	0,36	0,45	0,46	0,55	0,33	0,30	0,36	0,45	0,46	0,55	0,33	0,30		
Soma M1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Mg	0,77	0,78	0,75	0,74	0,77	0,74	0,78	0,77	0,76	0,74	0,75	0,81	0,78	0,77	0,76	0,74	0,75	0,81		
Ca	0,06	0,07	0,09	0,08	0,07	0,09	0,01	0,07	0,06	0,06	0,09	0,01	0,01	0,07	0,06	0,06	0,09	0,01		
Soma M2	0,84	0,85	0,84	0,82	0,84	0,83	0,79	0,84	0,82	0,80	0,84	0,82	0,79	0,84	0,82	0,80	0,84	0,82		

*Calculadas com base em 6 oxigênios.

APÊNDICE J - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros e gabro-noritos					Amostra: AER-10					
Mineral:	Enstatita					Augita		Diopsídio			
Ponto:	C3Im2-4	C3Im2-5	C3Im2-6	C4Im4-1	C4Im4-2	Im6-5	C3Im1p3	Imag4-7	Imag6-1	Imag6-2	Imag6-3
SiO ₂	49,56	47,76	48,44	49,78	49,24	52,25	50,28	46,60	45,93	46,57	46,71
FeO	21,88	25,13	23,11	21,20	21,56	10,59	14,94	9,61	10,72	9,49	8,67
MgO	26,21	23,89	25,34	26,76	26,55	19,83	18,79	13,70	13,20	13,91	13,90
CaO	2,34	3,22	3,11	2,26	2,64	17,34	15,98	30,09	30,15	30,02	30,72
Si	2,09	2,08	2,08	2,09	2,08	2,16	2,14	2,07	2,06	2,07	2,07
Soma T	2,09	2,08	2,08	2,09	2,08	2,16	2,14	2,07	2,06	2,07	2,07
Fe*	0,46	0,55	0,50	0,45	0,46	0,22	0,32	0,21	0,24	0,21	0,19
Mg	0,54	0,45	0,50	0,55	0,54	0,78	0,68	0,70	0,68	0,71	0,71
Soma M1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,93	0,93	0,91
Mg	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,17	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,07	0,10	0,09	0,07	0,08	0,50	0,48	0,94	0,95	0,93	0,95
Soma M2	0,81	0,85	0,85	0,81	0,83	0,67	0,72	0,94	0,95	0,93	0,95

*Calculadas com base em 6 oxigênios.

APÊNDICE K - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS* DOS PIROXÊNIO DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Anfibólio-gabros		Amostra: AER-9A			
Mineral:	Enstatita				Clinoenstatita	
Ponto:	pt5-1	pt5-2	px-1	px-2	pt4-1	pt4-2
SiO ₂	55,08	55,01	56,33	55,31	48,44	48,26
FeO	4,31	4,17	5,10	4,32	22,74	23,71
MgO	39,15	39,30	37,21	38,70	26,10	25,08
CaO	1,45	1,52	1,36	1,67	2,73	2,95
Si	2,08	2,08	2,12	2,09	2,07	2,08
Soma T	2,08	2,08	2,12	2,09	2,07	2,08
Fe*	0,08	0,08	0,10	0,08	0,49	0,51
Mg	0,92	0,92	0,90	0,92	0,51	0,49
Soma M1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mg	0,79	0,80	0,72	0,77	0,78	0,76
Ca	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,09
Soma M2	0,83	0,84	0,75	0,82	0,86	0,85

*Calculadas com base em 6 oxigênios.

APÊNDICE L - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros com olivina					Amostra: ERF-104			
Mineral:	Labradorita					Bytownita			
Ponto:	1plag-1	1plag-2	1plag-3	4plag-1	4plag-3	1plag1	1plag2	1plag3	10plag-2
SiO ₂	57,40	55,26	56,11	56,80	58,22	52,98	54,64	54,97	53,22
Al ₂ O ₃	27,10	28,23	27,77	27,23	26,58	29,44	28,60	29,55	29,36
Fe ₂ O ₃	0,78	0,58	0,84	0,80	0,69	0,80	0,57	0,58	0,82
CaO	10,59	12,30	11,58	11,15	10,27	13,86	13,30	12,26	13,57
Na ₂ O	4,14	3,62	3,70	4,02	4,25	2,92	2,88	2,63	3,03
Si	10,26	9,94	10,07	10,18	10,39	9,60	9,85	9,85	9,63
Al	5,71	5,99	5,87	5,75	5,59	6,29	6,07	6,24	6,26
Fe	0,11	0,08	0,12	0,11	0,10	0,12	0,08	0,08	0,12
Ca	2,03	2,37	2,23	2,14	1,96	2,69	2,57	2,35	2,63
Na	1,43	1,26	1,29	1,40	1,47	1,03	1,01	0,91	1,06
Anortita	58,57	65,25	63,38	60,54	57,18	72,40	71,81	72,07	71,26

**APÊNDICE M - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS
DOS GABROS COM OLIVINA DA ÁREA DE SERRA DOURADA**

Grupo:	Gabros com olivina			Amostra: AER-11B				Mineral: Bytownita			
Ponto:	C4Im2-1	C4Im2-2	C4Im2-3	C4Im2-4	C4Im2-5	C4Im2-6	C4Im2-7	C4Im2-8	C4Im2-9	C4Im2-10	
SiO ₂	51,86	52,23	51,77	51,04	50,71	50,98	52,84	52,75	52,48	51,92	
Al ₂ O ₃	29,99	30,64	29,78	31,61	31,61	30,88	30,33	29,97	30,32	30,85	
Fe ₂ O ₃	0,54	0,53	1,96	0,13	0,13	1,41	0,54	0,20	0,54	0,28	
CaO	14,91	13,95	14,16	15,12	15,19	14,60	13,58	14,10	13,83	14,54	
Na ₂ O	2,60	2,62	2,29	2,06	2,33	2,04	2,66	2,92	2,77	2,35	
K ₂ O	0,10	0,03	0,04	0,03	0,04	0,08	0,05	0,05	0,05	0,06	
Si	9,44	9,46	9,43	9,26	9,22	9,28	9,55	9,55	9,50	9,41	
Al	6,43	6,54	6,39	6,76	6,77	6,63	6,46	6,40	6,47	6,59	
Fe	0,07	0,07	0,26	0,02	0,02	0,19	0,07	0,03	0,07	0,04	
Ca	2,91	2,71	2,76	2,94	2,96	2,85	2,63	2,74	2,68	2,82	
Na	0,92	0,92	0,81	0,73	0,82	0,72	0,93	1,03	0,97	0,83	
K	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	
Anortita	75,99	74,63	77,39	80,19	78,31	79,80	73,82	72,73	73,41	77,38	

APÊNDICE N - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros e gabro-noritos				Amostra: AER-78G									
Mineral:	Labradorita				Bytownita									
Ponto:	(C1) 1-1	(C1) 1-3	(C2) 1-2	(C3) 1-1	(C1) 1-2	(C1) 2-1	(C1) 2-2	(C1) 2-3	(C2) 1-1	(C2) 1-3	(C3) 2-1	(C3) 2-2	(C3) 2-3	
SiO ₂	55,96	54,35	63,70	62,27	53,61	52,93	52,82	53,09	59,65	59,43	57,96	56,72	57,59	
Al ₂ O ₃	28,03	29,33	22,37	23,28	29,67	30,17	30,19	30,23	23,22	24,67	25,36	25,25	25,37	
Fe ₂ O ₃	0,22	0,25	0,24	0,46	0,41	0,21	0,46	0,19	1,88	0,23	0,29	0,87	0,55	
CaO	11,71	12,73	9,88	10,39	13,44	14,04	13,93	13,78	12,53	12,76	13,86	14,96	14,06	
Na ₂ O	4,07	3,34	3,81	3,59	2,88	2,66	2,60	2,71	2,72	2,90	2,52	2,20	2,43	
Si	10,05	9,79	11,24	11,03	9,67	9,57	9,55	9,58	10,74	10,62	10,41	10,26	10,36	
Al	5,93	6,22	4,65	4,86	6,31	6,43	6,43	6,43	4,93	5,20	5,37	5,39	5,38	
Fe	0,03	0,04	0,02	0,04	0,06	0,03	0,07	0,03	0,15	0,02	0,02	0,07	0,04	
Ca	2,25	2,46	1,87	1,97	2,60	2,72	2,70	2,67	2,42	2,44	2,67	2,90	2,71	
Na	1,42	1,16	1,30	1,23	1,01	0,93	0,91	0,95	0,95	1,00	0,88	0,77	0,85	
Anortita	61,36	67,83	58,87	61,51	72,05	74,48	74,75	73,76	71,79	70,85	75,23	78,98	76,15	

APÊNDICE O - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros e gabro-noritos				Amostra: ERF-107C					
Mineral:	Labradorita								Bytownita	
Ponto:	3plg-1	3plg-2	3plg-3	3plg-4	1plag-1	1plag- 2	1plag-3	2plag-3	2plag-1	2plag-2
SiO ₂	54,98	55,56	55,34	53,57	54,32	55,60	54,09	51,95	52,71	53,63
Al ₂ O ₃	28,62	28,53	28,23	29,64	28,79	28,03	29,04	28,25	30,23	29,18
Fe ₂ O ₃	0,56	0,51	0,63	0,61	0,70	0,91	0,78	0,63	0,69	0,82
CaO	11,86	11,55	11,70	12,61	12,74	11,56	12,76	12,42	13,44	13,35
Na ₂ O	3,98	3,85	4,11	3,58	3,45	3,90	3,33	6,76	2,93	3,02
Si	9,90	9,97	9,96	9,67	9,80	10,00	9,76	9,53	9,53	9,69
Al	6,07	6,04	5,99	6,31	6,12	5,94	6,18	6,11	6,44	6,22
Fe	0,08	0,07	0,09	0,09	0,10	0,13	0,11	0,09	0,10	0,12
Ca	2,29	2,22	2,26	2,44	2,46	2,23	2,47	2,44	2,60	2,59
Na	1,39	1,34	1,43	1,25	1,21	1,36	1,17	2,40	1,03	1,06
Anortita	62,24	62,38	61,16	66,08	67,08	62,12	67,90	50,39	71,72	70,96

**APÊNDICE P - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS
DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA**

Grupo:	Gabros e gabro-noritos		Amostra: AER-10				Mineral:		Labradorita	
Ponto:	C2Im1-2	C2Im1-3	C2Im1-4	C2Im1-6	C2Im1-7	C2Im1-10	C2Im1-11	C6Im1-1	C6Im1-2	
SiO ₂	53,87	55,49	56,64	53,96	55,93	53,54	54,49	54,86	54,99	
Al ₂ O ₃	29,56	28,48	27,56	29,24	28,02	29,68	28,82	28,63	28,48	
Fe ₂ O ₃	0,24	0,27	0,85	1,95	0,79	0,41	0,70	0,33	0,55	
CaO	12,81	11,81	10,60	9,18	11,04	12,77	12,50	12,56	12,12	
Na ₂ O	3,38	3,80	4,19	3,15	4,04	3,43	3,28	3,46	3,74	
K ₂ O	0,14	0,15	0,16	2,51	0,19	0,18	0,20	0,16	0,12	
Si	9,72	9,97	10,16	9,79	10,05	9,67	9,83	9,88	9,91	
Al	6,29	6,03	5,82	6,25	5,93	6,32	6,13	6,08	6,05	
Fe	0,03	0,04	0,11	0,27	0,10	0,05	0,09	0,04	0,07	
Ca	2,48	2,27	2,04	1,78	2,12	2,47	2,42	2,42	2,34	
Na	1,18	1,32	1,46	1,11	1,41	1,20	1,15	1,21	1,31	
K	0,03	0,03	0,04	0,58	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	
Anortita	67,65	63,20	58,31	61,66	60,16	67,28	67,78	66,71	64,15	

APÊNDICE Q - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros e gabro-noritos			Amostra: AER-10				Mineral: Labradorita			
Ponto:	C6Im1-3	C6Im1-4	C6Im1-5	C6Im1-6	C6Im1-7	C6Im1-8	C6Im1-9	C6Im1-10	C6Im1-11	C6Im1-12	C6Im1-13
SiO ₂	55,97	53,91	57,00	54,05	54,10	54,90	55,90	53,81	54,27	53,74	53,87
Al ₂ O ₃	28,23	28,96	27,38	29,44	29,34	29,10	28,06	29,16	28,97	27,03	29,55
Fe ₂ O ₃	0,71	1,16	0,83	0,26	0,16	0,20	0,43	0,60	0,71	3,56	0,61
CaO	11,08	12,45	10,30	12,74	13,00	11,94	11,18	12,95	12,53	11,84	10,95
Na ₂ O	3,89	3,43	4,37	3,37	3,34	3,78	4,27	3,39	3,37	3,40	2,90
K ₂ O	0,11	0,08	0,12	0,14	0,07	0,09	0,17	0,09	0,15	0,44	2,12
Si	10,04	9,75	10,21	9,75	9,76	9,87	10,04	9,72	9,79	9,80	9,76
Al	5,97	6,17	5,78	6,26	6,24	6,17	5,94	6,21	6,16	5,81	6,31
Fe	0,09	0,15	0,11	0,04	0,02	0,03	0,06	0,08	0,09	0,47	0,08
Ca	2,13	2,41	1,98	2,46	2,51	2,30	2,15	2,51	2,42	2,31	2,13
Na	1,35	1,20	1,52	1,18	1,17	1,32	1,49	1,19	1,18	1,20	1,02
K	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,10	0,49
Anortita	61,18	66,74	56,59	67,65	68,28	63,59	59,15	67,86	67,24	65,80	67,57

**APÊNDICE R - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS
DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA**

Grupo:	Anfibólio-gabros			Amostra: AER-9A								
Mineral:	Oligoclásio			Andesina			Labradorita					
Ponto:	pt5-1	pt5-2	pt5-3	pt1-1	pt1-2	pt1-3	pt2-1	pt2-2	pt4-1	pt4-2	pt6-1	pt6-2
SiO ₂	55,66	55,37	55,43	54,52	54,34	55,09	53,75	54,16	55,59	53,91	57,60	56,79
Al ₂ O ₃	31,58	31,98	32,03	33,40	33,23	32,67	28,96	29,69	28,18	29,28	27,17	27,83
Fe ₂ O ₃	0,13	0,14	0,30	0,08	0,15	0,26	1,19	0,27	1,14	0,66	0,84	0,61
CaO	5,07	5,41	5,21	5,87	5,89	5,45	12,68	12,48	11,33	12,84	9,83	10,53
Na ₂ O	7,56	7,11	7,03	6,13	6,39	6,52	3,42	3,40	3,76	3,31	4,55	4,23
Si	9,89	9,83	9,83	9,67	9,65	9,76	9,71	9,75	9,98	9,73	10,29	10,16
Al	6,61	6,69	6,70	6,98	6,96	6,83	6,17	6,30	5,97	6,23	5,72	5,87
Fe	0,03	0,03	0,06	0,02	0,03	0,05	0,17	0,04	0,16	0,10	0,12	0,09
Ca	0,97	1,03	0,99	1,11	1,12	1,04	2,46	2,41	2,18	2,48	1,88	2,02
Na	2,60	2,45	2,42	2,11	2,20	2,24	1,20	1,19	1,31	1,16	1,58	1,47
Anortita	27,05	29,59	29,07	34,61	33,77	31,62	67,22	66,99	62,47	68,18	54,41	57,90

**APÊNDICE S - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS
DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA**

Grupo:	Anfibólio-gabros													
	Amostra: AER-55E													
Mineral:	Labradorita / Andesina / Oligoclásio													
Ponto:	C5Im1-1	C5Im1-2	C5Im1-3	C5Im1-4	C5Im1-5	C5Im1-6	C5Im1-7	C5Im1-8	C5Im1-9	C5Im1-10	C5Im2-1	C5Im2-2	C5Im2-3	C5Im2-4
SiO ₂	60,64	59,63	60,95	63,44	65,31	59,84	59,41	59,87	59,93	60,10	57,73	58,43	60,92	63,66
Al ₂ O ₃	25,42	25,83	25,22	23,81	22,59	25,18	25,62	25,94	25,28	22,93	27,25	26,10	25,25	23,57
Fe ₂ O ₃	0,40	0,76	0,42	0,28	0,25	1,49	0,98	0,36	1,06	4,90	0,57	1,07	0,25	0,26
CaO	8,00	8,45	7,65	5,88	4,62	7,70	8,62	8,45	7,99	5,70	9,77	9,07	8,08	5,68
Na ₂ O	5,40	5,16	5,56	6,43	7,01	5,31	5,11	5,26	5,41	6,29	4,56	4,90	5,41	6,66
K ₂ O	0,14	0,18	0,20	0,17	0,21	0,48	0,27	0,13	0,33	0,08	0,11	0,43	0,09	0,17
Si	10,75	10,61	10,80	11,16	11,44	10,67	10,59	10,63	10,67	10,79	10,31	10,45	10,79	11,20
Al	5,31	5,41	5,26	4,94	4,66	5,29	5,38	5,43	5,30	4,85	5,73	5,50	5,27	4,89
Fe	0,05	0,10	0,05	0,04	0,03	0,19	0,13	0,05	0,14	0,63	0,07	0,14	0,03	0,03
Ca	1,52	1,61	1,45	1,11	0,87	1,47	1,65	1,61	1,52	1,10	1,87	1,74	1,53	1,07
Na	1,86	1,78	1,91	2,19	2,38	1,84	1,77	1,81	1,87	2,19	1,58	1,70	1,86	2,27
K	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,11	0,06	0,03	0,08	0,02	0,03	0,10	0,02	0,04
Anortita	45,02	47,52	43,22	33,56	26,70	44,49	48,24	47,06	44,95	33,38	54,21	50,58	45,24	32,02

APÊNDICE T - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Anfibólio-gabros												
	Amostra: AER-55E												
Mineral:	Labradorita / Andesina / Oligoclásio												
Ponto:	C5Im2-5	C5Im2-6	C5Im2-7	C5Im2-8	C5Im2-9	C5Im2-10	C5Im2-11	C5Im2-12	C5Im2-13	C4-1p1	C4-1p2	C4-1p3	C4-1p4
SiO ₂	58,08	61,09	65,73	67,81	57,55	58,08	58,50	59,00	62,30	61,62	57,53	61,41	60,96
Al ₂ O ₃	26,87	24,88	22,36	21,18	27,42	26,65	26,48	26,17	24,24	24,96	27,57	25,10	25,14
Fe ₂ O ₃	0,69	0,73	0,24	0,31	0,47	1,03	0,49	0,69	0,77	0,41	0,20	0,32	0,35
CaO	9,61	7,16	4,36	2,99	9,86	9,57	9,46	9,07	6,55	7,11	10,02	7,27	7,75
Na ₂ O	4,68	5,98	7,10	7,53	4,54	4,50	4,87	4,94	5,77	5,71	4,62	5,83	5,66
K ₂ O	0,06	0,17	0,20	0,17	0,16	0,17	0,20	0,12	0,36	0,19	0,06	0,07	0,14
Si	10,37	10,83	11,50	11,79	10,28	10,38	10,44	10,51	11,01	10,89	10,27	10,85	10,80
Al	5,65	5,20	4,61	4,34	5,77	5,61	5,57	5,50	5,05	5,20	5,80	5,23	5,25
Fe	0,09	0,09	0,03	0,04	0,06	0,13	0,06	0,09	0,10	0,05	0,03	0,04	0,04
Ca	1,84	1,36	0,82	0,56	1,89	1,83	1,81	1,73	1,24	1,35	1,92	1,38	1,47
Na	1,62	2,05	2,41	2,54	1,57	1,56	1,68	1,71	1,98	1,96	1,60	2,00	1,94
K	0,01	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,08	0,04	0,01	0,02	0,03
Anortita	53,15	39,83	25,32	18,00	54,56	54,04	51,78	50,33	38,55	40,75	54,54	40,79	43,06

**APÊNDICE U - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS PLAGIOCLÁSIOS
DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA**

Grupo:	Anfibólio-gabros		Amostra:	AER-52
Mineral:	Andesina			
Ponto:	C1 7-1	C1 7-2	C1 7-4	C1 7-5
SiO ₂	58,88	63,02	60,74	62,36
Al ₂ O ₃	25,97	23,59	25,37	23,03
Fe ₂ O ₃	0,31	0,21	0,34	0,17
CaO	8,68	6,81	7,70	6,35
Na ₂ O	6,18	6,37	5,85	8,08
Si	10,51	11,12	10,76	11,07
Al	5,46	4,90	5,30	4,82
Fe	0,04	0,02	0,05	0,02
Ca	1,66	1,29	1,46	1,21
Na	2,14	2,18	2,01	2,78
Anortita	43,71	37,15	42,12	30,26

APÊNDICE V - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS GABROS COM OLIVINA, GABROS E GABRO-NORITOS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Gabros com olivina			Amostra:	AER-11B		Grupo:	Gabros e gabro-noritos			Amostra:	AER-10	
Mineral:	Ferropargasita			Magnésiohornblenda		Ferropargasita							
Ponto:	C4Im1p1	C4Im1p2	C4Im1p6	C1Im1p5	C4Im1p4	C2Im2p1	C5Im3p1	C5Im3p2	C5Im3p3	C7Im1p6	C7Im1p7		
SiO ₂ (wt %)	40,60	41,22	41,54	45,34	49,31	41,62	39,86	40,03	40,81	41,55	40,44		
Al ₂ O ₃	14,53	11,69	13,71	12,57	8,13	11,81	12,43	12,65	11,68	11,75	12,26		
TiO ₂	0,84	2,26	0,95	1,99	1,76	0,93	1,07	0,73	1,15	0,63	1,00		
FeO	23,61	24,60	22,70	16,00	16,28	23,97	25,42	25,19	24,81	23,70	23,96		
MgO	5,08	5,38	5,52	9,77	11,12	5,34	4,40	4,64	4,85	5,91	5,69		
CaO	11,84	11,16	12,03	11,27	11,33	11,92	11,70	11,99	11,83	12,19	12,01		
Na ₂ O	1,93	1,99	2,00	2,18	1,25	1,03	1,19	1,26	0,94	1,14	1,37		
K ₂ O	0,96	1,10	1,01	0,56	0,71	2,74	3,12	2,81	3,15	2,42	2,54		
Cl	4,50	4,49	4,12	2,41	0,76	4,68	5,92	5,15	5,74	5,27	5,42		
O=Cl	0,60	0,60	0,55	0,31	0,10	0,63	0,80	0,70	0,78	0,71	0,73		
Si	6,16	6,28	6,31	6,58	7,09	6,42	6,23	6,23	6,36	6,39	6,25		
Al(IV)	1,84	1,72	1,69	1,42	0,91	1,58	1,77	1,77	1,64	1,61	1,75		
Soma T	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00		
Al(VI)	0,76	0,38	0,76	0,73	0,47	0,57	0,52	0,56	0,51	0,52	0,48		
Ti	0,10	0,26	0,11	0,22	0,19	0,11	0,13	0,09	0,13	0,07	0,12		
Fe ³⁺	0,28	0,37	0,02	0,04	0,09	0,00	0,08	0,10	0,00	0,10	0,15		
Mg	1,15	1,22	1,25	2,11	2,38	1,23	1,03	1,08	1,13	1,36	1,31		
Fe ²⁺	2,71	2,77	2,86	1,90	1,87	3,09	3,24	3,18	3,23	2,94	2,94		
Soma C	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00		
Ca	1,93	1,82	1,96	1,75	1,75	1,97	1,96	2,00	1,98	2,01	1,99		
Na	0,07	0,18	0,04	0,25	0,25	0,03	0,04	0,00	0,02	0,02	0,01		
Soma B	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,01	2,00		
Na	0,49	0,41	0,54	0,36	0,09	0,28	0,32	0,38	0,26	0,34	0,40		
K	0,19	0,21	0,19	0,10	0,13	0,54	0,62	0,56	0,63	0,47	0,50		
Soma A	0,68	0,62	0,74	0,47	0,22	0,82	0,95	0,94	0,89	0,81	0,90		
Mg/(Mg+Fe)	0,30	0,31	0,30	0,53	0,56	0,28	0,24	0,25	0,26	0,32	0,31		

Cálculo feito com base em 23 átomos de oxigênio.

APÊNDICE W - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Anfibólio-gabros			Amostra:		AER-55E			Mineral:		Ferropargasita	
Ponto:	C1Im1.7	C1Im1.8	C1Im1.9	C1Im1.10	C2Im2p1	C2Im2p2	C2Im2p3	C2Im2p4	C2Im2p5	C2Im4p5		
SiO ₂ (wt %)	42,23	42,36	40,73	41,45	42,03	42,50	40,31	41,82	41,66			
Al ₂ O ₃	12,01	12,32	12,09	13,18	11,77	11,81	12,56	11,83	11,78			
TiO ₂	0,79	0,44	0,69	0,61	0,84	0,89	0,77	0,96	0,92			
FeO	23,60	23,48	24,79	23,68	24,34	23,61	25,38	24,28	24,09			
MgO	5,67	5,69	5,25	5,27	5,22	5,69	4,87	5,22	5,44			
CaO	11,80	11,78	12,10	11,75	11,95	11,67	11,53	11,99	11,92			
Na ₂ O	1,31	1,34	1,36	1,17	1,17	1,33	1,31	1,20	1,30			
K ₂ O	2,23	2,22	2,55	2,51	2,24	2,09	2,71	2,27	2,45			
Cl	2,69	2,83	3,19	2,80	3,33	2,99	4,10	3,14	3,17			
O=Cl	0,36	0,38	0,43	0,38	0,45	0,40	0,56	0,42	0,43			
Si	6,45	6,45	6,30	6,33	6,45	6,48	6,23	6,43	6,41			
Al(IV)	1,55	1,55	1,70	1,67	1,55	1,52	1,77	1,57	1,59			
Soma T	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00			
Al(VI)	0,61	0,67	0,50	0,70	0,58	0,60	0,51	0,57	0,55			
Ti	0,09	0,05	0,08	0,07	0,10	0,10	0,09	0,11	0,11			
Fe ³⁺	0,09	0,11	0,12	0,15	0,05	0,12	0,34	0,02	0,03			
Mg	1,29	1,29	1,21	1,20	1,20	1,29	1,12	1,20	1,25			
Fe ²⁺	2,93	2,88	3,09	2,88	3,07	2,89	2,93	3,10	3,07			
Soma C	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00			
Ca	1,93	1,92	2,01	1,92	1,97	1,90	1,91	1,98	1,96			
Na	0,07	0,08		0,08	0,03	0,10	0,09	0,02	0,04			
Soma B	2,00	2,00	2,01	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00			
Na	0,32	0,32	0,41	0,27	0,31	0,30	0,30	0,33	0,35			
K	0,43	0,43	0,50	0,49	0,44	0,41	0,53	0,45	0,48			
Soma A	0,75	0,75	0,91	0,76	0,75	0,70	0,83	0,78	0,83			
Mg/(Mg+Fe)	0,31	0,31	0,28	0,29	0,28	0,31	0,28	0,28	0,29			

Cálculo feito com base em 23 átomos de oxigênio.

APÊNDICE X - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Anfibólio-gabros			Amostra: AER-55E			Mineral: Ferropargasita		
Ponto:	C2Im4p6	C2Im5p1	C2Im5p2	C2Im6p2	C2Im6p3	C2Im6p4	C4 Im1.1	C4 Im1.3	C4 Im1.4
SiO ₂ (wt %)	41,95	41,14	42,30	41,52	41,38	41,52	40,83	40,95	41,98
Al ₂ O ₃	11,64	12,09	11,61	12,40	12,63	12,34	12,88	12,18	11,89
TiO ₂	0,99	0,86	0,64	0,67	0,95	1,10	0,66	0,77	0,62
FeO	24,31	24,80	23,50	24,20	23,87	24,45	24,75	24,81	24,04
MgO	5,54	5,27	6,06	5,35	5,31	4,77	4,72	4,95	5,40
CaO	11,80	11,74	12,01	11,75	11,88	11,56	11,84	12,04	12,09
Na ₂ O	1,23	1,10	1,51	1,35	1,30	1,37	1,17	1,29	1,25
K ₂ O	2,11	2,58	1,95	2,32	2,24	2,45	2,61	2,50	2,29
Cl	3,27	3,07	3,10	3,21	3,25	3,21	4,00	3,77	3,35
O=Cl	0,44	0,42	0,42	0,43	0,44	0,43	0,54	0,51	0,45
Si	6,42	6,32	6,46	6,36	6,34	6,39	6,30	6,34	6,45
Al(IV)	1,58	1,68	1,54	1,64	1,66	1,61	1,70	1,66	1,55
Soma T	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al(VI)	0,51	0,51	0,55	0,60	0,62	0,63	0,64	0,56	0,60
Ti	0,11	0,10	0,07	0,08	0,11	0,13	0,08	0,09	0,07
Fe ³⁺	0,20	0,28	0,09	0,17	0,10	0,02	0,12	0,06	0,00
Mg	1,26	1,21	1,38	1,22	1,21	1,09	1,09	1,14	1,24
Fe ²⁺	2,91	2,91	2,91	2,93	2,96	3,13	3,07	3,16	3,09
Soma C	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Ca	1,93	1,93	1,97	1,93	1,95	1,91	1,96	2,00	1,99
Na	0,07	0,07	0,03	0,07	0,05	0,09	0,04	0,00	0,01
Soma B	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,30	0,26	0,41	0,33	0,34	0,31	0,31	0,38	0,36
K	0,41	0,50	0,38	0,45	0,44	0,48	0,51	0,49	0,45
Soma A	0,71	0,77	0,79	0,78	0,77	0,80	0,82	0,88	0,81
Mg/(Mg+Fe)	0,30	0,29	0,32	0,29	0,29	0,26	0,26	0,27	0,29

Cálculo feito com base em 23 átomos de oxigênio.

APÊNDICE Y - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Anfibólio-gabros			Amostra:	AER-52			Mineral:	Ferropargasita			
Ponto:	C4Im4p1	C4Im4p2	C4Im4p5	C4Im52	C4Im64	C4Im65	C5Im2p2	C5Im2p3	C5Im2p4	C5Im2p6	C5Im2p7	
SiO ₂ (wt %)	41,47	42,38	42,30	41,96	42,09	42,27	40,18	40,72	40,90	40,85	41,92	
Al ₂ O ₃	12,23	12,11	12,05	12,19	11,33	11,60	12,17	12,30	12,11	11,85	11,14	
TiO ₂	0,56	0,64	0,79	0,55	1,36	0,99	0,67	0,56	0,66	0,54	0,78	
FeO	24,31	23,84	24,39	24,55	24,24	23,75	27,18	26,18	25,80	26,62	25,17	
MgO	5,30	5,38	5,19	5,14	5,29	5,40	3,48	4,21	4,50	4,05	4,91	
MnO	0,43	0,41	0,36	0,29	0,34	0,44	0,30	0,39	0,56	0,24	0,24	
CaO	11,92	11,68	11,61	11,98	12,09	11,88	11,82	11,88	11,81	12,06	12,44	
Na ₂ O	1,62	1,41	1,37	1,30	1,29	1,66	1,25	1,15	1,30	1,31	1,27	
K ₂ O	1,78	1,76	1,58	1,67	1,60	1,65	2,39	2,16	1,93	2,01	1,73	
Cl	2,85	3,01	2,65	2,66	2,70	2,66	4,18	3,33	3,23	3,42	2,90	
O≡Cl	0,38	0,40	0,36	0,36	0,36	0,36	0,57	0,45	0,44	0,47	0,39	
Si	6,35	6,45	6,43	6,40	6,44	6,47	6,28	6,29	6,30	6,34	6,47	
Al(IV)	1,65	1,55	1,57	1,60	1,56	1,53	1,72	1,71	1,70	1,66	1,53	
Soma T	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
Al(VI)	0,56	0,62	0,59	0,60	0,49	0,56	0,52	0,53	0,50	0,51	0,50	
Ti	0,13	0,15	0,18	0,13	0,31	0,23	0,16	0,13	0,15	0,13	0,18	
Fe ³⁺	0,23	0,22	0,31	0,25	0,09	0,04	0,23	0,34	0,39	0,22	0,01	
Mg	1,21	1,22	1,18	1,17	1,21	1,23	0,81	0,97	1,03	0,94	1,13	
Fe ²⁺	2,88	2,79	2,75	2,86	2,90	2,95	3,28	3,02	2,93	3,21	3,18	
Soma C	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
Fe ²⁺	0,01	0,02	0,04	0,03	0,11	0,06	0,04	0,01	0,00	0,03	0,06	
Mn	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,07	0,03	0,03	
Ca	1,96	1,90	1,89	1,96	1,98	1,95	1,98	1,97	1,95	2,01	2,06	
Na	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Soma B	2,02	2,00	2,00	2,02	2,14	2,06	2,06	2,03	2,02	2,07	2,15	
Na	0,48	0,39	0,39	0,38	0,38	0,49	0,38	0,34	0,39	0,39	0,38	
K	0,35	0,17	0,15	0,32	0,31	0,32	0,48	0,43	0,38	0,40	0,34	
Soma A	0,83	0,56	0,54	0,71	0,70	0,81	0,85	0,77	0,77	0,79	0,72	
Mg/(Mg+Fe)	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,20	0,24	0,26	0,23	0,26	

Cálculo feito com base em 23 átomos de oxigênio.

APÊNDICE Z - COMPOSIÇÕES E FÓRMULAS ESTRUTURAIS DOS ANFIBÓLIOS DOS ANFIBÓLIO-GABROS DA ÁREA DE SERRA DOURADA

Grupo:	Anfibólio-gabros						
Amostra:	AER-9A	AER-52	ERF-83C	AER-12A		AER-9A	AER-55E
Mineral:	Hastingsita		Ferropargasita		Ferro-edenita	Ferrotschermakita	Actinolita
Ponto:	pt43	C51m2p1	pt4_zoom1	C21m1p7	C21m1p6	pt4.4	C21m4p2
SiO ₂ (wt %)	40,07	40,85	39,63	42,42	43,65	42,67	55,39
Al ₂ O ₃	12,13	11,91	13,35	12,19	11,53	10,90	1,89
TiO ₂	0,80	0,62	0,32	1,17	1,13	0,58	0,31
Cr ₂ O ₃	0,15	0,00	0,14	0,00	0,00	0,15	0,00
FeO	26,88	26,44	24,70	22,16	21,03	25,67	15,70
MgO	4,19	4,52	4,90	6,31	7,51	5,22	14,52
NiO	0,31	0,00	0,22	0,00	0,00	0,28	0,00
MnO	0,33	0,28	0,19	0,00	0,00	0,17	0,00
CaO	11,55	11,83	11,73	11,47	11,32	11,49	11,61
Na ₂ O	0,93	1,31	1,22	1,59	1,40	1,05	0,46
K ₂ O	2,87	1,82	4,54	2,21	1,99	2,19	0,11
Cl	5,18	3,10	1,99	3,60	3,36	5,06	0,16
O=Cl	0,71	0,42	0,28	0,48	0,45	0,69	0,02
Si	6,18	6,29	6,13	6,44	6,53	6,47	7,77
Al(IV)	1,82	1,71	1,87	1,56	1,47	1,53	0,23
Soma T	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al(VI)	0,38	0,45	0,57	0,62	0,57	0,42	0,09
Ti	0,19	0,14	0,08	0,13	0,13	0,13	0,03
Cr	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00
Fe ³⁺	0,58	0,47	0,06	0,04	0,23	0,49	0,44
Mg	0,96	1,04	1,13	1,43	1,68	1,18	3,04
Ni	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00
Fe ²⁺	2,82	2,90	3,12	2,78	2,40	2,72	1,41
Soma C	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Fe ²⁺	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00
Mn	0,04	0,04	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00
Ca	1,91	1,95	1,94	1,87	1,81	1,87	1,75
Na	0,00	0,00	0,01	0,13	0,19	0,06	0,12
Soma B	2,01	2,02	2,00	2,00	2,00	2,00	1,87
Na	0,28	0,39	0,36	0,33	0,22	0,25	0,00
K	0,28	0,36	0,45	0,43	0,38	0,21	0,02
Soma A	0,56	0,75	0,80	0,76	0,60	0,46	0,02
Mg/(Mg+Fe)	0,25	0,26	0,27	0,34	0,41	0,30	0,68

Cálculo feito com base em 23 átomos de oxigênio.