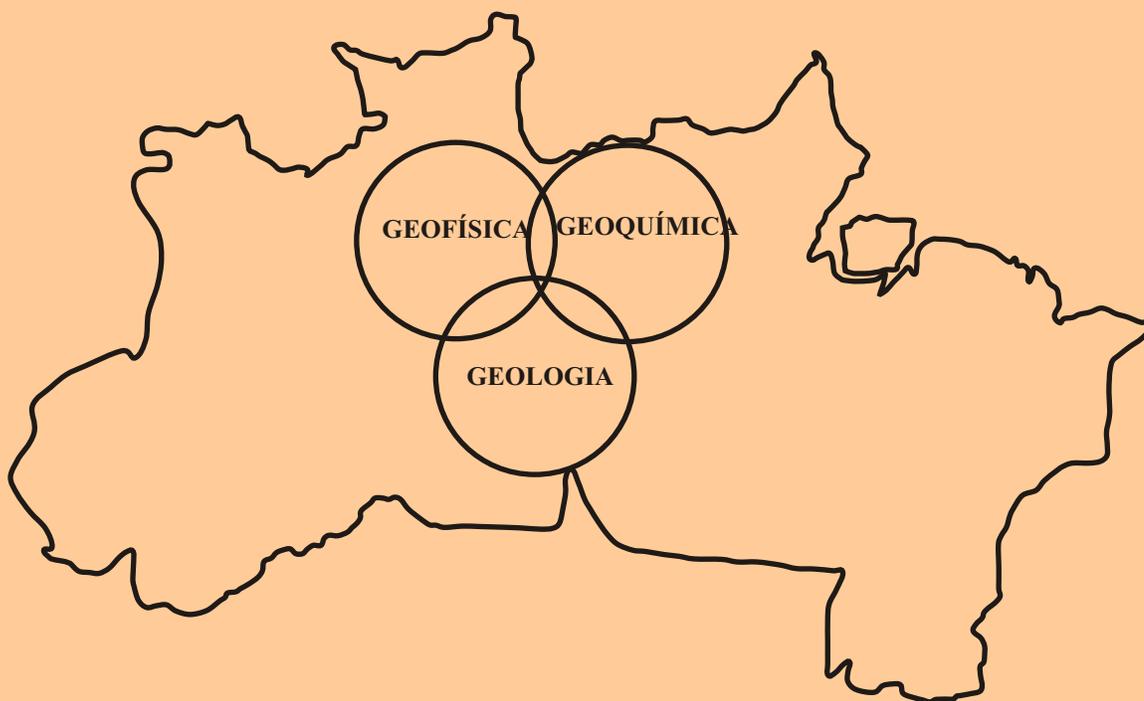




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

TESE DE MESTRADO



“GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO GRANITO
ANOROGÊNICO BANNACH, TERRENO GRANITO-*GREENSTONE*
DE RIO MARIA, PARÁ”.

TESE APRESENTADA POR:
JOSÉ DE ARIMATÉIA COSTA DE ALMEIDA

BELÉM
2005



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO
GRANITO ANOROGÊNICO BANNACH, TERRENO
GRANITO-*GREENSTONE* DE RIO MARIA, PA**

TESE APRESENTADA POR

JOSÉ DE ARIMATÉIA COSTA DE ALMEIDA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: 24 / 03 / 2005

Comitê de Tese:

ROBERTO DALL' AGNOL (Orientador)

VALDECIR ASSIS JANASI

HILTON TULIO COSTI

Belém
2005

Almeida, José de Arimatéia Costa de

Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico Bannach, terreno granito-*Greenstone* de Rio Maria, PA. / José de Arimatéia Costa de Almeida; orientador, Roberto Dall'Agnol. - 2005

12f. pré-textuais +171f.: il

Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2005.

1. Granito Tipo-A 2. Craton Amazônico 3. Terreno Granito *Greenstone* 4. Anorogênico 5. Papeloproterozoico. I Título.

CDD 20. ed.: 552.3

Aos meus pais e aos verdadeiros amigos, que me incentivaram em todos os momentos, acreditando e não poupando esforços para contribuírem para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seu sincero e profundo agradecimento a todas as pessoas e entidades que direta ou indiretamente prestaram sua contribuição para que este trabalho fosse concluído com êxito, em especial:

- Ao criador do céu e da Terra, *DEUS*.
- Ao Curso de pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), pelo fornecimento de infra-estrutura necessária à realização deste trabalho.
- Ao PRONEX/CNPq pelo apoio financeiro nas etapas de campo.
- A CAPES pela concessão da bolsa de estudo durante o decorrer desta pesquisa.
- Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Rochas Granitóides (GPPG) do Centro de Geociências (GC) da UFPA, pelo suporte técnico-científico indispensável ao desenvolvimento deste trabalho.
- Ao professor Roberto Dall’Agnol, pela orientação, paciência e motivação, com inúmeras discussões que foram indispensáveis ao longo deste trabalho.
- Ao geólogo Marco Aurélio Benevides Figueiredo, que com paciência e incentivo influenciou diretamente a iniciação do autor à pesquisa científica.
- Ao geólogo Davis Carvalho de Oliveira, pela imensa ajuda e trocas de informações nas etapas de campo, bem como discussões referentes ao tema desta pesquisa.
- À colega Fabriciana Vieira Guimarães, pela importante contribuição na geração dos dados de suscetibilidade magnética.
- Aos componentes do GPPG: Hilton Túlio Costi, Albano Leite, Cláudio Lamarão, Regis Munhoz, Marco Aurélio Figueiredo, Davis C. de Oliveira, Alex Sardinha, José Erimar Soares, Marcelo Augusto Oliveira, Carlos Marcello Dias Fernandes, Fernanda Gisele C. Nascimento, Gilmara Feio, Sabrina Pinho, Antônio Lima de Paiva, Fabriciana Vieira Guimarães, Samantha Barriga Dias, pelo companheirismo, críticas, sugestões e contribuições a este trabalho.
- Aos amigos da Sala 3, geólogos Davis C. de Oliveira, Carlos Marcello Dias Fernandes, Cleber Ladeira e Marcelo Augusto Oliveira, pela amizade, momentos de descontração, força e apoio durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.
- Ao químico Natalino Valente do Departamento de Geoquímica e Petrologia (CG-UFPA) pela realização das análises de FeO.

- Ao Armínio Vale da CPRM pela liberação das imagens com superposição de dados aereogeofísicos.
- Aos funcionários do Centro de Geociências, em especial os técnicos administrativos Afonso Quaresma e Carlos Alberto pelo apoio e imensa ajuda nas etapas de campo.
- À família Silva, em especial aos (as) amigos (as) Edmundo Filho, Ivana Casseb, Edmundo Neto, Eduardo Igor, Talita Thaiana, Sergio Holanda, Iana Casseb, Natacha Holanda, Natrícia Holanda e Alfredo Rodrigo, pela hospitalidade, carinho, incentivo e força.
- À família Ferreira: Domingos das Graças, Ana de Souza, Márcia Helena, Bismarque, Alexandre Duarte e Marcos Vinícius, pelo imenso apoio, momentos de descontração e companheirismo nos momentos difíceis.
- À família Cavalcanti: Lucenilton, Nilce, Leonardo, Eduardo, Karina e Eduarda, pela amizade e incentivo.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
RESUMO	1
ABSTRACT	3
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	5
1.1 - APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	5
1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	7
1.3 - GRANITOS ANOROGÊNICOS DO TERRENO GRANITO- <i>GREENSTONE</i> DE RIO MARIA.....	11
1.4 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.5 - OBJETIVOS.....	14
1.6 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
1.6.1 - Pesquisa Bibliográfica	15
1.6.2 - Mapeamento Geológico	15
1.6.3 - Petrografia	16
1.6.4 - Geoquímica	16
1.6.5 - Suscetibilidade Magnética	18
CAPÍTULO 2 – GEOLOGIA DO GRANITO BANNACH	19
2.1 – TRABALHOS ANTERIORES.....	19
2.2 - CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO.....	19
2.3 - FACIOLOGIA DO CORPO E MAPA GEOLÓGICO.....	27
2.3.1- Geomorfologia e principais lineamentos estruturais do corpo Banna- ch	31
2.4 - RELAÇÕES ENTRE AS FÁCIES DO GRANITO BANNACH.....	37
2.5 – ASPECTOS GERAIS SOBRE A COLOCAÇÃO DO GRANITO BAN- NACH.....	43

CAPÍTULO 3 – PETROGRAFIA	47
3.1 - INTRODUÇÃO.....	47
3.2 - VARIEDADES PETROGRÁFICAS.....	55
3.2.1 - Fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio com textura equigranular Grossa.....	56
3.2.2 - Fácies Biotita-Monzogranito Porfirítico.....	58
3.2.3 - Fácies Leucomonzogranito Equigranular Grosso (LMzG), Médio (LMzMp e LMzMt) e Fino (LMzF).....	60
3.3 - ASPECTOS TEXTURAIS DOS MINERAIS PERTENCENTES ÀS DIFERENTES FÁCIES	62
3.3.1 - Fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio com textura equigranular Grossa.....	63
3.3.2 - Fácies biotita-monzogranito porfirítico (BMzP).....	70
3.3.3 - Fácies Leucomonzogranito Equigranular Grosso (LMzG), Médio (LMzMp e LMzMt) e Fino (LMzF).....	71
3.4 - ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO DOS MINERAIS.....	72
3.4.1 - Fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio com textura equigranular Grossa.....	72
3.4.2 - Fácies biotita-monzogranito porfirítico (BMzP).....	76
3.4.3 - Fácies Leucomonzogranito Equigranular Grosso (LMzG), Médio (LMzMp e LMzMt) e Fino (LMzF).....	77
3.5 - DISCUSSÕES SOBRE A CRISTALIZAÇÃO DAS FÁCIES DO GRA- NITO BANNACH.....	78
CAPÍTULO 4 – SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA.....	83
4.1 – APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	83
4. 2 - RELAÇÕES ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E FÁCIES PETROGRÁFICAS.....	87
4. 3 - RELAÇÕES ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E CONTEÚ- DO MINERAL.....	91
4. 4 - RELAÇÕES ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E CONTEÚ- DO QUÍMICO.....	95

CAPÍTULO 5 – GEOQUÍMICA.....	99
5.1 – ELEMENTOS MAIORES E MENORES.....	99
5.1.1 – Normas C.I.P.W.....	109
5.2 – ELEMENTOS TRAÇO.....	111
5.2.1 – Comportamento dos LILE - Rb, Sr e Ba.....	114
5.2.2 – Comportamento dos HFSE – Zr, Nb e Y.....	120
5.2.3 – Comportamento dos Elementos Terras Raras.....	121
5.3- ELEMENTOS TRAÇO <i>VERSUS</i> AMBIENTE TECTÔNICO.....	125
5.4 - TIPOLOGIA DO GRANITO BANNACH.....	127
CAPÍTULO 6 – COMPARAÇÕES ENTRE O GRANITO BANNACH E OS MACIÇOS DA SUÍTE JAMON.....	135
6.1 - GEOLOGIA.....	135
6.2 - PETROGRAFIA.....	136
6.3 - GEOQUÍMICA.....	140
6.4 - SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA.....	144
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES.....	148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152
ANEXOS.....	166
Tabela An1- Composições modais das diferentes fácies do Granito Bannach...	167

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa de localização da região de Bannach.....	6
Figura 1.2 - Mapa geológico do Terreno Granito- <i>Greenstone</i> de Rio Maria.....	8
Figura 1.3 - Mapa de localização das amostras estudadas.....	17
Figura 2.1 - Mapa geológico simplificado da área de ocorrência do Granito Bannach.....	20
Figura 2.2 - Imagem de radar mostrando o contraste de relevo entre o Granito Bannach e suas encaixantes.....	22
Figura 2.3 - Contato sudeste entre o Granito Bannach e rochas TTGs.....	23
Figura 2.4 - Contato brusco entre o Granito Bannach e rochas TTGs.....	23
Figura 2.5 -Visão panorâmica do Granito Bannach e de suas encaixantes.....	23
Figura 2.6 - a) Enclave anguloso de rocha TTG no Granito Bannach; b) Enclave arredondado de rocha máfica no Granito Bannach; c) Enclave máfico parcialmente reabsorvido pelo Granito Bannach; d) Enclave arredondado fortemente assimilado pelo granito.....	25
Figura 2.7 - Mapa faciológico do Granito Bannach.....	28
Figura 2.8 - a) Mapa faciológico do Granito Bannach; b) imagem com dados de aereolevante radiométrico de contagem total.....	30
Figura 2.9 – Imagem SRTM do Granito Bannach.....	32
Figura 2.10 - a) Visão panorâmica das porções arrasadas constituídas por rochas de granulação grossa do Granito Bannach; b) Morros alinhados formados por rochas porfíricas (BMzP); c) Visão panorâmica de uma das estruturas circulares formadas por LMzMt.....	33
Figura 2.11 - Imagem em 3 dimensões das estruturas concêntricas que ocorrem (a) na porção oeste e (b) no centro do corpo.....	34
Figura 2.12 - Imagem de SRTM em 3 dimensões de serras alinhadas na direção NE-SW na porção sul do Granito Bannach.....	35
Figura 2.13 - a) Diques aplíticos com direções N20°E e N80°E seccionando o LMzG; b) Vale encaixado em falhas ou fraturas; c) Dique de LMzF com direção N45°E cortando a fácies ABMzG; d) zonas silicificadas.....	36

Figura 2.14 - a) contato brusco entre rocha cumulática e as fácies ABMzG e (b) LMzG; c) Enclave arredondado da rocha cumulática englobada por ABMzG; d) Contato gradacional e sinuoso entre as fácies de BAMzG, ABMzG e LMzG.....	38
Figura 2.15 - a) Enclave do BAMzG englobado no LMzF; b) Enclave de BAMzG reabsorvido pela fácies BMzP; c) Enclave do ABMzG com contorno interdigitado envolvido por LMzF; d) Contato transicional entre LMzG, BMzP e LMzF.....	39
Figura 2.16 - a) Enclaves arredondados de LMzG englobados por BMzP; b) ABMzG com enclave elipsoidal de LMzF; c) BMzP cortado por LMzF; d) LMzG cortado por veio de LMzF.....	41
Figura 2.17 - a) Bolha de LMzMp ocorrendo como enclave nos ABMzG; b) Enclave anguloso de LMzMp englobado pelo ABMzG; c) Rocha porfírica cinza englobando enclave anguloso de BAMzG; d) Enclave anguloso de LMzF na rocha porfírica.....	42
Figura 2.18 – a) Imagem SRTM do Granito Bannach; b) Mapa geológico do complexo anorogênico de Sara-Fier, Nigéria.....	46
Figura 3.1- Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M.....	48
Figura 3.2 - Diagramas mostrando a variação em amostras selecionadas do conteúdo modal de (a) máficos de (b) quartzo, e (c) da razão Pl/Mc em relação à suas disposições no corpo Bannach.....	51
Figura 3.3 - Mapa Faciológico <i>versus</i> a composição modal média de cada fácies.	52
Figura 3.4 - Aspectos macroscópicos e microscópicos das fácies portadoras de anfibólio+biotita±clinopiroxênio do Granito Bannach.....	57
Figura 3.5 - Aspectos texturais das fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio e BMzP do Granito Bannach.....	59
Figura 3.6 - a) a f) Aspectos texturais macro e microscópico das fácies de leucogranitos do Granito Bannach.....	61
Figura 3.7 - a) a f) Aspectos texturais microscópicos das fácies ABMzG e BAMzG do Granito Bannach.. ..	64
Figura 3.8 - Aspectos texturais microscópicos das fácies BAMzG e ABMzG do Granito Bannach.....	65
Figura 3.9 - Aspectos texturais microscópicos das fácies GC, BAMzG e ABMzG do Granito Bannach.....	67
Figura 3.10 - Aspectos texturais microscópicos das fácies BAMzG e ABMzG do Granito Bannach.....	69

Figura 3.11 - Ordem de cristalização dos diferentes minerais das fácies portadoras de anfibólio+biotita±clinopiroxênio.....	73
Figura 4.1 - a) Histograma de frequência; b) Polígono de frequência; c) Gráfico de probabilidade normal, referentes aos dados de suscetibilidade magnética do Granito Bannach.....	86
Figura 4.2 - Mapa de contorno de suscetibilidade magnética do Granito Bannach.....	89
Figura 4.3 - Histograma de frequência com a distribuição de suscetibilidade magnética das diferentes fácies do Granito Bannach.....	90
Figura 4.4 - a) Mapa de contorno de suscetibilidade magnética (SM) do Granito Bannach; b) Produto integrado de imagem de RADAR com dados radiométricos de contagem total.	92
Figura 4.5 - Diagramas mostrando a variação de SM e os conteúdos modais das diferentes fácies do Granito Bannach.....	93
Figura 4.6 - Diagramas mostrando a variação de SM e o conteúdo químico das diferentes fácies do Granito Bannach.....	96
Figura 4.7 - Diagramas mostrando o grau de oxidação das diferentes fácies do Granito Bannach.	97
Figura 5.1 - Diagramas de Harker das diversas fácies do Granito Bannach.....	102
Figura 5.2 - Diagramas geoquímicos para as diversas fácies do Granito Bannach.	107
Figura 5.3 - Diagramas de milicátions A-B, R1 e R2 e Q-P para as diversas fácies do Granito Bannach.....	108
Figura 5.4 - Diagramas normativos para as diferentes fácies do Granito Bannach.....	112
Figura 5.5 - Diagramas de variação binários para os elementos traços <i>versus</i> sílica.....	113
Figura 5.6 - Diagramas de variação binários entre elementos traço, maiores e menores.	116
Figura 5.7 - Diagramas (a) Rb x Sr, (b) Sr x Ba e (c) Rb/Sr x Sr/Ba.....	119
Figura 5.8 - Padrões de distribuição dos ETR das diversas fácies do Granito Bannach.....	122
Figura 5.9 - Diagramas discriminantes de ambiente tectônico (Pearce et al. 1984)	126

Figura 5.10 - Diagramas discriminantes para granitos tipo A (Whalen et al 1987)	131
Figura 5.11 - Diagramas binários discriminantes para granitóides dos subtipos A1 e A2 (Eby 1992).....	132
Figura 5.12 - Diagramas ternários discriminantes para granitóides A1 e A2 (Eby 1992)	133
Figura 6.1 - Diagrama Q -A-P mostrando as composições modais dos granitos Jamon, Musa e Redenção e Bannach.....	137
Figura 6.2 - Diagramas geoquímicos comparativos dos granitos Jamon, Musa, Redenção e Bannach.....	142
Figura 6.3 – Diagramas discriminantes para granitos tipo A, comparando o Granito Bannach com os corpos Jamon, Musa e Redenção.....	143
Figura 6.4 - Padrões de ETR dos granitos a) Granito Jamon; b) Granito Redenção; c) Granito Musa e d) Granito Bannach.....	145
Figura 6.5 - Relação entre conteúdo modal de opacos e SM dos granitos Bannach, Jamon, Musa e Redenção.....	147

TABELAS

Tabela 1.1 – Dados geocronológicos das rochas pertencentes ao Terreno Granito- <i>Greenstone</i> de Rio Maria.	9
Tabela 3.1 - Média das composições modais das diferentes fácies do Granito Bannach.....	49
Tabela 4.1 - Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Granito Bannach.....	84
Tabela 4.2 - Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Granito Bannach.....	85
Tabela 4.3- Percentis dos dados de SM do Granito Bannach.....	85
Tabela 4.4 - Contribuição de cada fácies do Granito Bannach nas várias populações de SM.....	85
Tabela 5.1 - Composições químicas das diversas fácies do Granito Bannach.....	100
Tabela 5.2 - Composições Normativas (CIPW) para as diversas fácies do Granito Bannach.....	110
Tabela 6.1 - Dados modais dos Granitos Jamon, Musa e Redenção.....	139
Tabela 6.2 – Comparações entre as características magnéticas dos granitos Bannach, Musa e Jamon.....	144

RESUMO

O Granito Bannach é um batólito alongado na direção SE-NW intrusivo em unidades arqueanas pertencentes ao Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, porção leste do Cráton Amazônico. Ele é constituído por um conjunto de rochas monzograníticas com mineralogia semelhante, apresentando microclina, quartzo e plagioclásio como minerais essenciais; anfibólio, biotita e, mais raramente, clinopiroxênio como varietais; titanita, allanita, apatita e zircão como acessórios primários; clorita, sericita-muscovita, carbonatos \pm fluorita como fases secundárias. As características texturais e mineralógicas permitem identificar oito variedades petrográficas: fácies portadoras de anfibólio, biotita e, por vezes, clinopiroxênio de granulação grossa [Granito cumulático (GC), biotita-anfibólio monzogranito grosso (BAMzG), anfibólio-biotita monzogranito grosso (ABMzG)]; fácies portadora de biotita com textura porfirítica [biotita monzogranito porfirítico (BMzP)] e fácies constituídas por leucogranitos [leucomonzogranito grosso (LMzG), médios precoces e tardios (LMzMp e LMzMt) e fino (LMzF)]. A distribuição faciológica do corpo mostra que o maciço é zonado, com as fácies menos evoluídas (GC e BAMzG) ocupando as porções periféricas e as mais evoluídas as partes centrais (LMzMt e LMzG).

O Batólito Bannach é subalcalino, metaluminoso a peraluminoso e possui altas razões FeO_t/FeO_t+MgO (0,86 a 0,97) e K_2O/Na_2O (1 a 2). Os padrões dos elementos terras raras revelam um aumento na anomalia negativa de európio da fácies menos evoluída para as mais evoluídas. Nesse mesmo sentido ocorre um discreto enriquecimento em elementos terras raras leves paralelamente ao ligeiro empobrecimento em terras raras pesados. Ele mostra afinidades geoquímicas com os granitos intraplaca (Pearce et al. 1984), com os granitos tipo -A (Whalen et al. 1987), com o tipo ferroso de Frost et al. (2001) e com os granitos do subtipo A2 (Eby 1992).

As diferentes fácies do corpo Bannach possuem alta suscetibilidade magnética (SM), sendo os maiores valores relacionados com as fácies menos evoluídas, portadoras de anfibólio + biotita \pm clinopiroxênio (GC e BAMzG), e os menores com as fácies leucograníticas (LMzG, LMzMt, LMzMp e LMzF).

As diversas fácies do Granito Bannach provavelmente evoluíram por cristalização fracionada, comandada pelo fracionamento de ferromagnesianos e feldspatos. Este fracionamento indica um trend de diferenciação no sentido BAMzG-ABMzG-BMzP-LMzMp-LMzG-LMzF,

sendo que o LMzMt representaria uma intrusão separada formada de um líquido muito evoluído e independente daquele formador das demais fácies. A existência de descontinuidade composicional entre a fácies granito cumulático (GC) e os BAMzG, sugere que o líquido formador destes últimos não poderia ter derivado do GC por simples fracionamento dos feldspatos. O GC possui uma evolução magmática particular, envolvendo possivelmente a participação de processos cumuláticos.

A idade e posicionamento estratigráfico, juntamente com as características geológicas, petrográficas, geoquímicas e de petrologia magnética, permitem que o Granito Bannach seja enquadrado na Suíte Jamon, uma vez que apresenta notáveis similaridades com os corpos Jamon, Musa e Redenção, que compõem a mesma.

ABSTRACT

The Bannach Granite is intrusive in Archean rocks of the Rio Maria Granite -*Greenstone* Terrane, located in the eastern border the Amazonian craton. This Paleoproterozoic, elliptic, anorogenic granitic batholith is composed essentially of monzogranites with alkali feldspar, quartz and plagioclase as essential minerals; hornblende, biotite and sometimes clinopyroxene as main mafic minerals; titanite, allanite, apatite, zircon, ilmenite and magnetite as primary accessory minerals; chlorite, sericite-muscovite, carbonate \pm fluorite as secondary accessory minerals. Textural and mineralogical characteristics allow to recognize eight varieties of granite: coarse-grained facies bearing amphibole, biotite and sometimes clinopyroxene [cumulatic granite (CG), biotite-amphibole-monzogranite (BAMzG), and amphibole- biotite-monzogranite (ABMzG)]; porphyritic facies with biotite [porphyritic biotite-monzogranite (PBMz)] and leucomonzogranitic facies [coarse -grained leucomonzogranite (CLMz), early and late medium - evengrained monzogranite (EMLMz and LMLMz) and fine- evengrained monzogranite (FLMz)].

The facies distribution within the batholith is zoned, with the less evolved facies (GC and BAMzG) situated along the border of the body and the more evolved ones in its central portion (LMLMz and CLMz).

The Bannach batholith is subalkaline, metaluminous to peraluminous. K_2O/Na_2O ratios are between 1 and 2 and $FeO_t/(FeO_t + MgO)$ between 0.86 and 0.97. The different facies have similar rare earth elements (REE) patterns, being enriched in light REE, slightly depleted in heavy REE and showing a negative europium anomaly that increases from the less evolved to the more evolved facies. The several facies of the Bannach granite plot in the within -plate granite field, as defined by Pearce et al. (1984) for Phanerozoic granites, and into the field of A -type granite, as defined by Whalen et al. (1987). They also show geochemical affinities with the ferroan granites of Frost et al. (2001) and with the A2-subtype (Eby 1992).

All facies of the Bannach pluton display high magnetic susceptibility (MS), decreasing regularly from the facies carrying amphibole, biotite \pm clinopyroxene (GC and BAMzG) to the leucogranites (EMLMz, CLMz, LMLMz and FLMz).

The different facies of the Bannach granite evolved through fractional crystallization of ferromagnesian minerals and feldspars. The differentiation trend was in the sense: BAMzG-ABMzG-PBMz-EMLMz-CLMz-FLMz. The LMLMz facies is interpreted as a separate intrusion

derived from very evolved melts. The existence of a compositional gap between the cumulatic granite (GC) and the BAMzG facies suggests that the BAMzG liquid could not derive from the GC by simple fractional crystallization process. The CG had a particular magmatic evolution, involving the participation of cumulatic processes.

The age, stratigraphic and field relationships, petrographic and magnetic susceptibility, and geochemical characteristics of Bannach Granite are similar to those of the Jamon Suíte granites. The Bannach batholith displays a remarkable similarity with the Jamon, Musa and Redenção plutons which constitute the Jamon Suíte, justifying the attribution of the former to the mentioned suite.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1- APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A Província Mineral de Carajás (PMC) é caracterizada pela sua grande variedade de recursos minerais, destacando-se os depósitos de ferro, ouro, manganês, níquel e cobre (DOCEGEO, 1988). O estágio atual do conhecimento geológico da PMC deve -se principalmente aos trabalhos de mapeamento geológico e prospecção executados pelas equipes da DOCEGEO e CPRM. O Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) e o Laboratório de Geologia Isotópica do Centro de Geociências - UFPA destacaram -se nos últimos anos pelos trabalhos de detalhe na região, em particular sobre as rochas granitóides. O presente trabalho faz parte das atividades do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides e do Núcleo PRONEX “Magmatismo, Evolução Crustal e Metalogênese da Província Mineral de Carajás e Província Adjacentes” do Centro de Geociências da UFPA.

O GPPG tem concentrado suas atividades na porção sul da Amazônia Oriental, visando o estudo da evolução das rochas granitóides, bem como sua caracterização petrológica e geoquímica. Paralelamente, o grupo tem desenvolvido uma linha de pesquisa ligada ao estudo da suscetibilidade magnética e dos minerais opacos, que serviu de base para vários trabalhos: Dall’Agnol *et al.* (1988), Magalhães (1991), Magalhães & Dall’Agnol (1992), entre outros.

A presente dissertação está vinculada ao programa de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (CPGG) da Universidade Federal do Pará. A mesma refere-se ao estudo do Batólito Anorogênico Bannach, localizado no sudeste do estado do Pará, no município de Bannach (Figura 1.1). A área mapeada acha -se inserida na porção SW da folha SB-22-Z-C-II e no extremo NW da folha SB -22-Z-C-V, sendo limitada pelos paralelos 7°21’ e 7°42’ S e pelos meridianos 50°16’ e 50°32’ W. A presente pesquisa direciona-se para a geologia, petrografia e geoquímica do referido corpo, do qual se dispõe somente de um levantamento cartográfico preliminar, a nível de reconhecimento.

A pesquisa se articula com os projetos, ora em desenvolvimento na região, de doutoramento de Davis Carvalho de Oliveira, e com o de iniciação científica de Fabriciana Vieira Guimarães, ambos também vinculados ao GPPG.

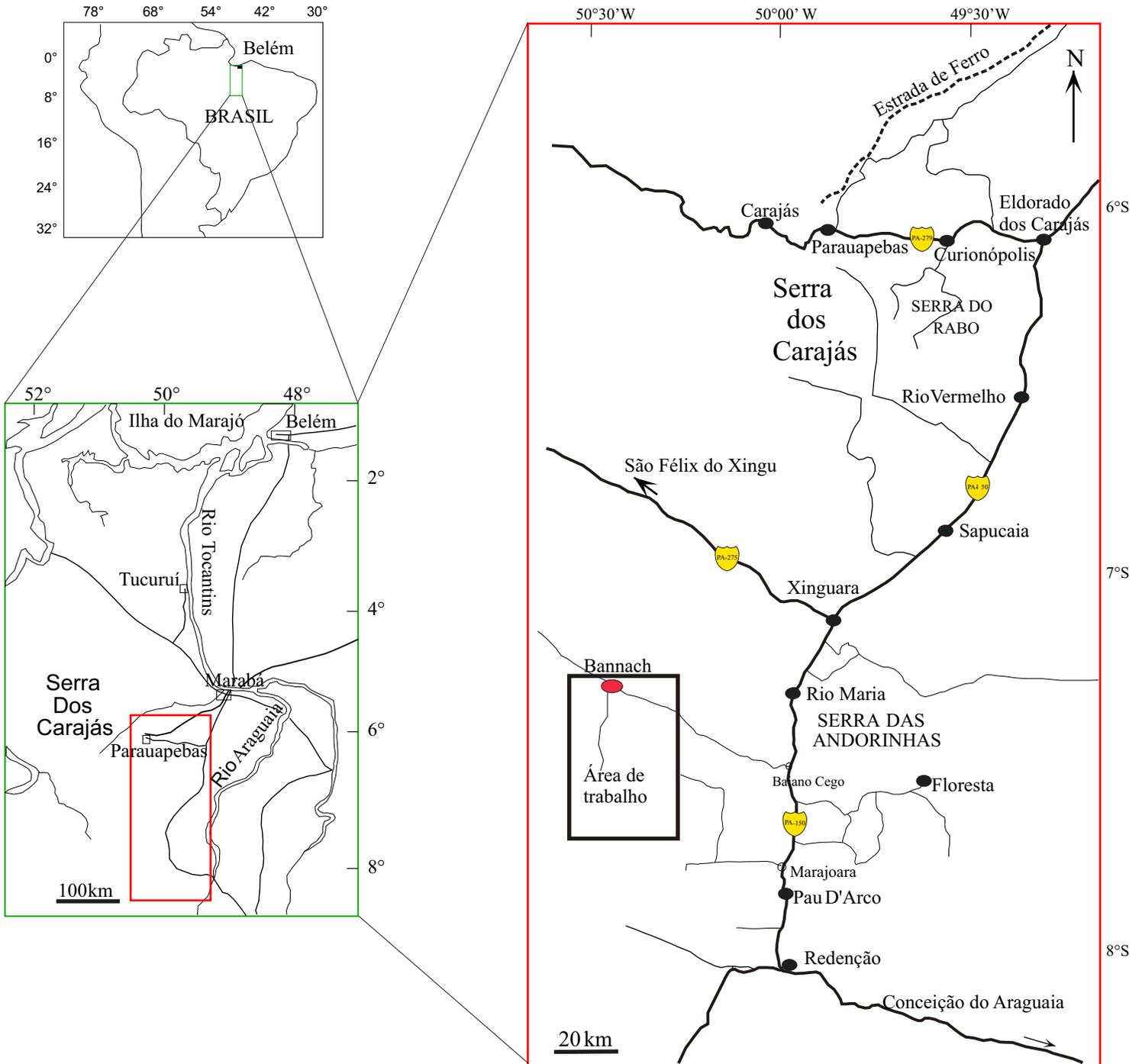


Figura 1.1- Mapa de localização da região de Bannach, indicando a área estudada.

1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.

A região de Bannach está inserida no contexto geológico do Terreno Granito -*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) (Figura 1.2). A litoestratigrafia desta região vem sendo discutida e modificada desde as décadas de 70 e 80 (Silva et al. 1974; Hirata et al. 1982; Huhn et al. 1988; DOCEGEO, 1988; Souza et al. 1990). O Complexo Xingu, considerado como embasamento regional, abrangia granulitos, gnaisses, granitóides e *greenstone belts*. Com o crescimento do conhecimento geológico do sudeste do Pará, foram individualizadas várias unidades na região de Rio Maria, as quais foram desvinculadas do Complexo Xingu. Assim, ao final da década de 80, a distribuição desta unidade ficou restrita aos “terrenos gnáissicos” ao norte da cidade de Xinguara, em torno da vila Marajoara e de Pau D'arco e ao redor da cidade de Redenção. Tais gnaisses seriam mais antigos do que os granitóides arqueanos e *greenstone belts*, representando o embasamento regional (Souza et al. 1990). Althoff et al. (1991) abandonaram a designação de Complexo Xingu para as rochas arqueanas da região de Marajoara, reconhecendo nessa região duas novas unidades: Tonalito Arco Verde e Granito Garantã, bem como uma nova ocorrência do Granodiorito Rio Maria. Estabeleceram assim, a existência de um prolongamento para sul do TGGRM. Mais recentemente, Rolando & Macambira (2002, 2003), com base em novos dados geocronológicos e geológicos, confirmaram a extensão do TGGRM até pelo menos, 100 km a sul da cidade Redenção.

O quadro estratigráfico atual do TGGRM mostra que ele é formado por *greenstone belts* e granitóides, ambos de idade arqueana. Os *greenstone belts* do Supergrupo Andorinhas são compostos por komatiítos e basaltos toleíticos (Souza 1994) e são as unidades mais antigas da região. Dall’Agnol et al. (1997b), Althoff et al. (2000) e Leite (2001), com base em dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos, dividiram os granitóides arqueanos da região de Rio Maria em três grupos: 1) Granitóides da série tonalítica -trondhjemitica-granodiorítica (Tipo TTG), com os mais antigos representados pelo Tonalito Arco Verde (TAV) e Complexo Tonalítico Caracol e os mais novos pelos Trondhjemitito Mogno e Água Fria. Todas estas unidades exibem fortes similaridades petrográficas e geoquímicas, mas suas idades não são coincidentes (Tabela 1); 2) Granitóides com alto-Mg, do tipo sanukitóide, representados pelo Granodiorito Rio Maria (GDrm) e rochas máficas e intermediárias associadas a ele. As relações de campo mostram que o GDrm é intrusivo nos *greenstone belts*, no TAV e é cortado pelo Trondhjemitito Mogno

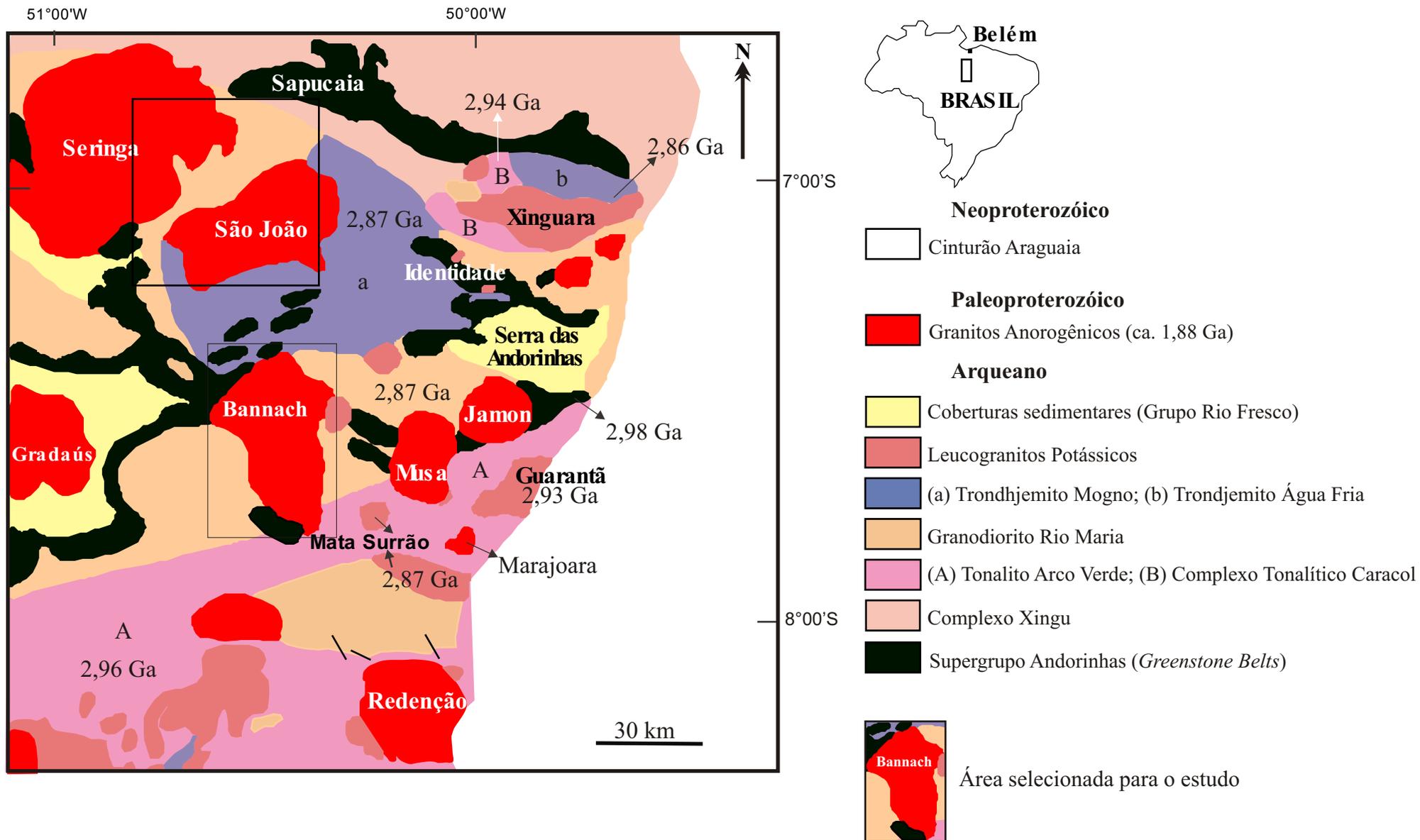


Figura 2- Mapa Geológico simplificado do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria reproduzido a partir de Oliveira, 2001 (Fontes originais: Medeiros et al. 1987, Huhn et al. 1988, Docegeo 1988, Souza et al. 1990, Althoff et al. 1991, Duarte 1992, Souza 1994, Araújo et al. 1994, Vale & Neves 1994, Leite 1995, Althoff et al. 2000, Leite 2001,)

Souza et al. 1990). Os dados geocronológicos das rochas do Granodiorito Rio Maria estão na Tabela 1.1; 3) Leucogranitos potássicos de afinidade cálcico -alcalina representados pelos granitos Xinguara, Mata Surrão, Guarantã e correlatos. O Granito Mata Surrão (Duarte 1992) é intrusivo no Tonalito Arco Verde e possui idade semelhante a do Granito Xinguara (Tabela 1). Aspectos de campo mostraram que estes últimos são mais jovens que os granitóides TTGs e GDrms sendo sua idade de 2,86 (Leite 2001). O Granito Guarantã possui idade de cristalização em torno de 2,93 Ga (Althoff et al. 2000) diferenciando-se neste aspecto dos granitos Xinguara e Mata Surrão.

As diversas unidades do TGGRM são cobertas por metassedimentos de idade arqueana do Grupo Rio Fresco e cortados por granitos anorogênicos paleoproterozóicos (Huhn et al. 1988, Souza et al. 1990, Araújo et al. 1994).

Tabela 1.1 - Dados geocronológicos das rochas pertencentes ao Terreno Granito -Greenstone de Rio Maria. (modificado a partir de Leite 2001). (Continua)

Unidade Estratigráfica	Tipo de rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência
<i>Arqueano</i>				
Supergrupo Andorinhas	Metagrauvaca	U-Pb	Zircão	2971±18 Ma (3)
(Grupo Lagoa Seca)	Metavulcânica fêlsica	U-Pb	Zircão	2904+29/-21 Ma (3)
	Metavulcânica fêlsica	U-Pb	Zircão	2979±5 Ma (8)
<i>Greenstone belts</i> Identidade	Metadacito	Pb-Pb	Rocha total	2944±88 Ma (9)
<i>Greenstone belts</i> do Grupo Serra do Inajá	Metabasalto	U-Pb	Zircão	2988±4 Ma (10)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	U-Pb	Zircão	2957+25/-21 Ma (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948±7 Ma (10)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981±8 Ma (10)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988±5 Ma (10)

(Conclusão)

Unidade Estratigráfica	Tipo de rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência
<i>Arqueano</i>				
Granodiorito Rio Maria	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874+9/-10 Ma (3)
	Granodiorito	U-Pb	Zir, titan	2872±5 Ma (8)
	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2877±6 Ma (10)
	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2881±8 Ma (10)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878±4 Ma (6)
Trondhjemito Mogno	Granitóide	U-Pb	Titanita	2871±? Ma (8)
Trondhjemito Água fria	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2864±21 Ma (11)
Tonalito Parazônia	Granitóide	U-Pb	Titanita	2858 Ma (8)
Granodiorito Cumaru	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2817±4 Ma (12)
Granito Mata Surrão	Leucogranito	Pb-Pb	Rocha total	2872±10 Ma (13)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2871±7 Ma (13)
	Monzogranito	Pb-Pb	Zircão	2881±2 Ma (10)
	Monzogranito	Pb-Pb	Zircão	2875±11 Ma (10)
Granito Xinguara	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2865±1 Ma (11)
Granito Guarantã	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2.93 Ga (13)
<i>Proterozóico</i>				
Granito Musa	Monzogranito	U/Pb	Zircão	1883+5/-2 Ma (1)
Granito Velho Guilherme	Monzogranito	Pb/Pb	Rocha total	1873 ± 13 Ma (2)
Granito Marajoara	Monzogranito	Rb/Sr	Rocha total	1724 ± 50 Ma (3)
Granito Redenção	Monzogranito	Pb/Pb	Rocha total	1870 ± 68 Ma (4)
Granito Seringa	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1892 ± 30 Ma (5)
Granito Jamon	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1885 ± 32 Ma (6)
Dique composto	Granito pórfiro	Pb/Pb	Zircão	1885 ± 4 Ma (7)

Fontes dos Dados: (1) - Machado et al. (1991); (2) - Rodrigues et al. (1992); (3) - Macambira (1992); (4) - Barbosa et al. (1994); (5) - Avelar (1996); (6) - Dall'Agnol et al. (1999a); (7) - Dall'Agnol et al. (2002); (8) - Pimentel & Machado (1994); (9) - Souza (1994); (10) - Rolando & Macambira (2003); (11) - Leite et al. (2004); (12) - Lafon et al. (1994); (13) - Althoff et al. (2000);

O magmatismo anorogênico Proterozóico do Cráton Amazônico é um dos mais expressivos do mundo. Ele encerra um grande volume de rochas granitóides e vulcânicas máficas, intermediárias e félsicas, com subordinadas variedades plutônicas máficas (Dall'Agnol et al. 1987, Bettencourt & Dall'Agnol 1987, Issler & Lima 1987, Bettencourt et al. 1999,

Dall'Agnol et al. 1999b, Dall'Agnol et al. 2005). Esse magmatismo se assemelha, em idades, características geoquímicas e evolução magmática, àqueles que ocorrem na Província Proterozóica Norte Americana e no Escudo Fennoscandiano (Anderson & Bender 1989, Haapala & Rämö 1990, Emslie 1991, Rämö & Haapala 1995, Dall'Agnol et al. 1999b).

Em particular, no que se refere às rochas granitóides do Paleoproterozóico-Mesoproterozóico, vários estudos têm sido realizados (Abreu & Ramos 1974, Dall'Agnol 1980, Horbe et al. 1985, Gastal 1987, Bettencourt & Dall'Agnol 1987, Dall'Agnol et al. 1988, Horbe et al. 1991, Teixeira & Dall'Agnol 1991, Magalhães & Dall'Agnol 1992, Dall'Agnol et al. 1993, Teixeira et al. 1994, Dall'Agnol et al. 1997a, Dall'Agnol et al. 1999b, Teixeira et al. 2002, Dall'Agnol et al. 2005). Estes trabalhos identificaram um grande número de maciços graníticos anorogênicos, de dimensões variando de "stocks" a batólitos em praticamente toda a extensão do Cráton Amazônico. Estes maciços apresentam características subalcalinas e alcalinas e afinidades com os granitos tipo A (Loiselle & Wones 1979, Collins et al. 1982, Pitcher 1983, Pearce et al. 1984, Whalen et al. 1987, Cobbing 1990, Eby 1990, Eby 1992, King et al. 1997, King et al. 2001). A importância conferida a esses granitos deve -se, entre outros fatores, à existência de expressivos depósitos minerais de cassiterita e, localmente, wolframita, a eles associados.

Os trabalhos de mapeamento geológico (escala 1:250.000) da Folha Xinguara (SB -22-Z-C) realizados pela CPRM (2000) no Programa de Levantamento Geológicos Básicos do Brasil, consideram o Granito Bannach como um batólito anorogênico alongado na direção NW -SE, com dois lineamentos estruturais principais com direções NE-SW e NW-SE, sendo intrusivo em unidades arqueanas. Mantém quase exclusivamente contato com leucogranitos potássicos do tipo Xinguara. As exceções são as porções nordeste, norte e noroeste do corpo, onde o mesmo secciona o GDrn, o Trondhjemitógeno e os *greenstone belts* do Supergrupo Andorinhas, respectivamente.

1.3 - GRANITOS ANOROGÊNICOS DO TERRENO GRANITO-*GREENSTONE* DE RIO MARIA.

Durante o Paleoproterozóico, a PMC foi palco de magmatismo granítico anorogênico (Dall'Agnol et al. 1994). Na região de Rio Maria este evento é marcado pela Suíte Jamon (Dall'Agnol et al. 2005), representada pelos Granitos Jamon (Dall'Agnol 1980, Dall'Agnol et al. 1999a), Musa, Marajoara (Gastal 1987, 1988), Manda Saia (Leite 2001), Bannach (Huhn et al.

1988, Duarte 1992) e Redenção (Montalvão et al. 1982, Barbosa et al. 1994, Vale & Neves 1994, Oliveira 2001, Oliveira et al. 2002). Estes granitos anorogênicos, quando datados pelos métodos U/Pb e Pb/Pb em zircões e Pb/Pb em RT, fornecem idades de cristalização e colocação próximas de 1,88 Ga (Machado et al. 1991, Barbosa et al. 1994, Dall'Agnol et al. 1999a). Na tabela 1.1 estão sintetizados os principais dados geocronológicos sobre os granitos que formam a Suíte Jamon. Diques félsicos a máficos, de modo geral contemporâneos aos granitos, ocorrem sob forma de corpos subverticais, tabulares, com espessuras de até 10 a 20 metros, cortando as unidades arqueanas bem como, localmente, os granitos proterozóicos (Gastal 1987, Huhn et al. 1988, Souza et al. 1990, Silva Jr. 1996, Rivalenti et al. 1998, Silva Jr. et al. 1996). Trabalhos de campo recentes na região levaram a descoberta de um dique composto (Dall'Agnol et al. 2002), formado por um granito pórfiro e um diabásio, seccionando o Granodiorito Rio Maria, aflorando próximo ao contato deste com o Granito Musa. Dados geocronológicos forneceram uma idade de 1885 ± 4 Ma (Dall'Agnol et al. 2002) para o granito pórfiro, que é a idade mais precisa obtida para os diques félsicos que ocorrem na região de Rio Maria (Silva Jr et al. 1996) e também, por extensão, do dique máfico associado.

Diversos trabalhos foram realizados nos Granitos Jamon (Dall'Agnol 1982, Dall'Agnol et al. 1999a), Musa (Gastal 1987, 1988) e Redenção (Montalvão et al. 1982, Barbosa et al. 1994, Vale & Neves 1994, Oliveira 2001, Oliveira et al. 2002) em termos geológicos, petrográficos, geoquímicos e de petrologia magnética, os quais contribuíram para a melhor caracterização do magmatismo anorogênico na região de Rio Maria. Esses granitos são isotrópicos, intraplacas, de alto nível crustal, tendo sido colocados em uma crosta rígida, cortando discordantemente suas rochas encaixantes. Nas zonas de contato, xenólitos das rochas encaixantes são comumente encontrados nestes granitos e efeitos termais nas rochas adjacentes causaram metamorfismo de contato da fácies hornblenda hornfels (Dall'Agnol et al. 1985, Soares 1996). A distribuição espacial de suas fácies indica em geral um zoneamento aproximadamente concêntrico, com as fácies menos evoluídas situando-se na periferia e as mais evoluídas na porção central dos maciços. Possuem característica metaluminosa a peraluminosa e afinidades com os granitos do tipo-A de Whalen et al. (1987), incidindo exclusivamente no campo dos granitos do subtipo A2, conforme definidos por Eby (1992). As razões K_2O/Na_2O desses granitos aumentam gradualmente com a diferenciação magmática e revelam valores situados entre 1 e 2. O conteúdo expressivo de minerais opacos, as altas razões $FeOt/(FeOt+MgO)$, a presença marcante de

magnetita, a ocorrência ocasional de mineralizações de wolframita, os altos valores de suscetibilidade magnética e a presença da paragênese magnetita-titanita-quartzo, são características dos granitos desta suíte. Os mesmos se enquadram entre os granitos da série magnetita (Ishihara, 1977, 1981), formados em condições de fugacidade de oxigênio próximas daquelas dos tampões NNO e HITMQ (Wones 1989, Dall’Agnol et al. 1997a, 1999c). Os padrões de elementos terra raras (ETR) das diferentes fácies dos Granitos Jamon, Musa e Redenção mostram algumas analogias. Dentre as principais semelhanças destacam -se o enriquecimento em elementos terra raras leves, o empobrecimento discreto em terra raras pesados e a presença de uma anomalia negativa de európio, que cresce das fácies menos evoluídas para as mais evoluídas (Gastal 1987, Dall’Agnol et al. 1999a)

De modo geral os Granitos Jamon, Musa e Redenção apresentam afinidades petrográficas, geoquímicas e de petrologia magnética que os distinguem de outros granitos anorogênicos da Província Carajás (Suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás) os contrastes são ocasionados provavelmente pela natureza distinta de suas fontes, bem como da temperatura de fusão, conteúdo de água e fugacidade de oxigênio dos seus respectivos magmas (Dall’Agnol et al. 1997a, Dall’Agnol et al. 1999c, Dall’Agnol et al. 2005). Dall’Agnol et al. (1999c) apresentam os resultados de modelamento geoquímico e experimento de cristalização para o hornblenda -biotita-monzogranito do maciço Jamon e estimam que o magma formador do mesmo teve a sua gênese provavelmente ligada a uma fonte ígnea oxidada de composição máfica a intermediária de idade Arqueana, similar geoquimicamente às rochas menos evoluídas associadas ao Granodiorito Rio Maria.

Em relação ao Granito Anorogênico Bannach, foi realizado apenas um levantamento cartográfico preliminar pela DOCEGEO (1988), o qual restringiu -se a nível de reconhecimento do corpo. Duarte (1992) considerou o Granito Bannach como sendo anorogênico devido à sua similaridade com os Granitos Musa (Gastal 1987) e Jamon (Dall’Agnol 1982) e em função de suas relações de contato com as unidades arqueanas. A existência de um flagrante desnível de conhecimento entre o Granito Bannach e os demais corpos anorogênicos que ocorrem no TGGRM é, portanto, bastante óbvio e deve ser superado.

1.4 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O Granito Bannach é um batólito de direção NW -SE, definido como anorogênico por Duarte (1992), localizado no sudeste do Estado do Pará e incluído na Suíte Jamon (Dall’Agnol et al. 2005). Quando da proposição da presente pesquisa, os estudos sobre o Granito Bannach eram quase inexistentes e seus limites geológicos mal definidos. Portanto, se tornava necessário equiparar o nível de conhecimento do Granito Bannach ao dos outros corpos anorogênicos da região de Rio Maria. Isso representaria um salto qualitativo para a melhor compreensão do magmatismo anorogênico nessa região.

Para atingir tal objetivo era necessário realizar o mapeamento geológico e amostragem em escala adequada, seguidos de estudos petrográficos e geoquímicos detalhados, que permitissem identificar as variedades composicionais e texturais presente no corpo granítico, ou seja, as suas fácies, bem como a sua distribuição espacial e as relações entre elas (organização interna), além da definição de suas características geoquímicas. Não se dispunha, tampouco, de estudos de suscetibilidade magnética (SM), os quais certamente contribuiriam para melhor entender a evolução petrológica e avaliar o potencial metalogenético desse granito. Além disso, a escassez de informações sobre o Granito Bannach não permitia comparações detalhadas entre o mesmo e os demais granitos anorogênicos da Província Carajás, tanto do ponto de vista de petrografia, geologia e geoquímica, quanto da sua evolução magmática e potencial metalogenético.

1.5 – OBJETIVOS

O objetivo central desta pesquisa é a caracterização do Granito Bannach no que diz respeito aos seus aspectos geológicos, petrográficos e geoquímicos. Com base nisso, os estudos a serem efetuados visam atingir os seguintes objetivos específicos:

1 – Elaborar um mapa geológico na escala 1:100.000 da parte norte do corpo Bannach, identificando as suas fácies e definindo a sua distribuição espacial; efetuar um reconhecimento geológico no restante do corpo.

2 – Fazer um estudo petrográfico minucioso das diferentes fácies do Granito Bannach, classificá-las e estimar a sua história de cristalização;

3 – Caracterizar a geoquímica das diferentes fácies do Granito Bannach, discutindo com base nisso suas afinidades geoquímicas, tipologia e os processos magmáticos que controlaram a sua evolução.

4 - Estabelecer relações entre os minerais óxidos de Fe e Ti e a suscetibilidade magnética, buscando contribuir para a definição da tipologia do granito e avaliar as condições de fO_2 e o potencial metalogênico das suas diferentes fácies. Estabelecer relações entre estes dados e os processos magmáticos e pós-magmáticos atuantes durante a evolução deste granito.

5 - Estabelecer comparações entre o Granito Bannach e os demais corpos graníticos proterozóicos, que ocorrem na Província Mineral de Carajás, em particular aqueles da Suíte Jamon.

1.6 - MATERIAIS E MÉTODOS

1.6.1 - Pesquisa Bibliográfica

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica detalhada referente à geologia da região estudada. Temas específicos, concernentes à evolução, petrogênese e geoquímica de granitos anorogênicos, em particular do Proterozóico, assim como temas que abordam o estudo de minerais óxidos de Fe e Ti e suscetibilidade magnética e suas aplicações petrogenéticas, também foram pesquisados.

1.6.2 - Mapeamento Geológico

Foram realizadas duas campanhas de campo. A primeira consistiu do reconhecimento logístico, acompanhado de coleta de amostras. Foi realizada em agosto de 2002 e permitiu o levantamento de dois grandes perfis, estratégicos para a definição da segunda fase de campo. Esta foi feita em Julho de 2003, com o intuito de concluir o mapeamento geológico do corpo, detalhando a sua amostragem e definindo suas relações de contato e limites com as encaixantes. Nesta fase também foram feitos levantamentos gravimétricos no corpo, a fim de obter uma visão da forma tridimensional do corpo (Oliveira 2003). O mapeamento geológico em ambas campanhas foi realizado na escala 1:100.000, tendo sido descritos cerca de 250 afloramentos em sua grande maioria nos domínios do Granito Bannach, e alguns poucos de suas encaixantes arqueanas. Foram efetuados levantamento de perfis e coleta sistemática e criteriosa de amostras ao longo das estradas e caminhos existentes, além de eventuais caminhamentos. Em áreas afastadas do contato foi realizado apenas um reconhecimento geológico. Foram utilizadas como

apoio, nesta etapa, folhas cartográficas planialtimétricas do IBGE (especialmente as folhas SB - 22-Z-C-II e SB-22-Z-C-V), imagens de radar e satélite e levantamentos aereogeofísicos (radiometria em contagem total), os últimos gentilmente cedido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). A integração desses dados permitiu delimitar com mais precisão a distribuição das fácies e os limites do corpo. Os pontos de amostragem (Figura 1.3) tiveram suas localizações definidas utilizando aparelho GPS (*Global Position System*) e locados em uma base georeferenciada.

1.6.3 - Petrografia

Foram feitas descrições macroscópicas das amostras coletadas, para posterior seleção e confecção de lâminas delgadas para o estudo petrográfico. A análise textural abrangeu exame microscópico e interpretação das feições texturais e das transformações tardi a pós -magmáticas (conforme Dall’Agnol 1982, Gastal 1987, Oliveira 2001). Foram realizadas análises modais em amostras representativas das diferentes fácies identificadas no maciço, utilizando para tanto, um contador eletrônico de pontos, da marca *Swift*, onde foram contados em média 1500 pontos para cada amostra, com exceção das rochas de granulação grossa e texturas porfiríticas que, devido à pouca representatividade da seção da lâmina delgada, se optou por realizar uma contagem de pontos em superfície planas polidas de amostras de mão utilizando uma malha com espaçamento de 2 mm. Nessa análise modal preliminar foram definidas as proporções de fenocristais e matriz e os conteúdos de feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e máficos em seções de 25 a 100 cm². A distinção dos feldspatos foi bastante facilitada pela diferença de cor apresentada pelos mesmos (feldspatos alcalinos róseos a avermelhados e plagioclásios brancos ou cinza claro). A composição da matriz foi definida através de análises modais convencionais no microscópio ótico. As composições foram obtidas através de uma média ponderada das análises em seção macroscópica e em lâmina, levando em conta a proporção de fenocristais e matriz da rocha analisada. As composições modais foram posteriormente plotadas no diagrama QAP (Streckeisen 1976, Le Maitre 2002) para classificar as rochas estudadas, conforme estabelecido pela IUGS.

Após a classificação das amostras e da definição das fácies do pluton, as primeiras foram lançadas no mapa geológico, de modo a definir a distribuição das suas fácies.

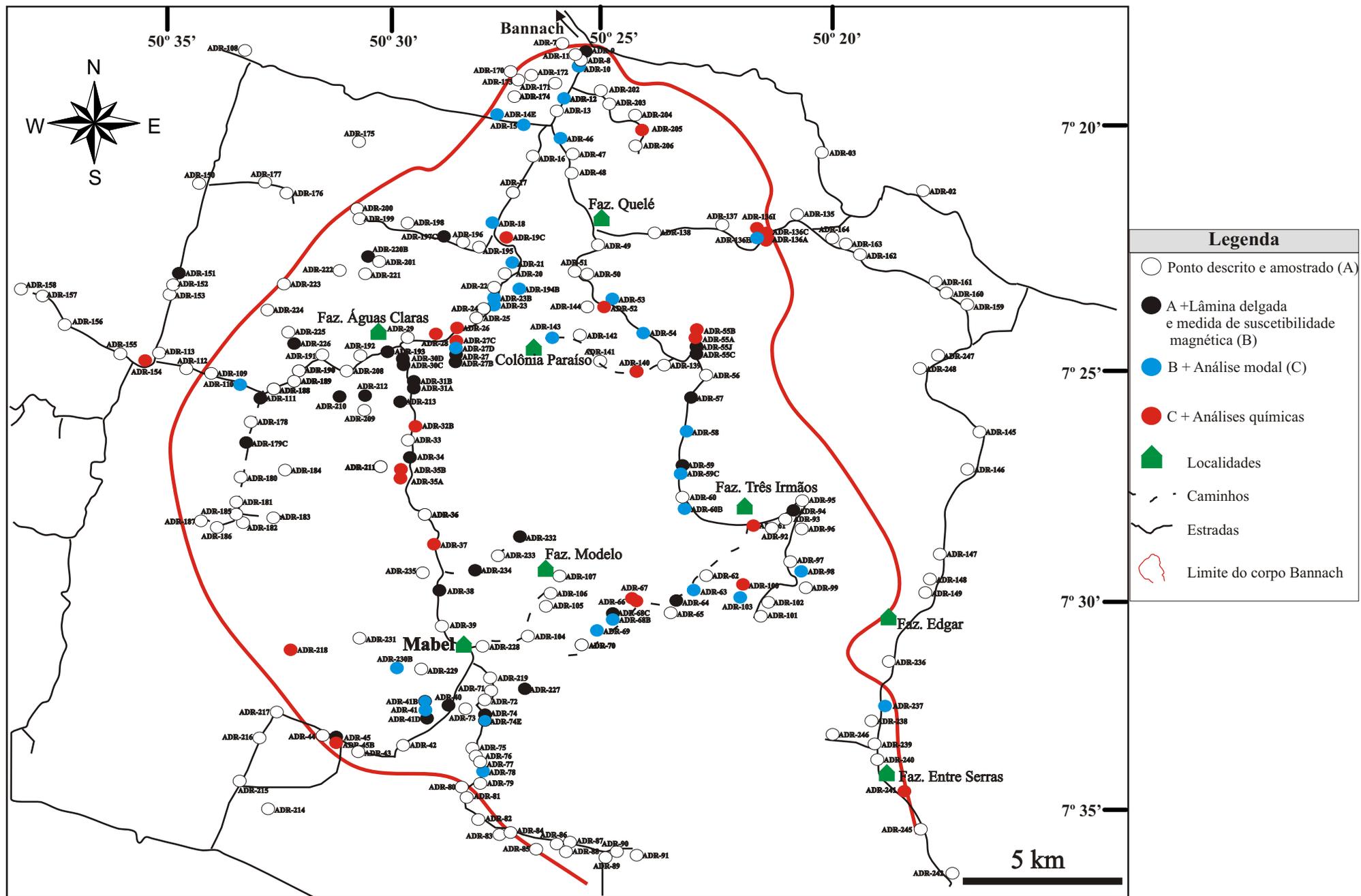


Figura 1.3 - Mapa de localização das amostras

1.6.4 – Geoquímica

Com base na etapa anterior, foram selecionadas 24 amostras representativas das diferentes fácies do Granito Bannach para análises químicas. A preparação das amostras foi feita nos Laboratório de Geologia Isotópica (Pará -Iso) e na Oficina de Preparação de Amostras (OPA), ambos pertencentes ao Centro de Geociências (UFPA). Nesta fase as amostras foram trituradas, pulverizadas e quarteadas, visando obter uma boa representatividade do material. Em seguida as amostras foram enviadas para a empresa ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTDA para análise química em rocha total, sendo que as análises de FeO dessas amostras foram feitas no Laboratório de Análises Químicas do Centro de Geociências (UFPA) pelo químico Natalino Valente Siqueira. A caracterização do quimismo das rochas analisadas foi baseada nos procedimentos indicados em Ragland (1989) e Rolinson (1993) e fundamentou-se na avaliação do comportamento dos elementos maiores, menores e traço, através de diagramas de variação clássicos e vários diagramas propostos na literatura (Shand 1951, La Roche et al. 1980, Whalen et al. 1987, Debon & Le Fort 1988), com o objetivo de definir a série magmática e a tipologia do granito. A avaliação dos processos responsáveis pela evolução magmática foi feita com base no comportamento geoquímico dos elementos *LILE* (Rb, Sr, Ba) e *HFSE* (Zr, Nb e Y), bem como nas assinaturas e variações de elementos terras raras (Henderson 1984, Rollinson 1993).

1.6.5 - Suscetibilidade Magnética

O estudo de suscetibilidade magnética do Granito Bannach foi realizado pela bolsista de iniciação científica Fabriciana Vieira Guimarães, sob a orientação do autor e do orientador da presente dissertação.

As medidas de SM foram realizadas no laboratório de Petrologia Magnética do Centro de Geociências da UFPA, empregando-se o suscetibilímetro SI-1, fabricado pela *SAPHIRE INSTRUMENTS*, que permite medidas em materiais com SM variando de 1×10^{-6} a > 1 cgs -emu. O tratamento dos dados foi realizado com o programa “*Statgraphics*” versão 5.0, através da elaboração de diagramas de probabilidade e histogramas de frequência.

Os parâmetros utilizados para a realização das medidas de SM, para proporcionar uma melhor confiabilidade dos dados, foram: tempo (T) = 4s; número de repetições (N) = 2; volume (V) = 64,2; fator de calibração (CF) = 21,2 e unidade (U) = SIv. A metodologia empregada é descrita em maior detalhe por Magalhães (1991) e Figueiredo (1999).

CAPÍTULO 2 – GEOLOGIA DO GRANITO BANNACH

2.1 – TRABALHOS ANTERIORES

Os trabalhos de prospecção mineral executados pela empresa Rio Doce Geologia e Mineração (DOCEGEO 1988, Huhn et al. 1988) no Terreno Granito -*Greenstone* de Rio Maria, com destaque para os realizados nas áreas de Lagoa Seca, Identidade e Pedra Preta, e o mapeamento geológico (escala 1:250.000) da Folha Xinguará efetuado pela CPRM (2000), forneceram importantes resultados acerca da descrição da geologia da região de Bannach e levaram à individualização das principais unidades nela existentes, assim como da sua distribuição espacial aproximada. Porém, em função dos objetivos propostos e das escalas contrastantes de mapeamento, função do maior ou menor interesse econômico das diferentes áreas, os limites geológicos entre as unidades nem sempre foram definidos com total precisão, como no caso do Granito Bannach.

O único trabalho que descreve as características gerais do Granito Bannach foi realizado por Duarte (1992). Tais autores consideram o corpo como sendo anorogênico, em função do caráter isotrópico, relações de contato com as unidades arqueanas e as similaridades com os Granitos Musa (Gastal 1987) e Jamon (Dall’Agnol 1982). Apesar do reconhecimento ter sido realizado apenas na porção sudeste do corpo, os mesmos conseguiram identificar duas variedades petrográficas texturalmente distintas: um monzogranito grosso de coloração rosada e, subordinadamente, rochas micrograníticas equigranulares.

2.2 - CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO.

O Granito Bannach possui dimensões batolíticas, com área aproximada de 800 km² e forma elíptica (Figura 2.1), com eixos medindo 40 e 20 km, sendo que o eixo maior está orientado segundo a direção NNW. Ele é intrusivo em diversas unidades arqueanas presentes na região, seccionando claramente a foliação regional E -W, marcante nessas rochas. São comuns na zona de contato *enclaves* das encaixantes englobadas pelo Granito Bannach. Dentre as rochas arqueanas encaixantes do corpo, destacam-se granitóides do tipo TTG, formados quase que exclusivamente por tonalitos e/ou trondhjemitos. Tais rochas não foram datadas e seu posicionamento e correlação estratigráfica ainda não se encontra inteiramente definido. Os TTGs

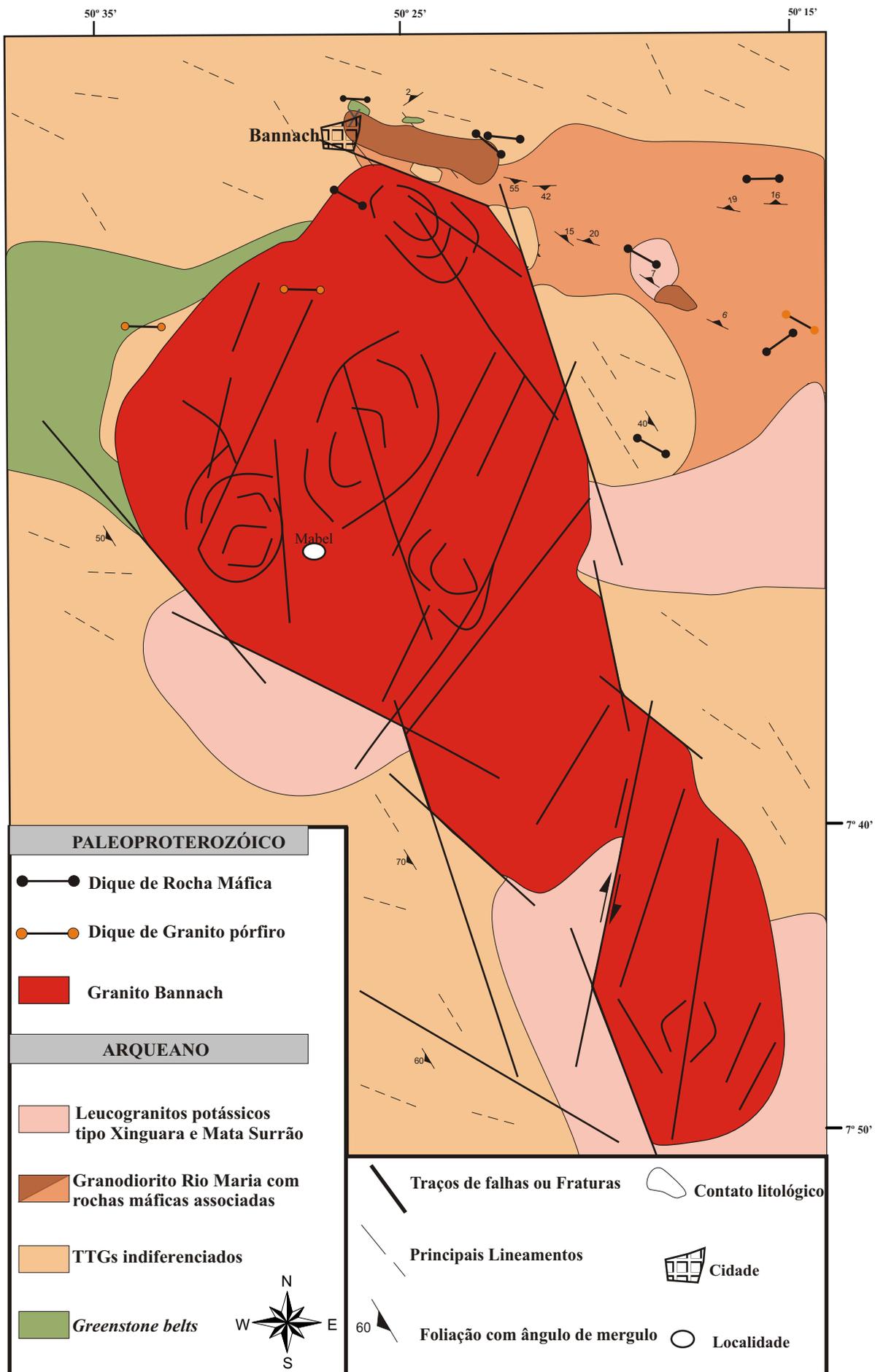


Figura 2.1 - Mapa geológico simplificado da área de ocorrência do Granito Bannach.

presentes a N e NE do corpo representariam possivelmente extensões para sul do Trondhjemitito Mogno (cf. CPRM 2000), ao passo que aqueles situados nos quadrantes SE e SW da área mapeada pertenceriam mais provavelmente ao Tonalito Arco Verde (cf. Duarte 1992, CPRM 2000), mas isso precisa ser confirmado através de estudos mais detalhados. Parte do contato NW do corpo é feito com seqüências de *greenstone-belts* (GSB) correlacionados ao Supergrupo Andorinhas. A N e NE, o Granito Bannach secciona o Granodiorito Rio Maria (GDrm) e rochas máficas associadas (Oliveira 2005). Finalmente nas porções centro -leste, centro-oeste e sul da área, o Granito Bannach é intrusivo em leucogranitos potássicos (LGP) arqueanos, similares petrograficamente e em termos de feições de campo aos granitos Xinguara (Leite 2001) e Mata Surrão (Duarte 1992).

O mapeamento nas rochas encaixantes arqueanas foi muito restrito e nenhum estudo petrográfico microscópico foi efetuado nas mesmas, por não constarem entre os objetivos do presente trabalho. Cabe destacar, entretanto, que um estudo detalhado do Granodiorito Rio Maria e rochas máficas associadas foi realizado paralelamente por outro pesquisador do GPPG (Oliveira 2005), tendo o presente autor acesso a tais informações. A delimitação das ocorrências de GSB foi facilitada pelo seu contraste litológico em relação aos granitóides expostos na região. Os LGP arqueanos, embora historicamente tenham sido confundidos com os granitos anorogênicos, podem ser distinguidos dos mesmos através das suas feições deformacionais e aspectos macroscópicos. O grande problema para um estudo de reconhecimento dos granitóides arqueanos da região de Bannach, que necessita de estudos mais refinados, para ser superado, reside na separação entre os granitóides TTGs. Os trondhjemitos Mogno e Água Fria e os tonalitos Arco Verde e Caracol apresentam rochas muito similares em termos composicionais embora com dominância de trondhjemitos ou de tonalitos, respectivamente (Althoff et al. 2000, Leite 2001). Em função disso, optou -se por adotar neste estágio a designação de TTGs indiferenciados para tais granitóides. Aqueles que ocorrem a norte e nordeste da área podem pertencer ao Trondhjemitito Mogno (CPRM 2000), e aqueles a SE e SW ao Tonalito Arco Verde (Duarte 1992, CPRM 2000).

Os contatos entre o corpo Bannach e suas encaixantes são facilmente reconhecidos em imagens de radar (Figura 2.2) e de fácil delimitação no campo (Figura 2.3), sendo em geral, bruscos e bem expostos (Figura 2.4). Os padrões geomorfológicos contrastantes do maciço graní-



Figura 2.2- Imagem de radar, mostrando uma visão geral do Granito Bannach, que se distingue de suas rochas encaixantes pelo relevo mais expressivo e pelas cristas alinhadas na direção NE-SW e por apresentar fraturamento intenso. Notar a presença de estruturas circulares no interior do corpo, destacadas em ampliações da imagem.



Figura 2.3- Contato sudeste do Granito Bannach (GBan) com granitóide TTG, possivelmente pertencente ao Tonalito Arco Verde (TAV). Embora não fique claro na imagem, há uma diferença marcante de coloração entre os blocos do granito Bannach (à esquerda) e os dos granitóides TTG (à direita).



Figura 2.4- Relação de contato a NW do corpo entre o Granito Bannach e um granitóide TTG indiferenciado. Notar o contato brusco entre as duas unidades e veios de microgranito cortando tanto a fácies ABMzG, quanto à sua encaixante.



Figura 2.5- Vista panorâmica a sudeste, mostrando a forma de relevo do corpo Bannach e suas rochas encaixantes. O morrote em primeiro plano é formado por TTGs, possivelmente relacionados ao Tonalito Arco Verde, e as serras alinhadas ao fundo constituem o domínio do corpo Bannach.

tico e de suas encaixantes também contribuem para individualizar seus domínios (Figura 2.5). Os morros que compõem o corpo Bannach são geralmente alinhados com altitudes que variam em média de 600 a 700m, apresentando encostas íngremes e sendo geralmente formados por grandes blocos de coloração rosada, ao passo que aqueles que constituem as rochas encaixantes possuem menores elevações, formando desde pequenos morros (com altitudes de 300 a 400 metros), até morrotes com encostas suaves onde encontra m-se matações de coloração que variam desde cinza esverdeado (no caso do GDrm) até esbranquiçado (nos domínios dos LGP e dos TTGs).

Nas proximidades do corpo granítico, os granitóides arqueanos (GDrm e LGP) e as rochas TTGs encaixantes apresentam-se freqüentemente fraturados e por vezes penetrados por veios micrograníticos (Figura 2.4) que dispõem-se sub-paralelamente ou radialmente ao contato do corpo granítico, ou não mostram nenhuma disposição particular em relação ao corpo granítico. São comuns também veios feldspáticos mostrando feições pegmatíticas.

Observa-se ainda que as rochas encaixantes, em particular o GDrm, têm suas características texturais e mineralógicas modificadas à medida que se aproximam da zona de contato com a intrusão granítica. Isso também foi verificado nas zonas de contato dos granitos Musa e Jamon (Soares 1996).

Enclaves de diferentes granitóides, com forma variando desde angulosa até ligeiramente arredondada, ocorrem em praticamente todos os contatos do corpo Bannach, situando -se, porém, na borda sudeste o local de melhor exposição dos mesmos. Observou -se aí um enclave anguloso, com forma pentagonal e aproximadamente 90 cm de altura (Afloramento ADR-237; Figura 2.6a), constituído por um granitóide TTG cinza esverdeado, o qual seria mais provavelmente relacionado ao Tonalito Arco Verde. A forma angulosa dos xenólitos, a presença comum de foliação, o contato brusco entre o corpo Bannach e suas encaixantes, a ausência de orientação planar dos enclaves e de foliações e lineações no corpo granítico, indicam a existência de alto contraste de viscosidade e temperatura entre a intrusão granítica e as suas encaixantes (Pitcher & Berger 1972, Marre 1982). Isso sugere que a colocação do granito se deu quando o magma dispunha de uma fração líquida significativa, estando, portanto, em estado físico e térmico distinto daqueles das suas encaixantes, que estavam inteiramente cristalizadas e submetidas a menores temperaturas.



Figura 2.6 - Enclaves no Granito Bannach: a) Enclave anguloso de granitóide TTG englobado pelo Granito Bannach. Notar o contato brusco e retilíneo entre as duas unidades, revelando alto contraste de viscosidade entre as mesmas; b) Enclave arredondado de rocha máfica no granito, com evidência localizada de assimilação pelo mesmo; c) Enclave máfico parcialmente reabsorvido pelo Granito Bannach e d) Enclave arredondado sugerindo tratar-se de um autólito parcialmente assimilado pelo granito, mostrando forte interação com o magma Bannach.

Enclaves arredondados ou ligeiramente lenticulares são menos frequentes que os angulosos e de modo geral possuem composições básicas e dimensões que variam desde 5 até 30 cm (Figura 2.6b). Alguns mostram feições de corrosão e contornos difusos com o granito, sendo perceptível graus de interação entre os mesmos que variam desde parcial (Figura 2.6c) até muito acentuado (Figura 2.6d), indicando diferentes contrastes de viscosidade e temperatura com o magma granítico. Os exemplos mostrados nas figuras 2.6c,d situam -se no interior do corpo e são interpretados como autólitos.

Diques de granito pórfiro (Afloramento 197 e 151) e de rochas máficas (Afloramento 174) de orientação E -W, seccionam tanto o corpo Bannach como suas encaixantes. Silva Jr. (1996) mostraram que diques de composições ácidas até básicas cortam indistintamente as diferentes unidades arqueanas e, localmente, alguns corpos graníticos anorogênicos da região de Rio Maria. Dados geocronológicos demonstraram que estes diques formaram-se no final do Paleoproterozóico, sendo aproximadamente sincrônicos ao magmatismo anorogênico que ocorre na Amazônia Oriental (Dall’Agnol et al. 2002, 2005). Os diques félsicos, assim como os granitos anorogênicos, têm sido correlacionados aos granitos das séries rapakivíticas, entre os quais, particularmente na Finlândia, têm sido descritos muitos exemplos de diques máficos e félsicos contemporâneos ao magmatismo granítico (Rämö 1991, Rämö & Haapala 1995).

Em imagens de satélite e de radar, os limites da porção sul do corpo são ora bem definidos, ora mostram padrões poucos característicos, que dificultaram a sua delimitação. As dificuldades de acesso nesta região não permitiram uma amostragem adequada no conjunto da área que levasse a uma separação definitiva dos domínios das rochas encaixantes e do granito.

No entanto, o reconhecimento geológico efetuado na parte sul do corpo possibilitou estender sem nenhuma dúvida os domínios do Granito Bannach para esta área. A forma geral definida para o batólito Bannach (Figura 2.18) é fortemente sugestiva de que o mesmo é formado por várias intrusões coalescentes, podendo-se supor a existência de um centro magmático principal na porção norte do corpo, outro na sua porção centro -sul e, finalmente, um terceiro na porção SE e S do corpo. A disposição do corpo lembra muito àquela mostrada pelos complexos anelares anorogênico da Nigéria (Bowden & Kinnaird 1984) particularmente a do complexo granítico Sara-Fier (Turner 1963). Uma análise comparativa mais detalhada foi dificultada devido à amostragem limitada em função do difícil acesso na parte sul. Em função da provável não

vinculação em termos de evolução magmática entre a parte norte e sul do corpo o estudo do Granito Bannach se concentrou mais na porção norte do corpo.

2.3 - FACIOLOGIA DO CORPO E MAPA GEOLÓGICO.

O maciço granítico Bannach é formado essencialmente por rochas monzograníticas isotrópicas, que exibem variações mineralógicas que permitiram distinguir cinco grandes variedades petrográficas principais: granito cumulático (GC), biotita-anfibólio-monzogranito (BAMz), anfibólio-biotita-monzogranito (ABMz), biotita-monzogranito (BMz) e leucomonzogranitos (LMz). As fácies portadoras de anfibólio + biotita \pm clinopiroxênio (GC, BAMzG e ABMzG) possuem pouca variação textural, tendo toda granulação grossa francamente dominante. No entanto, as rochas pertencentes à fácies BAMzG apresentam por vezes um aspecto textural distinto, revelando presença significativa de matriz e assumindo caráter porfírico. Os biotita-monzogranitos (BMz) exibem aspecto predominantemente porfírico (BMzP), ao passo que os leucomonzogranitos mostram ampla variação textural, sendo caracterizados como equigranulares de granulação grossa (LMzG), média (LMzM) e fina (LMzF). Variações texturais também são notadas em rochas da fácies LMzF, que apresentam fenocristais esparsos de feldspatos, adquirindo um caráter porfírico, podendo ser confundidas com as da fácies BMzP. Devido à ocorrência muito localizada dessas rochas, foi impossível sua individualização em mapa, sendo apresentadas conjuntamente com as fácies leucograníticas. Em função de diferenças composicionais e modos de ocorrência é possível distinguir dois tipos de LMzM: a) leucomonzogranitos equigranulares médios precoces (LMzMp), os quais são enclaves nos ABMzG; b) leucomonzogranitos equigranulares médios tardios (LMzMt), de ocorrência expressiva nas porções centrais do corpo Bannach.

O mapa faciológico do Granito Bannach (Figura 2.7) mostra que as fácies com maior conteúdo de minerais máficos, em particular aquelas que contêm quantidades modais significativas de anfibólio \pm clinopiroxênio (GC e BAMzG), tendem a se concentrar de um modo geral nas bordas do corpo. A fácies ABMzG é a que possui maior distribuição espacial, ocorrendo, em geral, desde as proximidades das bordas até a porção central do corpo. Essas rochas, juntamente com os LMzG (estes ocorrendo na porção centro-oeste do granito), afloram

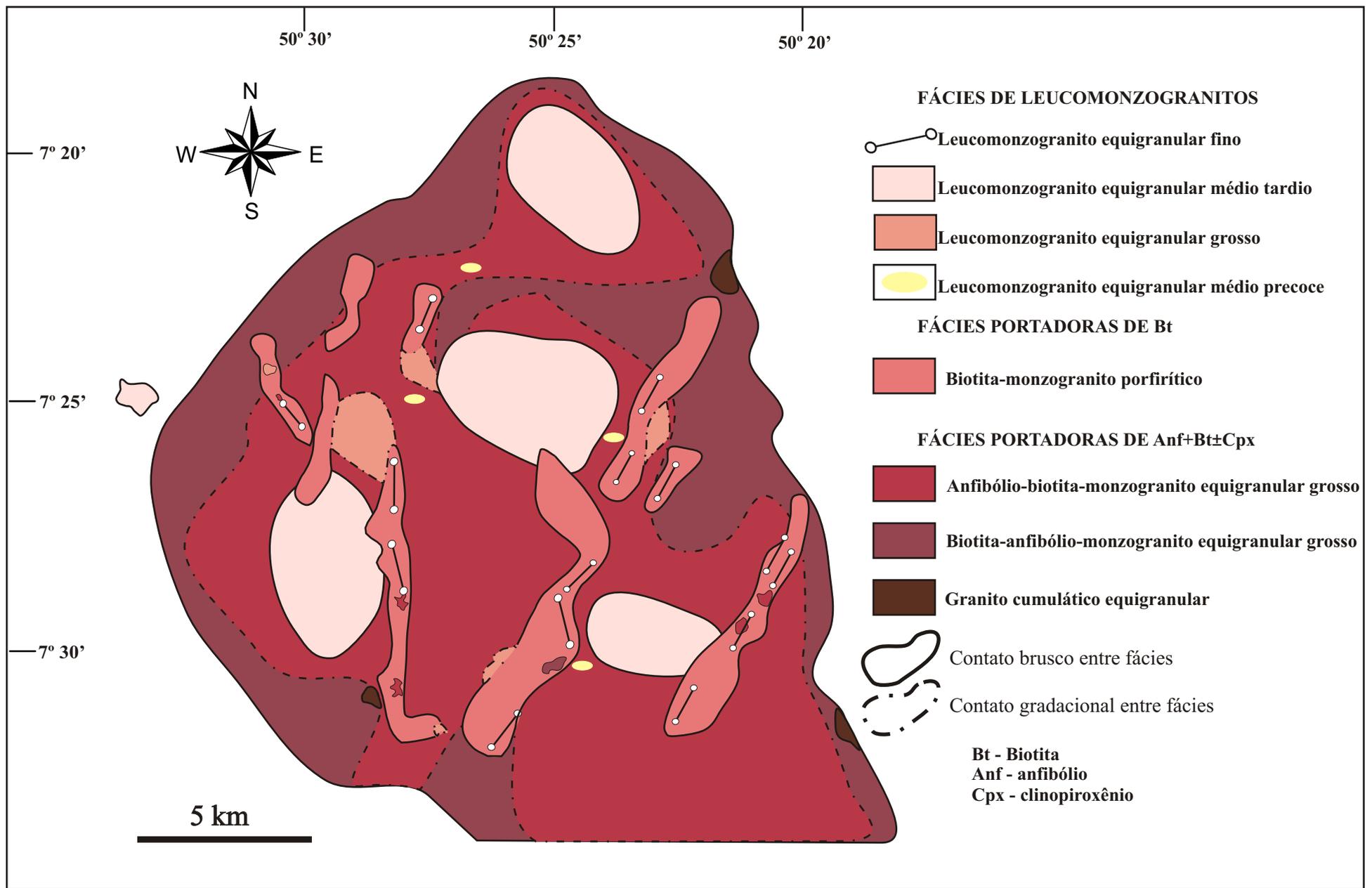


Figura 2.7- Mapa Faciológico da porção norte do corpo Bannach.

nas zonas de menor relevo junto aos principais morros que dominam a parte central do corpo. Os LMzMt possuem quatro domínios bem definidos, que tendem a se situar nas porções mais centrais do corpo. Os BMzP e LMzF distribuem-se preferencialmente ao longo de morros alinhados nas direções NE-SW e NS presentes no interior do corpo. No entanto, tais fácies ocorrem também ao longo de todo corpo, associadas de modo subordinado com as demais fácies.

A distribuição espacial das diversas fácies do corpo Bannach mostrada na figura 2.7 sugere a existência de um zoneamento composicional, com a diminuição gradativa das fases ferromagnesianas no sentido da borda para o centro do corpo. Essa observação será tomada como base para as discussões que seguem.

A integração dos dados de imagens de sensoriamento remoto (RADAR; BANDA 4) e de aerolevante geofísico radiométrico possibilitou estabelecer padrões para o corpo Bannach, diferenciando-o das suas encaixantes. Ela também contribuiu fortemente para separar domínios do corpo com fácies mais e menos radiométricas, que se comprovou corresponderem, respectivamente, às fácies mais e menos evoluídas..

A análise de contagem total (Figura 2.8b) revela respostas radiométricas relativamente altas nas porções centro-oeste e centro-norte do corpo, ao passo que os valores mais baixos estão relacionados com as porções de borda. Isso é coerente com a distribuição faciológica do Granito Bannach, uma vez que as rochas localizadas no centro (LMzMt) são mais evoluídas e tendem a possuir razões K_2O/Na_2O e conteúdos de U e Th mais altos do que os daquelas localizadas na periferia do corpo (GC e BAMzG). Em função do relativo enriquecimento em K, U e Th da fácies LMzMt em relação às demais variedades do pluton, o seu comportamento radiométrico é nitidamente distintivo. Há, ainda, altos radiométricos nos domínios das encaixantes que coincidem com as áreas de ocorrência de leucogranitos potássicos tipo Mata Surrão.

Existe uma relativa correspondência entre a geomorfologia do corpo com as respostas radiométricas. Em áreas de relevo mais arrasado (borda oeste), os níveis radiométricos são comparativamente menos elevados do que em regiões de relevo mais acidentados. Conclui-se que os contrastes radiométricos existentes estão intimamente ligados com as diferenças composicionais das fácies, as quais condicionam também de um modo geral, a forma de relevo interno do Corpo Bannach e a geomorfologia de suas fácies.

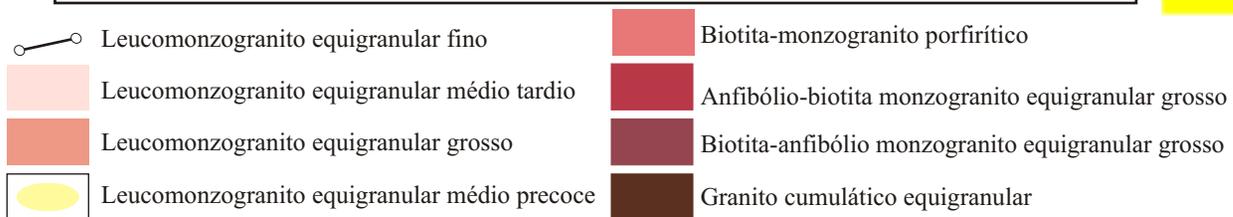
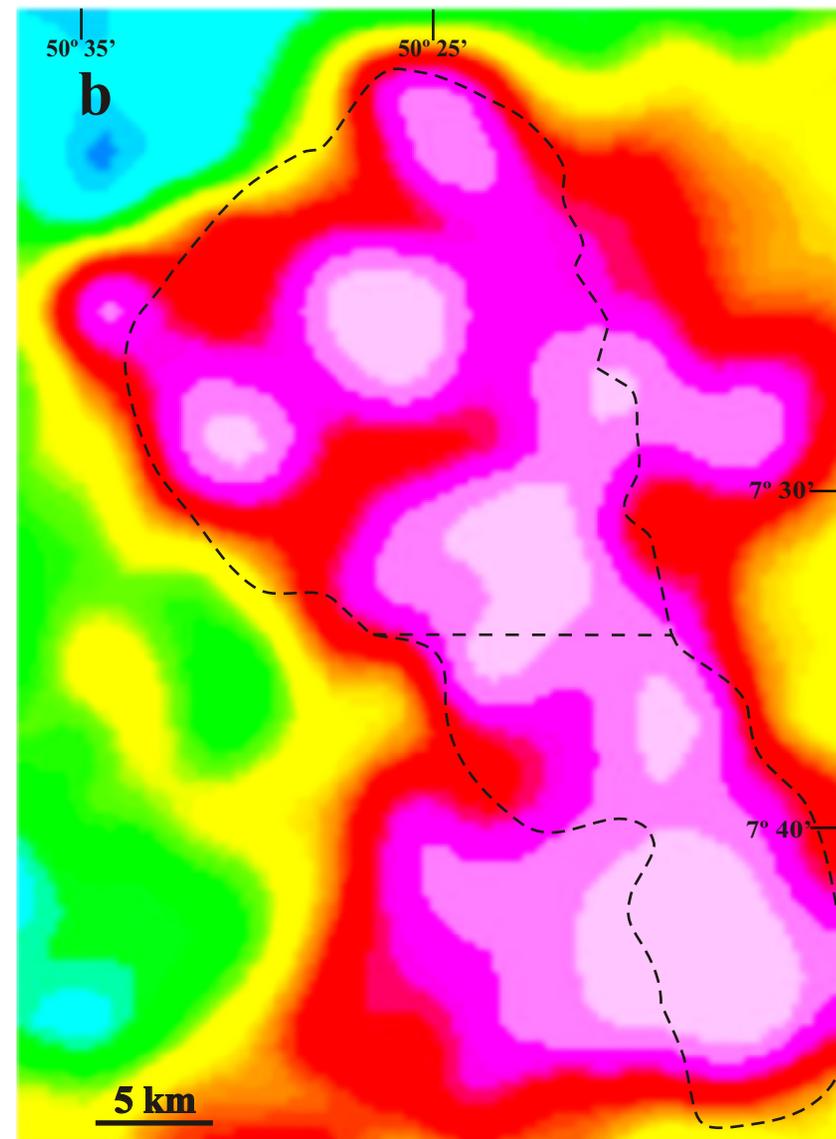
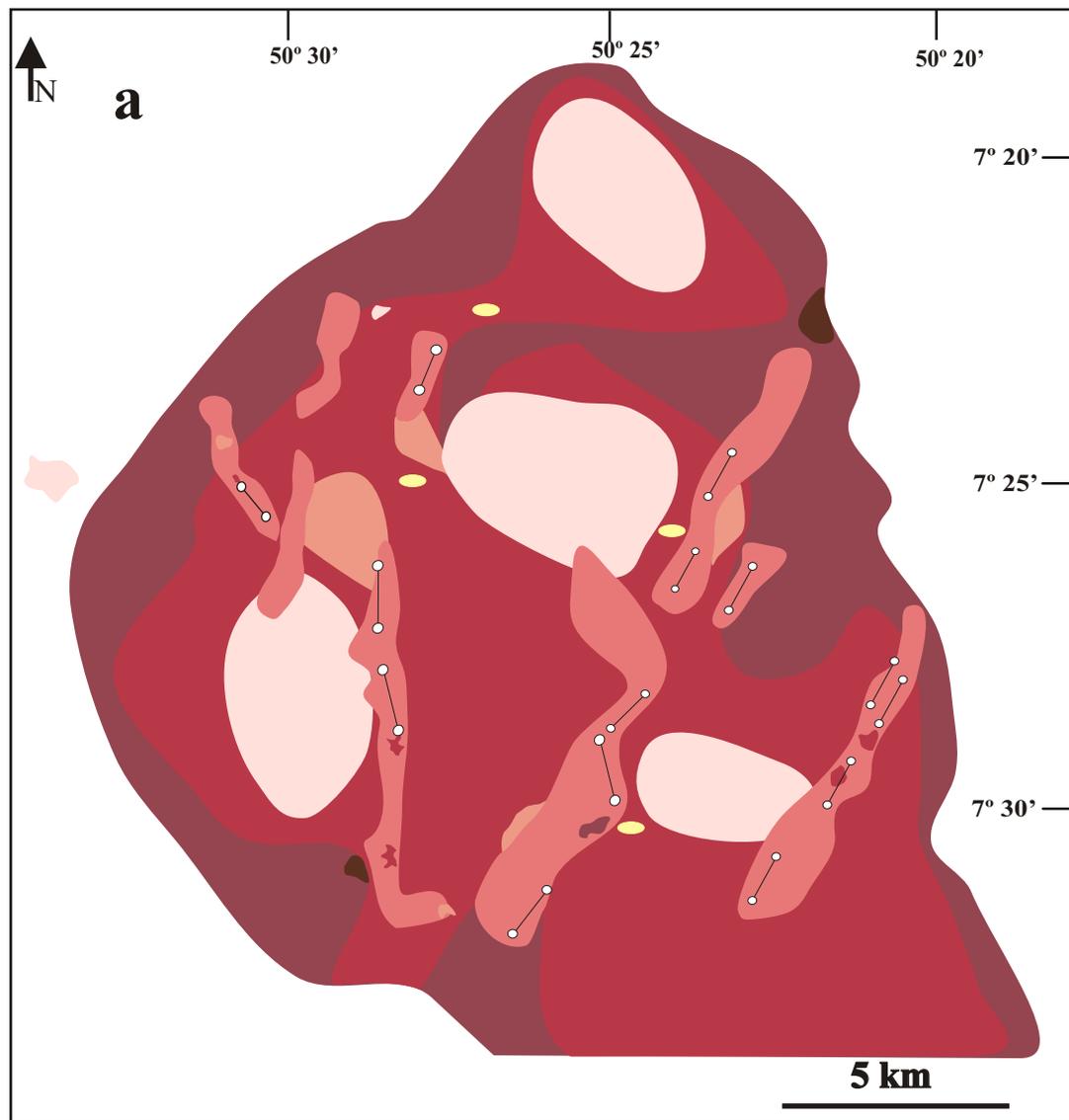


Figura 2.8 - a) Mapa de fácies do Granito Bannach; b) Imagem aeroradiométrica de contagem total. Notar o acentuado contraste radiométrico entre o corpo Bannach e as suas encaixantes arqueanas e a coincidência entre os maiores valores radiométricos e as áreas de ocorrência da fácies Leucomonzogranito equigranular médio tardio.

2.3.1- Geomorfologia e principais lineamentos estruturais do corpo Bannach

A Figura 2.9 mostra o contraste topográfico entre o Granito Bannach e suas rochas encaixantes. Nota-se que as maiores elevações estão relacionados ao corpo granítico e que os TTGs, LGP e GSB que ocorrem na porção W e NE da área mapeada mostram cotas topográficas entre 340 a 480 m, assim como as rochas máficas associadas ao GDrm. Este último e o TAV correspondem às áreas de menor relevo a NE e ESE.

Internamente no corpo, as rochas de granulação grossa (BAMzG, ABMzG e LMzG) são as de maior expressão areal do granito e, independente das proporções das fases máficas, ocorrem de modo francamente dominante nas porções de baixo relevo do corpo com cotas que variam entre 300 e 450 metros (Figuras 2.2, 2.9 e 2.10a). Localmente atingem cotas em torno de 500 metros, ocorrendo em serras de encostas suaves e na base de serras com encosta íngremes (as quais são geralmente sustentadas pelas fácies BMzP e LMzF). Essas rochas afloram geralmente sob forma de blocos dispersos de coloração rosada e pequenos lajedos (Figura 2.10b).

O relevo acidentado do maciço é formado por dois padrões geomorfológicos: a) morros constituídos essencialmente por LMzMt, apresentando formas arqueadas e escarpas íngremes com altitudes que variam entre 600 até 650 m. Ocorrem no centro do corpo e mostram padrões concêntricos, formando anfiteatros (Figura 2.10c e 2.11) nos quais afloram agregados de numerosos matacões; b) Morros constituídos de LMzF e BMzP fortemente orientados na direção NE-SW e subordinadamente NW -SE com cotas que alcançam 700 m (Figura 2.12). Originam o relevo de maior expressão no corpo Bannach, apresentando encostas íngremes onde afloram blocos de coloração rosada (Figura 2.10b). Na parte norte do plutón, tais morros são interpretados como sendo relacionados a corpos tardios alinhados, os quais seccionam as demais variedades do maciço. (Figura 2.7).

É comum a ocorrência de diques aplíticos ao longo de todo o corpo, geralmente de direções N80°E e N20°E, e espessura média de 30 cm. Eles são constituídos pela fácies LMzF e cortam preferencialmente as rochas de granulação grossa (Figura 2.13a).

O maciço apresenta dois lineamentos estruturais principais com direções NE -SW e NW -SE, que afetam tanto as variedades do corpo como suas encaixantes. É marcante a presença de vales, encaixados muito provavelmente em falhas e fraturas rúpteis, orientadas segundo a direção NE (Figura 2.13b). São comuns, também, nas imediações das regiões onde ocorrem falhamentos,

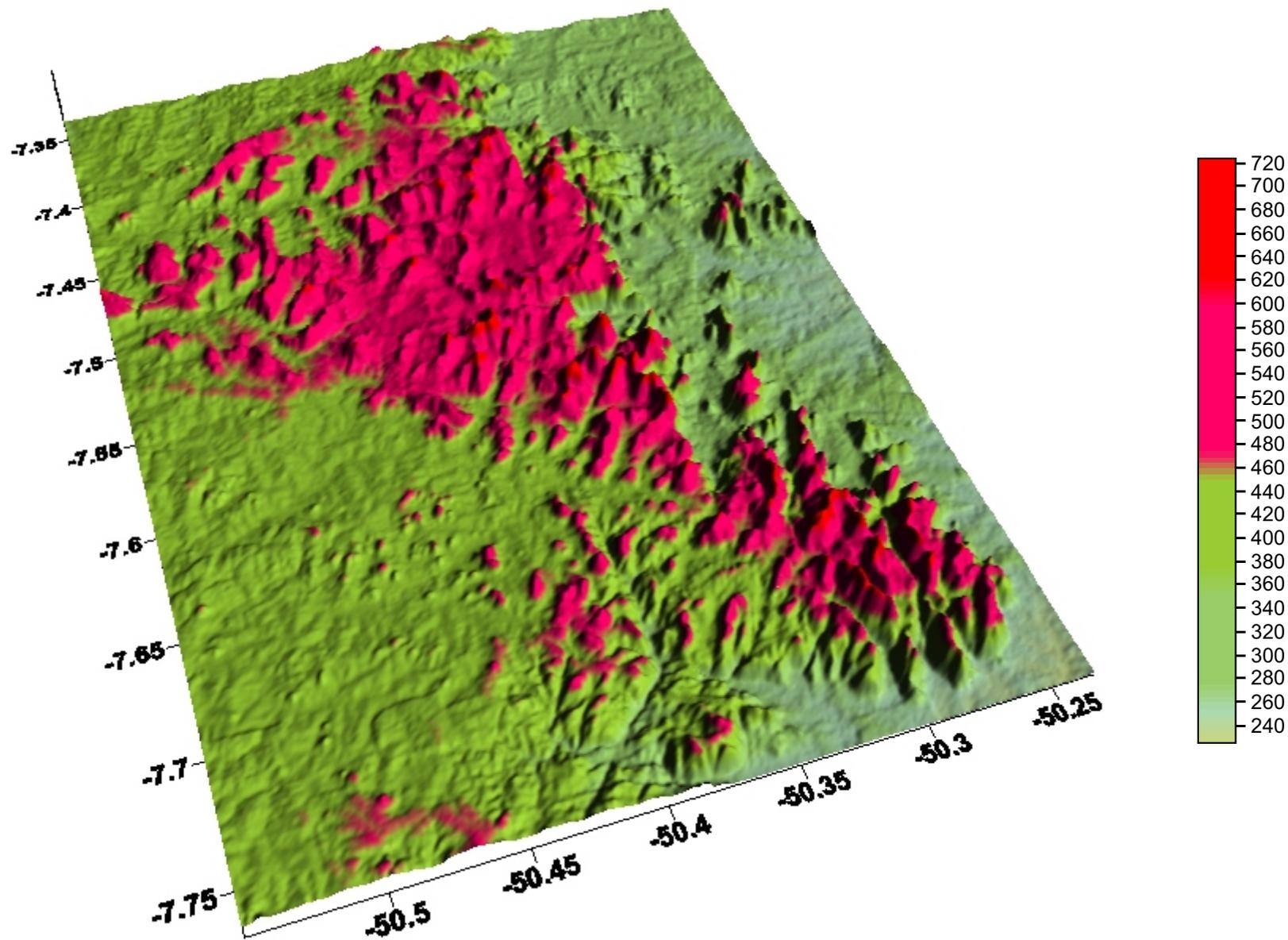


Figura 2.9 - Imagem SRTM (Shutter Radar Topography Mission-NASA) mostrando em 3 dimensões a região de Bannach. Notar que as maiores elevações estão relacionadas com o corpo Bannach e as menores com suas encaixantes



Figura 2.10 - Padrões geomorfológicos das diversas variedades do Granito Bannach: a) Visão panorâmica das porções arrasadas constituídas por rochas de granulação grossa do Granito Bannach; b) Serra alinhada com orientação N50E formada por rochas porfiríticas (BMzP); c) Visão panorâmica de uma das estruturas circulares formadas por LMzMt, a porção arrasada compreende o centro da estrutura e a serra ao fundo possui forma circular.

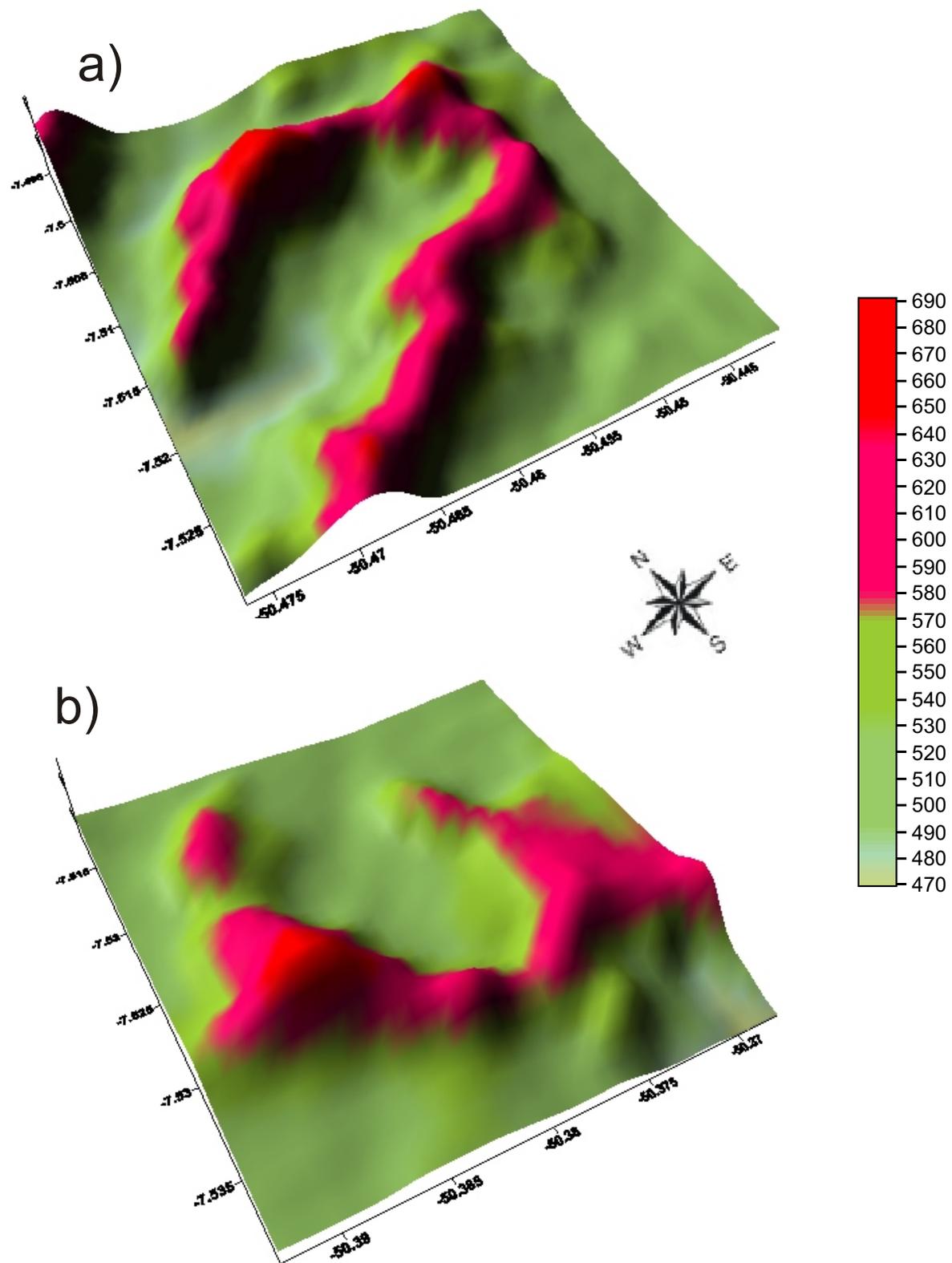


Figura 2.11 - Imagem em 3 dimensões de estruturas concêntricas em forma de anfiteatro que ocorrem a) na porção oeste e b) no centro do corpo.

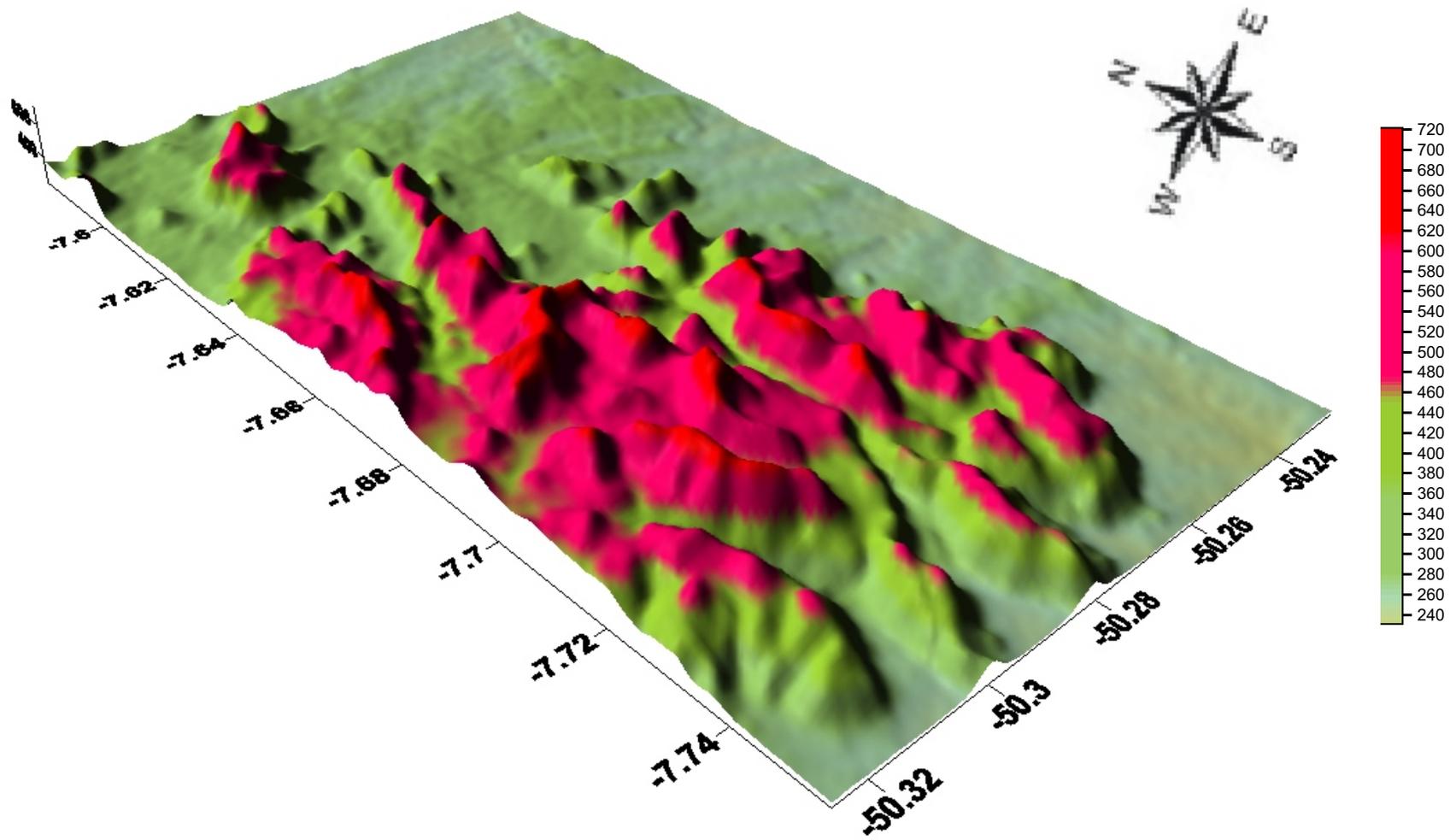


Figura 2.12 - Imagem em 3 dimensões de morros alinhados na direção NE-SW na porção sul do Granito Bannach.



Figura 2.13 - a) Diques aplíticos com direções N20°E e N80°E seccionando o LMzG; b) Vale encaixado muito provavelmente em falha ou fratura; c) Dique de LMzF com direção N45°E cortando a fácies ABMzG; d) Ocorrência de zonas silicificadas orientadas paralelamente aos principais lineamentos.

diques de microgranito (Figura 2.13c) e zonas silicificadas (Figura 2.13d), geralmente alinhadas subparalelamente a estes lineamentos.

Costa et al (1990, 1995) sugerem que os *trends* da estruturação regional da PMC são devidos a movimentos extensionais, os quais geraram falhamentos normais orientados segundo NE-SW e NW-SE e afetaram coberturas vulcânicas e sedimentares e granitos anorogênicos. Tal observação é consistente com os padrões principais de fraturamento observados no corpo Bannach.

Em porções centrais do corpo observam-se diversas feições de relevo que sugerem a presença de fraturas anelares, as quais correspondem a morros constituídos por LMzMt. No relatório da cartografia geológica da folha Xinguara (SB.22 -Z-C) do Programa de Levantamentos Geológicos do Brasil CPRM (2000) chamou a atenção para o padrão estrutural do Granito Bannach, destacando a presença dessas feições anelares.

Não se observam no corpo vestígios de foliação ou lineação de caráter regional ou ligadas à sua colocação, o que confirma a característica isotrópica do maciço.

2.4 - RELAÇÕES ENTRE AS FÁCIES DO GRANITO BANNACH.

Os GC são de ocorrência localizada, sendo encontrados em áreas arrasadas fazendo contatos bruscos com os ABMzG (Figura 2.14a) ou LMzG (Figura 2.14b). Eles ocorrem como enclaves (autólitos) arredondados no interior dos ABMzG (Figura 2.14c) ou cortados por rochas mais evoluídas. Os BAMzG ocupam em geral regiões com relevo dissecado e estão associados preferencialmente com o ABMzG e em porções muito localizadas no corpo com os BMzP e LMzF. Ocorrem geralmente como enclaves nessas duas últimas, os quais se apresentam ora fracamente (Figura 2.15a) ora fortemente (Figura 2.15b) reabsovidos, sugerindo graus variáveis de interação com os líquidos formadores dessas fácies tardias. A fácies ABMzG é cortada por diques de LMzF e ocorre como enclaves com contornos difusos ou interdigitados englobados por essas rochas (Figura 2.15c). Isso sugere a atuação localizada de processos de *mingling* envolvendo os líquidos formadores dessas duas fácies, o que implica baixo contraste térmico e de viscosidade entre ambas, em certos locais do corpo, ao passo que em outros esse contraste seria mais acentuado. Tais variações são comuns em corpos graníticos (Marre 1986).



Figura 2.14 - Relações de contatos entre as fácies de granulação grossa: Contato brusco entre rocha cumulática e as fácies a) ABMzG e b) LMzG, sugerindo contraste de viscosidade expressivo entre as mesmas; c) Enclave arredondado da rocha cumulática englobada por ABMzG; d) Contato gradacional e sinuoso entre as fácies BAMzG, ABMzG e LMzG. Notar que o conteúdo de minerais máficos diminui no sentido BAMzG — ABMzG — LMzG e a notável concentração de fenocristais ovalados de feldspato potássico com textura rapakivi no contato ABMzG-LMzG.

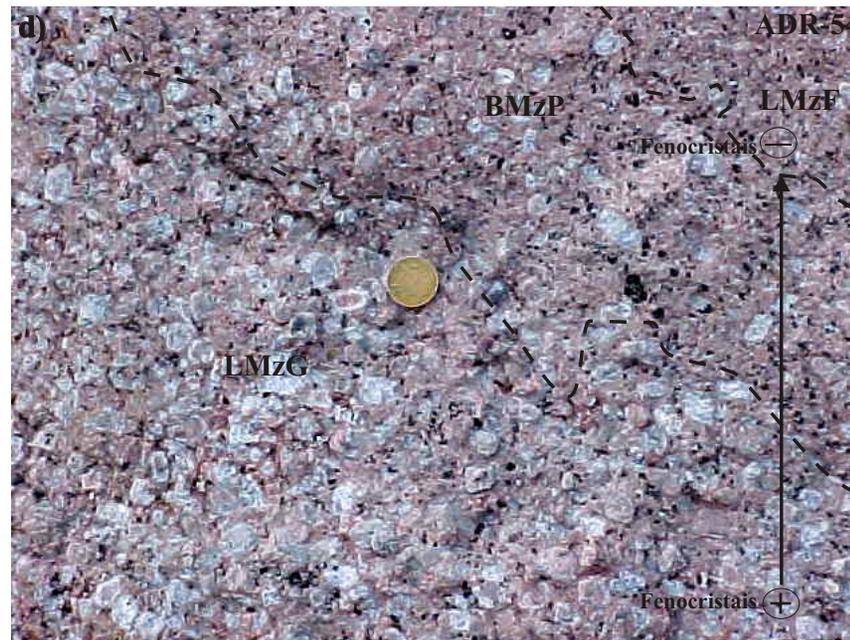
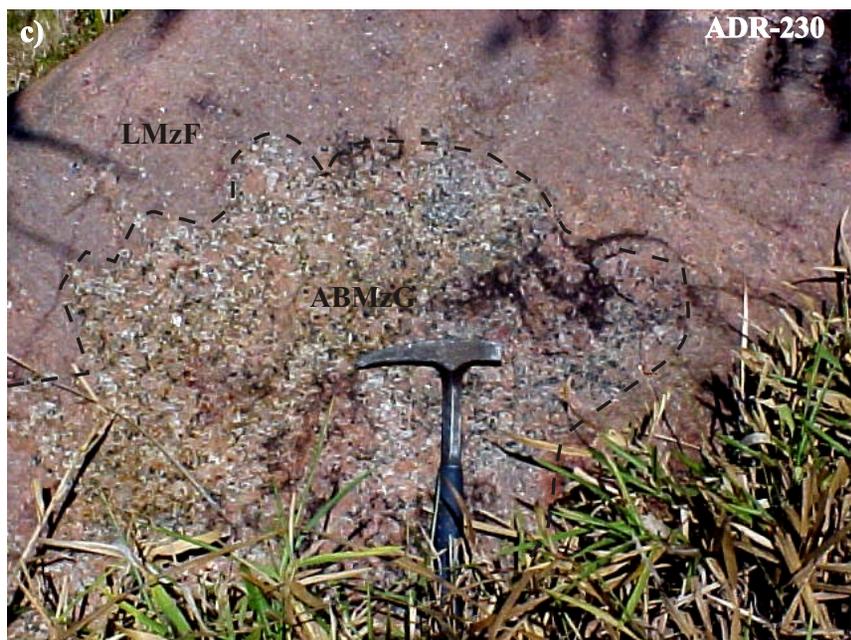
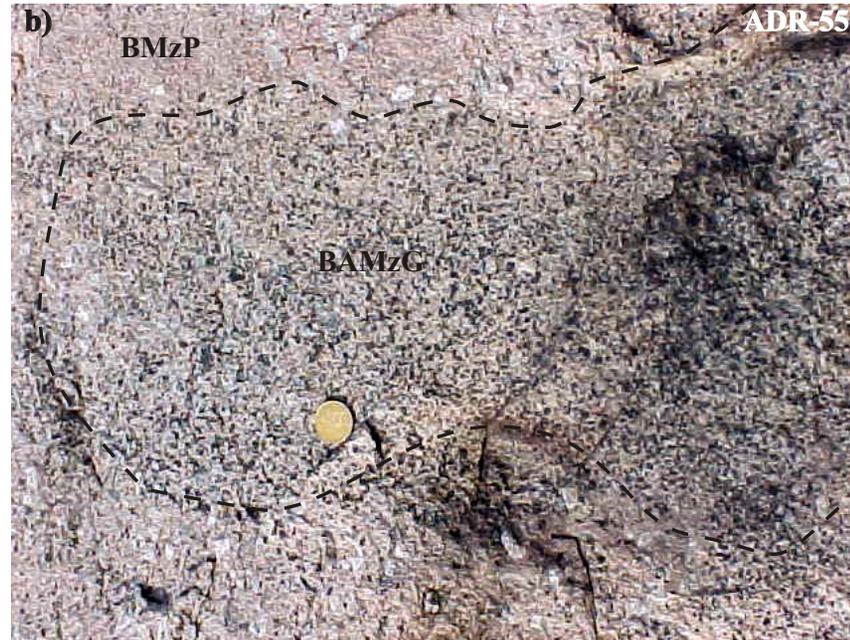


Figura 2.15 - a) Enclave de BAMzG englobado por LMzF e parcialmente assimilado; b) Enclave de BAMzG mostrando forte interação e reabsorção parcial pela fácies BMzP; c) Enclave de ABMzG com contorno interdigitado envolvido por LMzF, sugerindo processos de *mingling* entre as duas fácies; d) Contato transicional entre os LMzG, BMzP e LMzF. Notar a diminuição da quantidade de fenocristais de feldspatos no sentido LMzG \rightarrow BMzP \rightarrow LMzF, e o maior desenvolvimento de textura rapakivi no contato LMzG-BMzP, ambos sugerindo *mingling*.

Observou-se, por vezes, uma aparente transição entre as fácies BAMzG, ABMzG e LMzG, passando das fácies mais enriquecidas em máficos para as mais leucocráticas (Figura 2.14d). O baixo contraste de viscosidade entre essas fácies propiciou suas interações, sugerindo - se que os líquidos formadores dos BAMzG e ABMzG não estavam ainda inteiramente cristalizados quando colocados em contato com o líquido do LMzG. Os contatos transicionais entre os BAMzG e ABMzG sugerem ainda a sua evolução comum, ligada a processos de cristalização fracionada.

As rochas da fácies LMzG encontram -se geralmente nas encostas das serras sustentadas por BMzP e mostram contatos gradacionais com os mesmos, marcados pelo acentuado desenvolvimento de textura rapakivi (Figura 2.15d). Enclaves arredondados dos LMzG também são englobados por rochas porfíricas formando-se em volta dos mesmos uma concentração anômala de cristais de feldspatos potássico com textura rapakivi (Figura 2.16a). A mesma feição ocorre em torno dos enclaves de LMzF nos ABMzG (Figura 2.16b). Ela pode ser explicada pela interação parcial (*mingling*) entre dois líquidos de composições distintas (Hibbard 1995). Os LMzF ora mantêm contatos transicionais com os BMzP (figura 2.15d), ora seccionam os mesmos (Figura 2.16c). Eles cortam também os LMzG na forma de veios (Figura 2.16d), mostrando geralmente nos seus domínios internos fenocristais esparsos de feldspatos provenientes ao que tudo indica do LMzG, revelando transferência relacionada com processos de *mingling* (Hibbard 1995, Neves & Mariano 1997).

Enclaves de LMzM, interpretados como autólitos, são localmente englobados pela fácies ABMzG. Eles ocorrem tanto como glóbulos (bolhas) (Figura 2.17a) quanto como enclaves angulosos (Figura 2.17b) sem mostrar qualquer relação de *mingling* com os ABMzG. Tais LMzM são, portanto, precoces na evolução do corpo e devem ser distinguidos dos LMzM dominantes que afloram nas estruturas circulares identificadas no interior do corpo (Figura 2.7 e 2.8), os quais são tardios em relação ao ABMzG e geoquimicamente mais evoluído (Cf. Cap. 5).

Para distinguir esses dois tipos de LMzM, optou-se por designar aqueles que ocorrem como enclaves no ABMzG como precoces (LMzMp) e os demais como tardios (LMzMt). Essa separação justifica-se pelas relações de campo e foi confirmada pelo contraste geoquímico entre ambos.

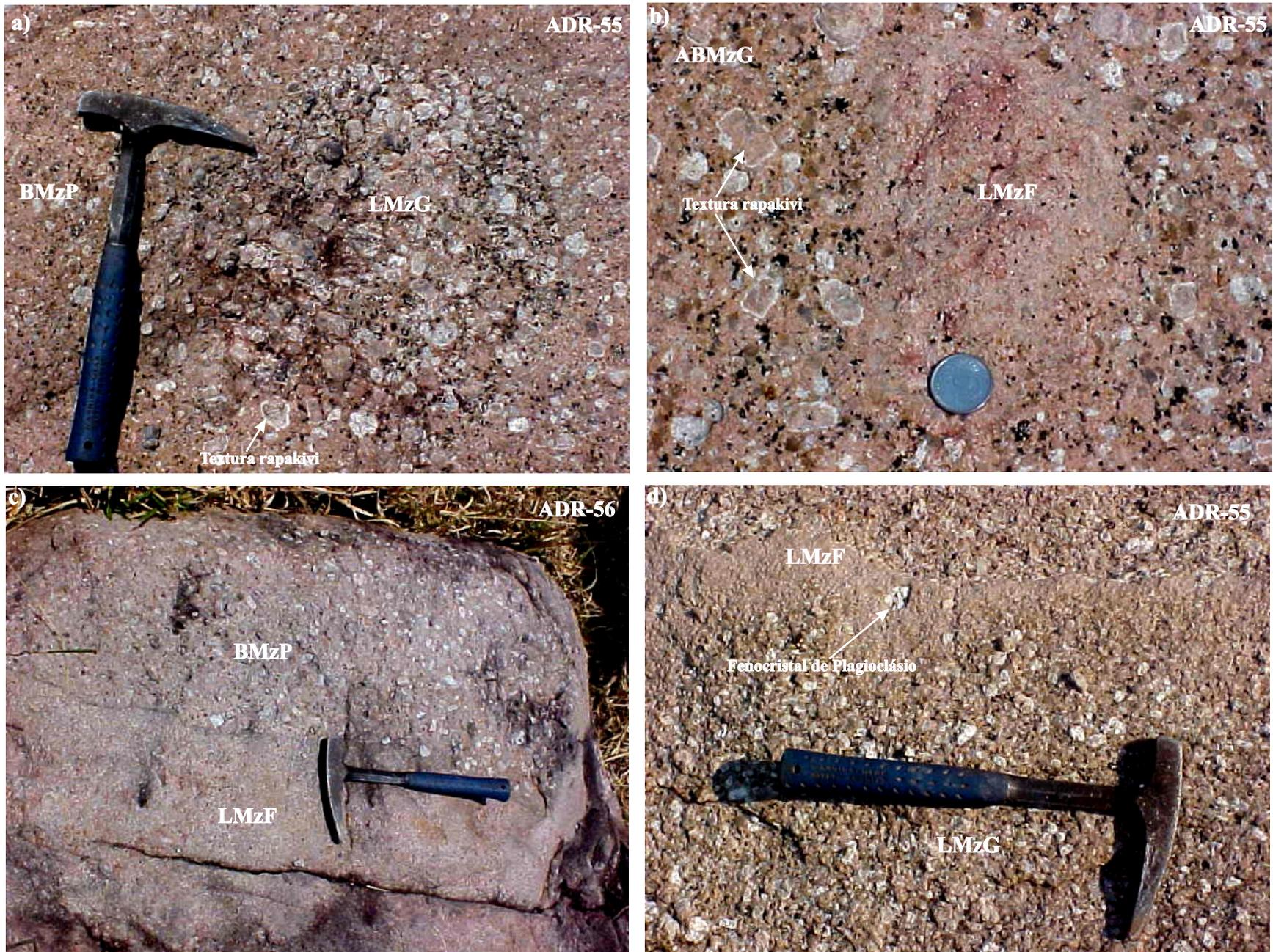


Figura 2.16 - a) Enclave arredondado de LMzG englobado por BMzP. Notar o desenvolvimento de cristais de feldspato com textura rapakivi em torno do enclave, provavelmente consequência de *mingling* entre as duas fácies; b) ABMzG com enclave elipsoidal de LMzF, com notável desenvolvimento de textura rapakivi na interface entre as duas fácies; c) BMzP cortado por LMzF com contato brusco; d) LMzG cortado por veio de LMzF. Notar cristal de feldspato proveniente do LMzG nos domínios internos do veio de LMzF, indicando transferência relacionada com processos de *mingling*.

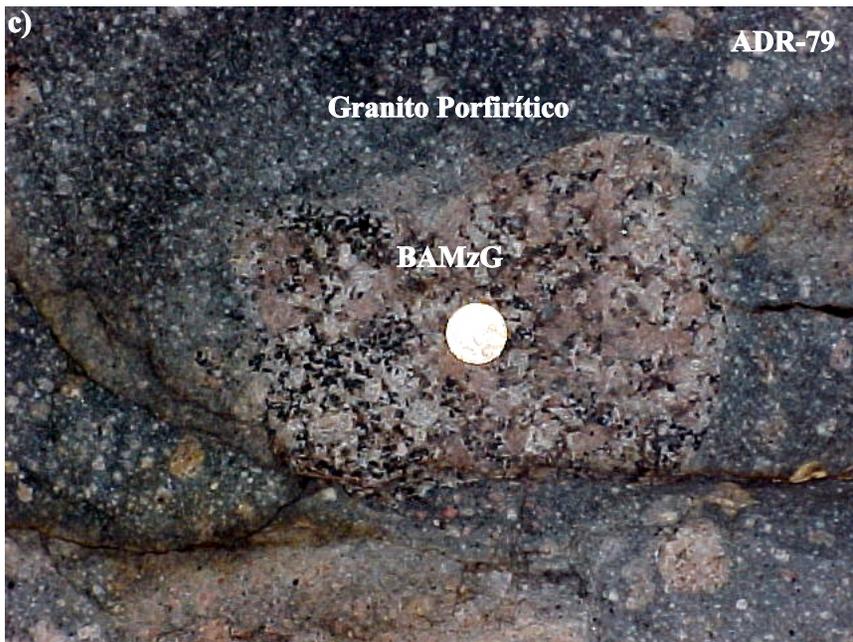
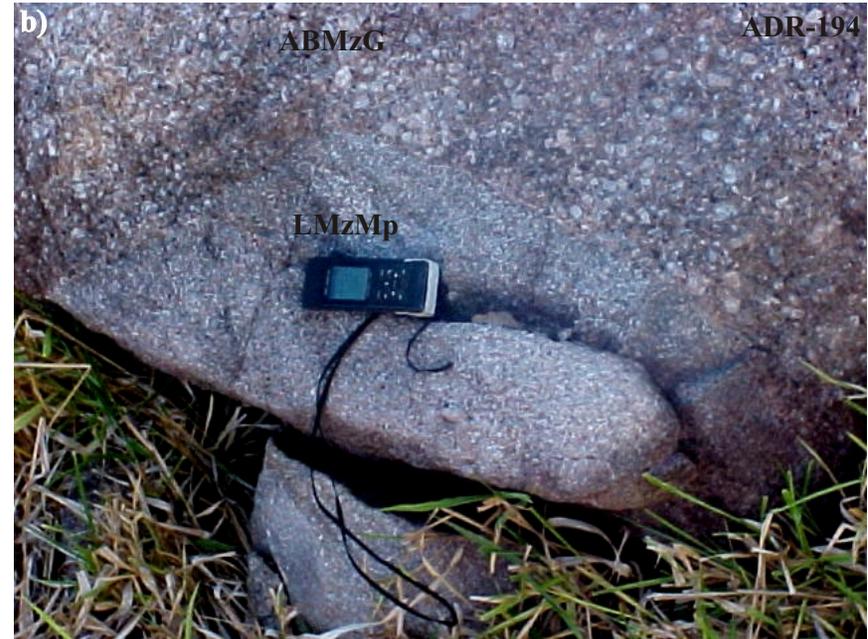
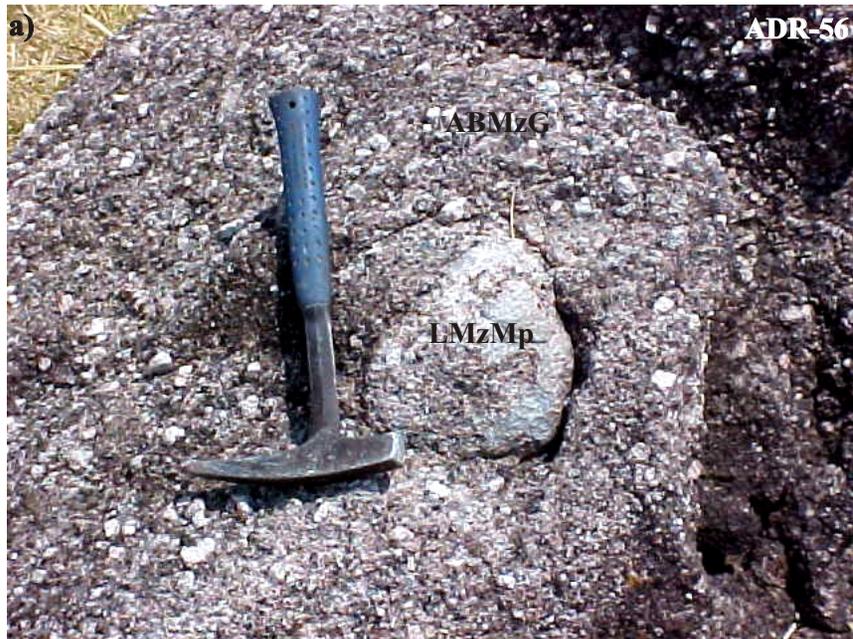


Figura 2.17 - a) Bolha de LMzMp ocorrendo como enclave nos ABMzG; B) Enclave angular de LMzMp englobado pelo ABMzG; c) Granito porfírico cinza englobando enclave angular de BAMzG, notar xenocristais de feldspato pertencente à facies BAMzG nas proximidades do contato; d) Enclave angular de LMzF no granito porfírico, sugerindo colocação muito tardia para as rochas porfíricas.

Rochas porfíricas de coloração cinza ocorrem localmente (afloramento 79) no corpo e mostram enclaves angulosos das fácies BAMzG (Figura 2.17c) e LMzF (Figura 2.17d). Essa relação sugere que tais rochas são muito tardias em termos de colocação. No entanto, a sua ocorrência restrita no corpo granítico não permitiu uma conclusão definitiva sobre seu posicionamento em relação às demais fácies. Por outro lado, nas proximidades dos contatos entre os enclaves e as rochas porfíricas é comum a presença de xenocristais de feldspatos pertencente aos BAMzG e LMzF, evidenciando a ocorrência de processos de interação entre os líquidos que formaram a fácies porfírica e os BAMzG e LMzF. Isso revela que a colocação dessas fácies não foi muito distante no tempo, pois as mesmas coexistiram no estado parcialmente líquido.

2.5 – ASPECTOS GERAIS SOBRE A COLOCAÇÃO DO GRANITO BANNACH.

A presença localizada de cavidades mirolíticas implica baixa profundidade e ambiente epizonal para a colocação da intrusão granítica. O fato de o corpo granítico truncar abruptamente as foliações regionais, cujos padrões não são influenciados pelo mesmo, assim como a forma dos enclaves das rochas encaixantes no Granito Bannach, revela um comportamento reológico distinto e um elevado contraste de viscosidade e temperatura entre o granito e as suas encaixantes. O mesmo verificou-se nos demais corpos da Suíte Jamon. Dall’Agnol et al. (1985) e Gastal (1987) assumiram baixas profundidades de colocação para os granitos Jamon e Musa, respectivamente, devido ao baixo grau de metamorfismo regional dos *greenstone-belts* do Supergrupo Andorinhas e pela formação de cordierita nas suas auréolas de contato.

Os enclaves angulosos das rochas encaixantes, especialmente aqueles relacionados ao Tonalito Arco Verde, confirmam o grande contraste de viscosidade entre eles e o magma Bannach. Por outro lado, o ligeiro arredondamento de alguns enclaves, de menores dimensões, pode ser explicado por digestão parcial ou interação magma/enclave. Esta interação é mais marcante nos enclaves máficos. Essa feição, juntamente com a ausência de orientações marcantes nas diversas fácies graníticas, indica estado predominantemente líquido do magma quando da sua colocação.

A forma elipsoidal do maciço granítico, com contatos muitas vezes controlados por extensos lineamentos retilíneos, com algumas reentrâncias angulares, sugere que o controle de colocação do mesmo se fez por fraturas anteriores à intrusão. Esse controle na estruturação do corpo é reforçado pela coincidência das direções dos principais sistemas de fraturas em seu

interior com os principais sistemas de lineamento regional pós-arqueano (NE-SW e NW-SE), que muito provavelmente controlaram a sua intrusão. Os dados obtidos sugerem, ainda, que os principais sistemas de fraturamento estiveram ativos até o final da colocação do maciço servindo como condutos para líquidos mais evoluídos, responsáveis pela formação dos corpos tardios de BMzP e LMzF, cujas direções são coincidentes com os *trends* regionais. Um sistema de descontinuidade do tipo *ring-faults* também controlou possivelmente a evolução tardia do corpo, como observado em outros corpos anorogênicos que ocorrem no TGGRM (Manda Saia, São João e Seringa; CPRM 2000). Este tipo de fraturamento permitiu a colocação da fácies LMzMt, arquitetando, assim, padrões geomorfológicos em forma de anfiteatros localizados nas porções centrais do corpo Bannach.

O arranjo espacial das diferentes fácies do maciço evidencia uma zonalidade composicional das mesmas, com uma diminuição gradativa dos ferromagnesianos dos bordos para o centro. Esta estrutura é similar a de alguns maciços circunscritos, como o complexo granítico de Rosses (Hall 1966, Pitcher & Berger 1972), de alguns plutons do batólito de Sierra Nevada (Bateman & Chappel 1979), do pluton Galloway (Stephens & Halliday 1979), do Granito Ambalavayal (Rajesh 2000) e dos maciços Jamon (Dall'Agnol 1980), Musa (Gastal 1987) e Redenção (Oliveira 2001), da Suíte Jamon (Dall'Agnol et al. 2005).

Muitos destes autores acreditam que o zoneamento composicional desses plutons seja resultado da colocação de um magma com alta razão líquido/cristais. Ou seja, o magma é injetado antes que a cristalização esteja muito avançada, portanto num estado muito fluído e, além disso, ele atinge um nível crustal de características frágeis, que se deforma por ruptura (Atherton et al. 1979, Bateman & Chappell 1979). Tal hipótese é consistente com as feições observadas no corpo Bannach, onde as fácies BAMzG e ABMzG, mais precoces e parcialmente consolidadas, teriam sido cortadas por fases magmáticas mais móveis que ascenderam por descontinuidades na crosta e formaram os BMzP, LMzF e LMzMt. A coexistência das diferentes fácies no estado parcialmente líquido pode justificar a ocorrência de enclaves de rochas geoquimicamente menos evoluídas em fácies mais evoluídas do maciço. Em outras palavras, variações locais de temperatura e viscosidade dos diferentes líquidos poderiam explicar relações aparentemente contraditórias entre as fácies deles derivadas. Tal aspecto foi ressaltado por Marre (1986) em seu estudo detalhado do maciço de Quérigut.

Os contatos entre os diferentes tipos petrográficos do pluton Galloway (Stephens & Halliday 1979) também mostram-se bastantes variáveis, ora aparecendo de forma clara, ora difusos (transicionais), evidenciando que a evolução do corpo se processou através de vários pulsos de magmas, não muito distanciados temporalmente, os quais exibem *trends* composicionais normais, embora possa ter havido interação entre os mesmos. Estas considerações aplicam-se perfeitamente às observações efetuadas para as diferentes fácies do Granito Bannach, descritas anteriormente.

Os dados petrológicos e geoquímicos das diferentes fácies permitiram avaliar a existência de um ou mais pulsos no batólito Bannach e definir processos petrogenéticos importantes ao longo da evolução das fácies do maciço. Em relação à porção norte, estudada em detalhe, pôde-se concluir que o corpo apresenta um zoneamento composicional e textural concêntrico com as fácies mais ricas em máficos situadas nas porções marginais do corpo e as fácies mais leucocráticas ocupando o centro do maciço. As fácies BMzP e LMzF ocorrem como corpos tardios seccionando tanto rochas menos evoluídas (BAMzG, ABMzG), quanto àquelas mais tardias (LMzMt). As primeiras mostram uma forte interatividade com as rochas da fácies LMzG. Independente da existência de um mais pulsos de magma, os líquidos formadores do granito evoluíram das margens para o centro, onde se concentraram os líquidos mais evoluídos.

O Granito Bannach mostra uma forma geral muito semelhante a do complexo granítico Sara-Fier da Nigéria (Turner 1963), nos quais centros magmáticos sucessivos estão alinhados na direção N-S (Figura 2.18). As imagens de radar, juntamente com os dados geofísicos aeroradiométricos, permitem supor que o batólito Bannach seja formado por três intrusões principais coalescentes, alinhadas na direção NW -SE, com centros magmáticos na porção norte, centro-sul e sudeste -sul do corpo. Um modelo análogo parece ser válido para o Granito Musa (Gastal 1987), que apresenta a distribuição faciológica mais irregular dentre os corpos que compõem a Suíte Jamon, porém sugerindo duas intrusões coalescentes distintas, localizadas nas porções norte e sul do *pluton*.

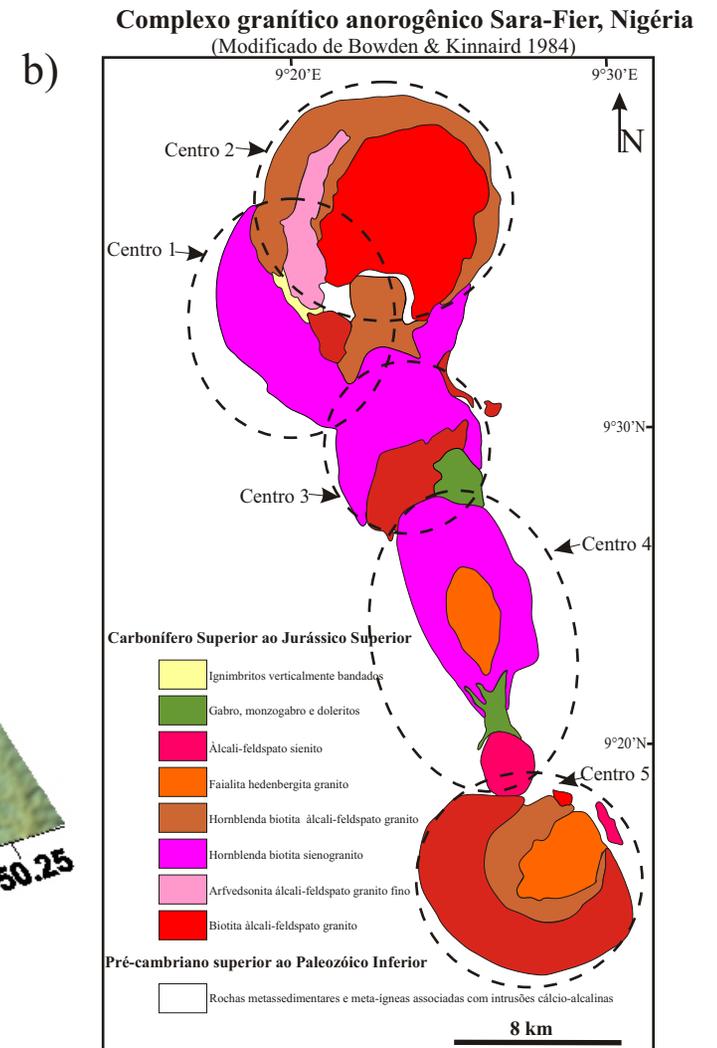
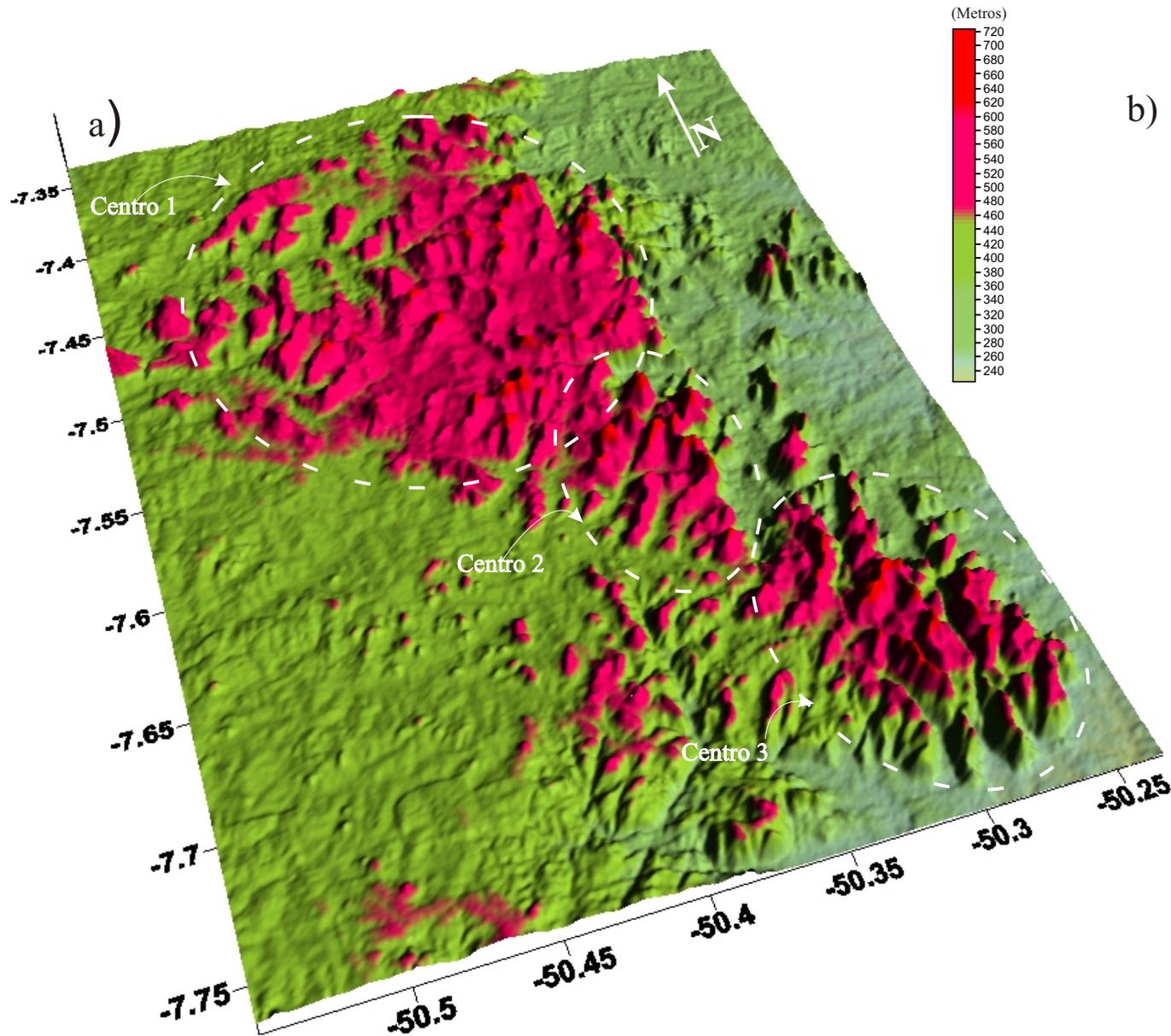


Figura 2.18- a) Imagem SRTM (Shutter Radar Topography Mission - Nasa) do Granito Bannach; b) Mapa Geológico do complexo granítico anorogênico Sara-Fier, Nigéria. Notar a semelhança da forma do corpo Bannach com a do complexo Sara-fier, sugerindo a existência de três centros magmáticos no Granito Bannach.

CAPÍTULO 3 – PETROGRAFIA .

3.1- INTRODUÇÃO.

Como visto anteriormente, o maciço Bannach apresenta composição monzogranítica com variações mineralógicas e texturais que permitiram individualizar oito fácies petrográficas principais: granito cumulático equigranular (GC), biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso (BAMzG), anfibólio-biotita-monzogranito equigranular grosso (ABMzG), biotita-monzogranito porfirítico (BMzP), leucomonzogranito equigranular grosso (LMzG), leucomonzogranito equigranular médio precoce (LMzMp) e tardio (LMzMt) e leucomonzogranito equigranular fino (LMzF). A tabela 3.1 mostra as composições médias baseadas em análises modais das diferentes fácies do corpo, sendo que as análises modais de cada amostra analisada estão no anexo 1.

As texturas das rochas do Granito Bannach são bastante variáveis, apresentando desde termos equigranulares com granulação grossa (GC, BAMzG, ABMzG e LMzG), média [LMzMp (precoce) e LMzMt (tardio)] e fina (LMzF) e, ainda, porfíricas (BMzP). Em geral, exibem, em amostra de mão coloração rosada a acinzentada, alguns com tonalidades esbranquiçadas e outros avermelhadas, em especial, aqueles tipos mais leucocráticos. Essas rochas são bastante heterogêneas em escala de afloramento mostrando grandes variações texturais.

A paragênese essencial das diferentes fácies do Granito Bannach é representada por quartzo, microclina e plagioclásio. Os dados das análises modais, quando plotados no diagrama Q-A-P (Streckeisen 1976), demonstram que os teores destes minerais variam significativamente, porém não deslocam-se do campo dos monzogranitos (Figura 3.1), a não ser em raras amostras da fácies LMzMt. Neste aspecto, o Granito Bannach se assemelha ao que foi observado no Granito Jamon (Dall’Agnol 1982, Dall’Agnol et al. 1999a) e Granito Redenção (Oliveira 2001), e diverge do descrito no Granito Musa (Gastal 1987, 1988), onde as fácies sienograníticas possuem uma abundância similar a dos monzogranitos.

Os GC possuem os maiores conteúdos médios de minerais máficos (M) (29,8%), sendo seguidos pelas fácies BAMzG (11,3%) e ABMzG (6,9%). A fácies BMzP possui valor médio de M de 6,7 e as fácies LMzMp, LMzG, LMzMt e LMzF possuem valores de $M < 4\%$. Segundo a classificação de Le Maitre (2002) todas as fácies do Granito Bannach, com exceção dos GC e dos

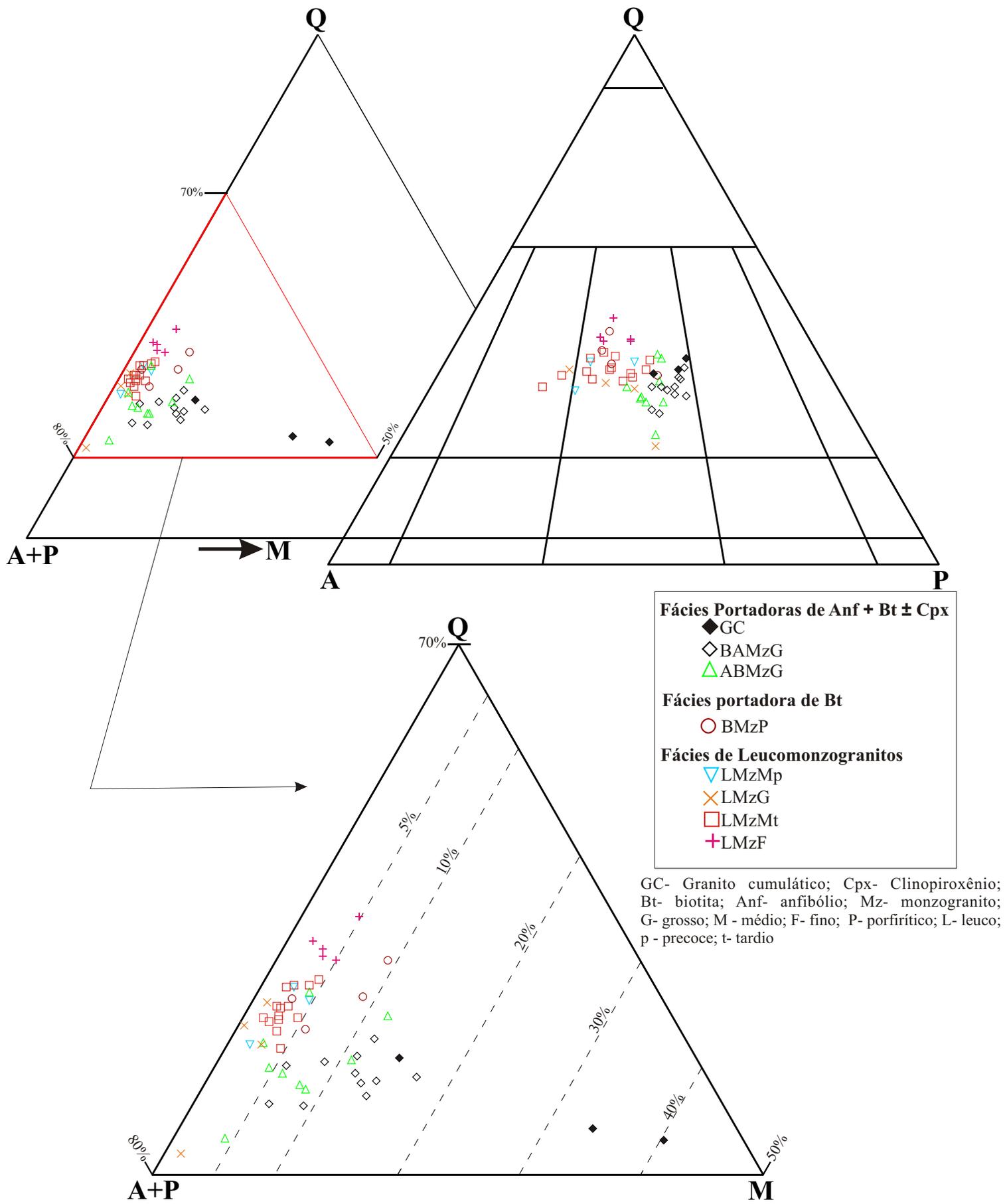


Figura 3.1 - Diagramas modais Q-A-P (Streckeisen, 1976) e Q-(A+P)-M para as diferentes fácies do Granito Bannach

Tabela 3.1 - Composições modais médias das diferentes fácies do Granito Bannach

Fácies	GC	BAMzG	ABMzG	BMzP	LMzMp	LMzG	LMzMt	LMzF
Mineral(%)	{3}	{11}	{9}	{4}	{3}	{4}	{14}	{5}
Quartzo	26.0	29.0	30.4	36.6	35.2	31.0	35.1	41.5
K-feldspato	17.8	24.2	28.7	30.1	35.6	36.3	34.6	29.9
Plagioclásio	26.4	34.5	33.6	26.1	25.2	30.8	25.7	24.3
Biotita	7.5	2.7	3.8	2.9	1.1	0.3	1.8	1.2
Anfibólio	16.4	5.3	1.4	-	1.0	0.2	-	-
Clinopiroxênio	0.9	0.4	0.1	-	0.2	-	-	-
Opacos	3.8	1.9	0.7	1.4	0.4	0.2	0.1	<0,1
Titanita	0.4	0.1	0.2	0.6	0.1	-	-	-
Allanita	0.2	0.2	0.3	0.2	-	-	-	-
Clorita	0.1	0.3	0.3	1.5	0.6	0.7	1.1	2.5
Muscovita	-	-	0.1	-	0.1	-	0.4	0.1
Fluorita	-	0.2	-	0.1	-	-	0.1	-
Albita intergranular	-	1.0	0.4	0.5	0.4	0.5	1.0	0.5
Acessórios (Ap+Zr)	0.5	0.1	0.1	<0,1	0.1	-	-	<0,1
Félsicos	70.2	88.7	93.1	93.3	96.4	98.5	96.4	96.3
Máficos	29.8	11.3	6.9	6.7	3.6	1.5	3.6	3.7
Fk + Pl	44.2	58.7	62.3	56.1	60.8	67.0	60.3	54.3
Q + Fk	43.8	53.2	59.1	66.7	70.8	67.3	69.6	71.4
Biotita + Clorita	7.6	3.0	4.0	4.4	1.7	1.3	2.9	3.7
Anfibólio/Biotita	2.2	2.0	0.4	0.0	0.9	0.6	0.0	0.0
À 100%								
Quartzo	37.1	33.1	32.8	39.5	36.7	31.6	36.8	43.3
K-feldspato	25.0	27.6	30.9	32.4	37.2	37.0	36.2	31.3
Plagioclásio	37.8	39.3	36.2	28.1	26.1	31.4	27.0	25.4
Pl/Fk	1.5	1.4	1.2	0.9	0.7	0.8	0.7	0.8

Síglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso; ABMzG – anfibólio-biotita-monzogranito equigranular gro; BMzP – biotita-monzogranito porfíritico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoc LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fin

Abreviações: Ap = Apatita, Zr = zircão, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Q = quartzo.

{3} número de amostras analisadas por fácies.

BAMzG, são classificáveis como hololeucocráticas, porém adotou-se a designação de leucogranitos apenas para as fácies com $M < 5\%$.

As variedades de rochas do Granito Bannach assemelham-se texturalmente e mineralogicamente às principais fácies identificadas por Oliveira (2001) no Granito Redenção. No entanto, o conteúdo de M dos BAMzG do maciço Redenção é ligeiramente superior ao da variedade análoga do corpo Bannach.

O diagrama Q-(A+P)-M (Streckeisen 1976) (Figura 3.1) permite separar domínios de rochas com maior conteúdo de máficos daquelas mais leucocráticas. As fácies GC, BAMzG e ABMzG apresentam conteúdos modais de anfibólio e máficos comparativamente elevados em relação aos das fácies BMzP, LMzMp, LMzG, LMzMt e LMzF, nas quais o anfibólio está ausente ou é muito escasso.

As composições modais médias revelam que a razão Pl/Mc diminui no sentido GC (1,5) → BAMzG (1,4) → ABMzG (1,2) e mantém -se praticamente constante em torno de 0,9 e 0,7 para as fácies BMzP, LMzMp, LMzMt, LMzG e LMzF. O conteúdo de quartzo cresce dos GC (26%), passando pelos BAMzG (29%) e ABMzG (30,4%) até os LMzG (31%), sendo que os maiores valores estão associados com as fácies LMzMt (35,1%), LMzMp (35,2%), BMzP (36,6%) e LMzF (41,5%).

A Figura 3.2 mostra que os conteúdos de minerais máficos, quartzo e as razões Pl/Mc de amostras representativas das diferentes fácies do corpo variam em função da posição que essas amostras ocupam no corpo. Nota -se que as amostras que se localizam mais próximas da periferia do corpo apresentam mais altos conteúdos de máficos (GC, BAMzG e ABMzG) (Figura 3.2a), mais baixos conteúdos de quartzo em relação aos daquelas amostras que ocorrem no centro do corpo, representadas predominantemente pelas fácies BMzP, LMzG, LMzMt e LMzF (Figura 3.2b) e razões Pl/Mc mais elevadas (figura 3.2c). Isto mostra que existem variações composicionais bastante regulares dentro do corpo e sugerem a existência de um zoneamento grosseiramente concêntrico.

A figura 3.3 mostra o mapa faciológico combinado com diagramas baseados em composições modais, revelando a média composicional em termos de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e máficos para as diferentes fácies do Granito Bannach. Observa -se que as rochas com maior conteúdo de máficos (GC, BAMzG) ocupam as porções de borda e aquelas

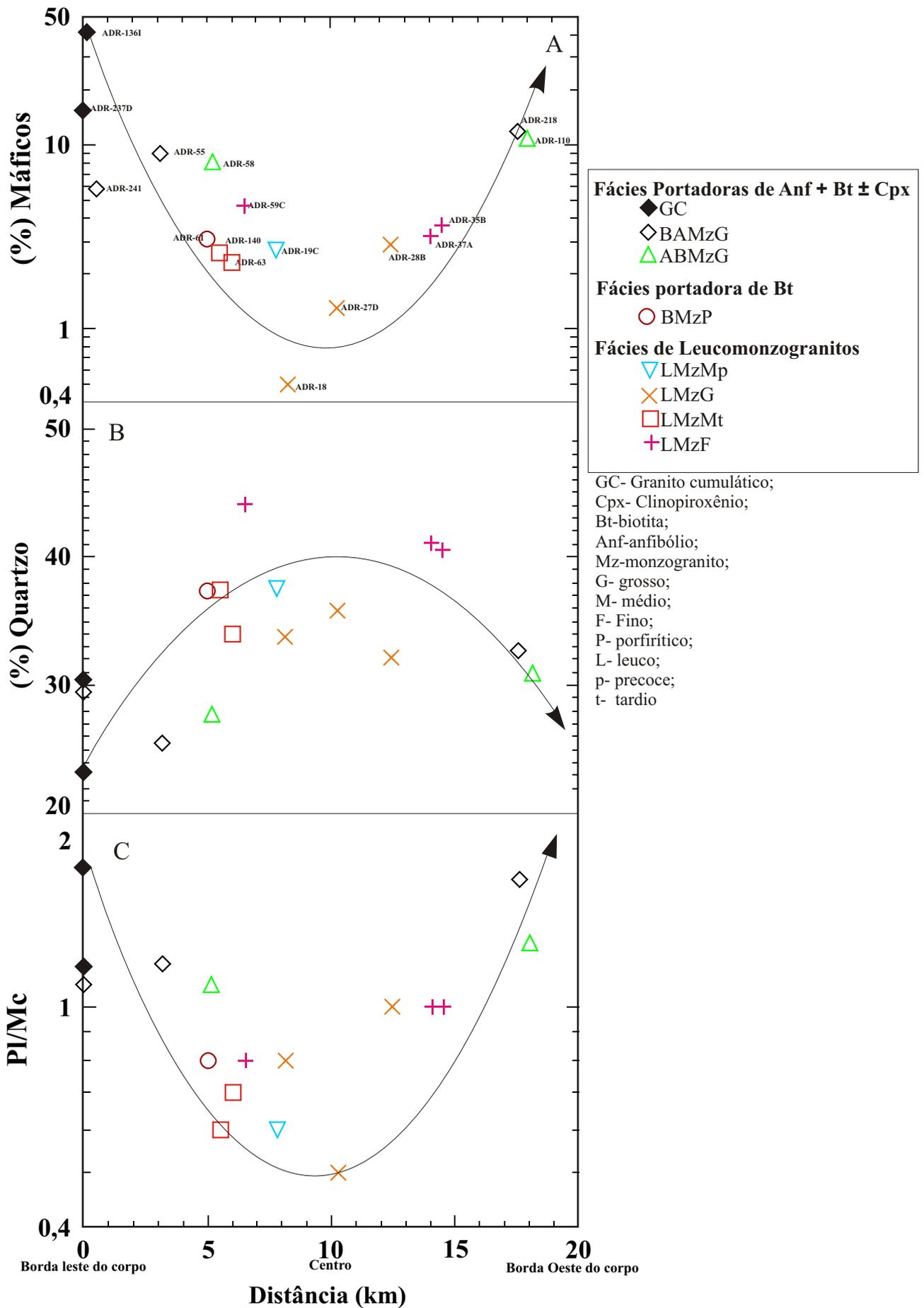


Figura 3.2 - Diagramas mostrando a variação em amostras selecionadas do conteúdo modal de a) máficos b) quartzo e c) da razão Pl/Mc, em relação à sua disposição no corpo Bannach. Nota-se que o conteúdo de máficos e a razão Pl/Mc diminuem no sentido borda-centro, ao passo que o contrário é observado para os conteúdos de quartzo.

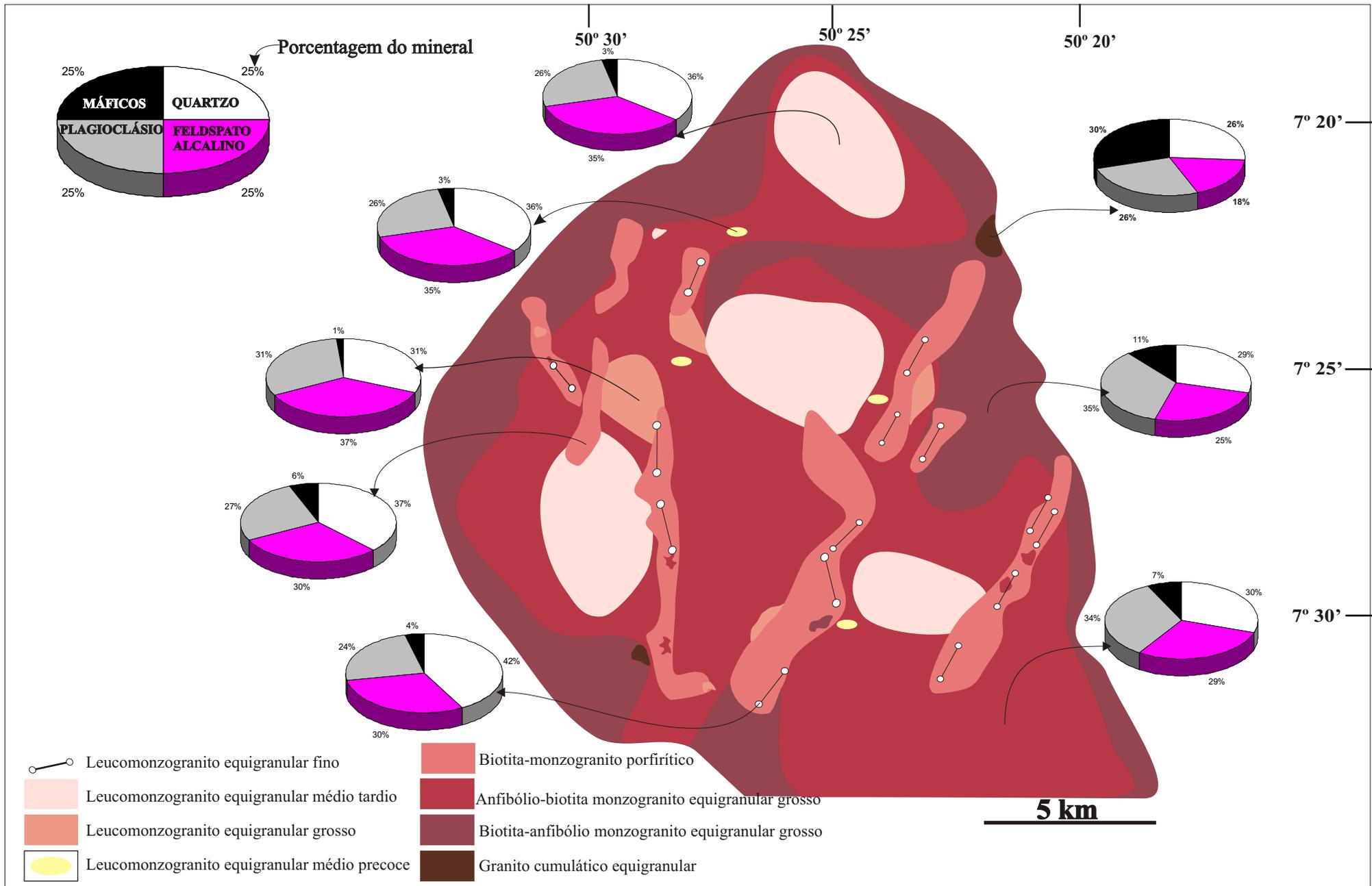


Figura 3.3 - Mapa faciológico vs composição modal média das diferentes fácies do Granito Bannach. Nota-se que os maiores conteúdos de máficos estão presentes nas fácies de borda (Granito cumulático e BAMzG), ao passo que as rochas com menores quantidades de máficos e maiores proporções de quartzo ocorrem no centro do corpo (LMzEt e LMzG).

relativamente mais pobres em máficos e com maiores conteúdos de quartzo (BMzP, LMzMt, LMzG e LMzF) a parte central do maciço.

Todas as fácies do Granito Bannach apresentam duas fases feldspáticas distintas, plagioclásio e feldspato alcalino, se enquadrando dentro dos granitos *subsolvus* segundo a classificação proposta por Tuttle & Bowen (1958). As proporções desses minerais variam ao longo do corpo e são parâmetros para avaliar a sua evolução petrológica.

A figura 3.3 e os diagramas Q -A-P e Q-(A+P)-M (Figura 3.1), mostram que as fácies que ocorrem na periferia do corpo apresentam conteúdos relativamente baixos de quartzo e microclina e quantidades mais expressivas de plagioclásio. À medida que se aproxima do centro, as rochas se tornam mais hololeucocráticas e o quartzo e a microclina tem seus teores aumentados, ao passo que as quantidades de plagioclásio diminuem.

O anfibólio e a biotita são os principais ferromagnesianos, sendo que nas fácies mais enriquecidas em máficos (GC e BAMzG), o anfibólio está sempre presente em quantidades mais expressivas que os demais minerais máficos. À medida que diminui a quantidade total de ferromagnesianos das fácies, o anfibólio cede lugar gradativamente à biotita. Nas fácies mais leucocráticas, o anfibólio tende a desaparecer, as proporções de biotita diminuem e as de clorita tornam-se mais expressivas.

Os minerais acessórios mais freqüentes, presentes em quantidades variadas nas diferentes fácies, são zircão, titanita, apatita, allanita e opacos. Como minerais secundários encontram-se clorita, sericita-muscovita, epidoto, fluorita e argilo-minerais.

Os dados de análises modais das diversas fácies do Granito Bannach indicam a existência de passagens graduais entre elas, havendo superposições em função da representatividade das amostras das diferentes fácies. A transição entre as várias fácies é comandada pelos seguintes fatores que atuam isoladamente ou associados, dependendo do caso: variações acentuadas no conteúdo de (1) ferromagnesianos, (2) quartzo e, (3) variações moderadas nas razões Pl/Mc (plagioclásio/microclina). Em linhas gerais, as razões Pl/Mc e os valores de M tendem a exibir valores decrescentes no sentido GC -BAMzG-ABMzG-BMzP-LMzF-LMzMp-LMzMt-LMzG. A separação entre os GC e BAMzG é clara, bem como a desta última e as demais fácies graníticas, havendo nítida diminuição, principalmente no conteúdo de minerais máficos. O ABMzG difere das GC tanto pelos menores valores da razão Pl/Mc e do conteúdo de máficos, quanto pelas quantidades relativas de anfibólio e biotita. No BAMzG a razão média anfibólio/biotita é igual a

2, ao passo que no ABMzG a dominância da biotita é clara, com razão média anfibólio/biotita igual a 0,4 (Tabela 3.1). As variações das razões Pl/Mc não são muito acentuadas, uma vez que as fácies se restringem ao campo dos monzogranitos. No entanto elas discriminam a dominância de uma fase feldspática em relação à outra. As fácies GC, BAMzG, ABMzG apresentam razões Pl/Mc superiores a 1 (Tabela 3.1), o que as diferencia das demais fácies que mostram razões inferiores a 1.

Os leucogranitos (LMzG, LMzMp, LMzMt e LMzF) apresentam, em relação às fácies precedentes uma diminuição acentuada do conteúdo de máficos (<4%) e das razões Pl/Mc (<0,9). A fácies BMzP possui M (6,7) e razões Pl/Mc (0,9) ligeiramente superiores. Tanto a fácies BMzP como os leucogranitos apresentam a biotita como mineral máfico dominante e o anfibólio está ausente ou é muito escasso. A clorita torna-se um constituinte ferromagnésico significativo, com teores que variam de 0,7% nos LMzG até 2,5% nos LMzF, sugerindo uma maior importância das fases voláteis durante a cristalização dessas fácies, e sua derivação a partir de líquidos comparativamente mais evoluídos.

Além do modo de ocorrência (Capítulo 2), a fácies LMzMp diferencia-se dos LMzMt por apresentar anfibólio modal (média de 1%) e quantidades traço de clinopiroxênio. Embora o conteúdo médio de minerais máficos dos LMzMt seja igual ao do LMzMp, em função da maior quantidade de fases secundárias tais como a clorita apresentados pelos primeiros, acredita-se que os LMzMp sejam menos evoluídos que os LMzMt e, como são englobados pelos ABMzG e possuem razões médias de Anf/Bt mais elevadas que estes, poderiam representar possivelmente líquidos leucograníticos derivados dos BAMzG.

O *trend* de diferenciação magmática das rochas do corpo Bannach também é indicado pelo comportamento dos minerais acessórios. Os minerais opacos são mais expressivos nos GC (3,8%), diminuindo no sentido BAMzG (1,9%), ABMzG (0,7%), LMzMp (0,4%), LMzG (0,2%), LMzMt (0,1%) e LMzF (<0,1%), sendo que nos BMzP os valores são elevados (1,4%), destoando da tendência dominante. A titanita, a apatita, a allanita e o zircão perfazem, somados, menos de 1%, exceto na fácies GC. São mais abundantes nas fácies BAMzG, ABMzG e BMzP, com M mais elevado e não alcançam proporções significativas nas rochas mais leucocráticas.

Nas fácies BAMzG, ABMzG e LMzG de granulação mais grossa, as análises modais revelaram algumas variações em termos de quantidades de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, que podem ser devidas à menor representatividade da seção em que foi feita a

análise modal, refletindo portanto, uma menor precisão estatística (Chayes 1956, Jung & Brousse 1959). Isso pode ter causado a maior dispersão das amostras destas variedades dentro do campo dos monzogranitos (Figura 3.1). Estas imprecisões foram em parte compensadas pela realização de um maior número de pontos e de análises modais em amostras destas fácies. Apesar desses cuidados, é possível que os conteúdos de feldspato alcalino estejam ligeiramente superestimados, levando a um pequeno deslocamento no posicionamento das amostras em direção ao vértice A, no diagrama Q-A-P (Figura 3.1). As rochas equigranulares (GC, LMzMp, LMzMt e LMzF), texturalmente mais homogêneas que os BAMzG, ABMzG, LMzG e BMzP, apresentam uma distribuição comparativamente mais uniforme nos diagramas Q-A-P e Q-(A+P)-M.

A avaliação dos dados de análises modais conduz a hipótese de que a cristalização fracionada comandou a evolução das diferentes fácies. Tal processo teria se traduzido pelo aumento moderado nos conteúdos de quartzo e das razões Pl/Mc e de modo mais claro na diminuição gradual das proporções de minerais máficos. Muito provavelmente, essas variações foram também acompanhadas pelo decréscimo do teor de anortita do plagioclásio, conforme observado nos Granitos Jamon (Dall’Agnol 1982), Musa (Gastal 1987) e Redenção (Oliveira 2001). Por outro lado, as estruturas circulares constituídas por LMzMt (Capítulo 2), poderiam representar intrusões formadas a partir de líquidos independentes daquele que deu origem às demais fácies. Por sua vez, as fácies BMzP e LMzF podem ter derivado igualmente de líquidos independentes ou serem produtos de fracionamento do líquido gerador das fácies mais precoces, os quais seriam colocados tardiamente. De qualquer modo, nesse estágio pode -se apenas sugerir um *trend* de evolução geral: GC -BAMzG-ABMzG-BMzP-LMzMp-LMzG-LMzMt-LMzF. Essa e outras hipóteses serão melhor avaliadas com o auxílio dos dados geoquímicos e de petrologia magnética.

3.2 – VARIEDADES PETROGRÁFICAS.

Em função da afinidade em termos composicionais entre algumas fácies decidiu-se agrupar as diversas fácies do Granito Bannach em três grandes grupos: (1) As fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio, representadas pelo GC, BAMzG, ABMzG; (2) A fácies BMzP que apresenta apenas a biotita como mineral varietal; e (3) Os leucomonzogranitos, os quais mostram uma variação textural marcante, com termos de granulação grossa (LMzG), média (LMzMp e LMzMt) e fina (LMzF), os quais apresentam modos de ocorrência distintos.

3.2.1 – Fácies portadoras de anfíbólio + biotita ± clinopiroxênio com textura equigranular Grossa.

Embora esse conjunto de rochas apresente uma textura mais homogênea, as variações no conteúdo e na natureza das fases ferromagnesianas (clinopiroxênio, anfíbólio e biotita) permitem individualizar três fácies petrográficas. Os granitos cumuláticos (GC) possuem maior conteúdo de máficos que se reflete na sua coloração mais escura em relação às demais fácies (Figura 3.4a). Apresentam uma textura equigranular grossa e é perceptível o arranjo dos minerais máficos em agregados circundados por plagioclásio (Figura 3.4b). As fácies BAMzG e ABMzG diferem do GC por possuírem menores quantidades de máficos e plagioclásio e proporções superiores de feldspato alcalino, os quais são responsáveis pela tonalidade rosada destas rochas (Figura 3.4c e 3.4e). Observa-se um aumento na granulação no sentido GC -BAMzG-ABMzG, provavelmente relacionado ao maior desenvolvimento dos cristais de quartzo e feldspatos, acompanhando o decréscimo de máficos. Em amostras localizadas deste grupo de fácies, têm-se variações porfíricas com fenocristais de plagioclásio e feldspato alcalino, ora subédricos e tabulares, ora ovalados, de dimensões entre 20 mm até 50 mm. É comum o desenvolvimento de textura rapakivi nesse conjunto de rochas (Figura 3.4e). Isso é mais comum nos ABMzG que, por vezes, tendem a assumir caráter porfírico, em função do maior desenvolvimento do feldspato alcalino, que pode alcançar dimensões de até 30 mm, porém sempre com alta razão fenocristal/matriz.

Ao microscópico essas rochas mostram textura granular hipidiomórfica grossa (Figura 3.4b, d, f), localmente tendendo a porfírica, devido ao maior desenvolvimento dos feldspatos. São comuns, principalmente nos GC e BAMzG, agregados de minerais máficos associados com concentrações de cristais geralmente alterados de plagioclásio (Figura 3.4b,d), sendo que os primeiros possuem dimensões (0,2 - 4 mm) bem inferiores em relação aos feldspatos. Nessas fácies mais enriquecidas em máficos, os agregados são mais compactos e o anfíbólio é o máfico dominante, sendo que em certas amostras envolvem relíquias de clinopiroxênio. Os cristais de clinopiroxênio, anfíbólio e opacos são subautomorfos e mostram-se intimamente associados, sendo marcante no clinopiroxênio a transformação para anfíbólio e as inclusões de apatita, opacos e zircão. Essas feições são menos comuns nos ABMzG, onde a biotita passa a ser o máfico predominante, em função da intensa substituição do anfíbólio pela mesma. Os cristais reliquiais de clinopiroxênio são muito raros e os agregados máficos são mais dispersos e não mostram uma associação tão constante com as concentrações de cristais de plagioclásio.

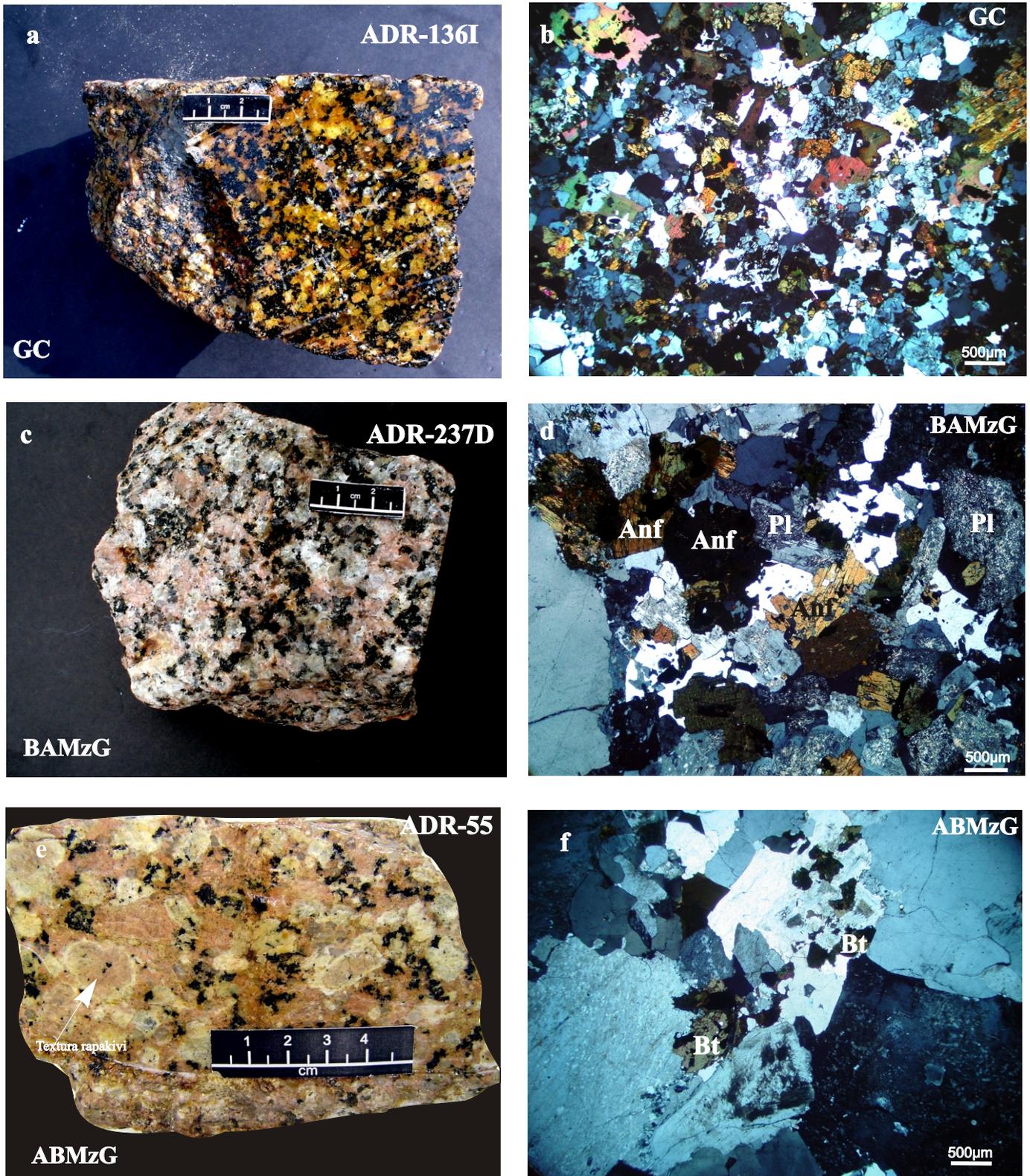


Figura 3.4 - Aspectos macroscópicos e microscópicos (fotomicrografias em nicóis cruzados; b, d, f) das fácies portadoras de anfibólio+biotita±clinopiroxênio do Granito Bannach: a) Granito cumulático (GC) com textura equigranular grossa; b) Aspecto microscópico do Granito Cumulático; c) BAMzG com textura equigranular grossa; d) Aspecto microscópico da fácies BAMzG. Notar a nítida associação dos cristais de anfibólio com os plagioclásios; e) ABMzG de textura equigranular grossa, semelhante à rocha anterior, porém apresentando menor conteúdo de máficos e maior desenvolvimento de quartzo e feldspato potássico dando a coloração rosada para a rocha. Observa-se também o desenvolvimento da textura rapakivi (cristais ovóides de feldspato potássico manteados por plagioclásio); f) Aspecto microscópico dos ABMzG, podendo-se notar o maior desenvolvimento de biotita em relação ao anfibólio.

É muito freqüente, nas fácies deste grupo, o plagioclásio constituir agregados de cristais (Figura 3.5a), por vezes mostrando relações de *synneusis* (conforme Vance 1969) ou de crescimento epitaxial (Dowty 1980) (Figura 3.5b). Tais agregados costumam acompanhar os minerais máficos, sendo mais freqüentes os cristais mais intensamente transformados (descalcificados) nas fácies mais enriquecidas em máficos (GC e BAMzG). Eles ocorrem também nas fácies ABMzG e BMzP, porém nem sempre acompanham as maiores concentrações de máficos.

3.2.2 - Fácies Biotita-Monzogranito Porfirítico.

Os granitos porfiríticos (Figura 3.5c) possuem coloração rosada com tons avermelhados e são formados por fenocristais automorfos a subautomorfos de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino com dimensões geralmente entre 5 e 20 mm imersos numa matriz com cristais de tamanhos variáveis entre 0,2 e 2 mm. Nessas rochas, a matriz constitui cerca de 50 a 80% da rocha e é constituída de cristais subautomorfos a xenomórficos de quartzo, plagioclásio, microclina e proporções variáveis de máficos. Os fenocristais de quartzo mostram-se muitas vezes bordas com padrões serrilhadas, sugerindo evidências de corrosão (Figura 3.5d). Essa fácies também apresenta agregados de plagioclásio (Figura 3.5e) e de máficos (Figura 3.5f) que são, de modo geral, similares aos observados nos ABMzG, porém menos freqüentes com anfibólio escasso ou ausente com uma cloritização mais intensa da biotita (Tabela 3.1). Os intercrescimentos granofíricos são bastante comuns na matriz destas rochas. Muitas vezes cristais de quartzo dispõem-se subparalelamente aos contornos dos fenocristais de feldspato alcalino, marcando o crescimento dos mesmos.

3.2.3 - Fácies Leucomonzogranito Equigranular Grosso (LMzG), Médio (LMzMp e LMzMt) e Fino (LMzF).

A fácies LMzG é caracterizada por sua textura granular hipidiomórfica grossa e coloração rosada com tons avermelhados devida à maior proporção de feldspato alcalino em relação às fácies precedentes (Figura 3.6a). A biotita e o anfibólio ocorrem como minerais reliquias de pequenas dimensões e dispersos entre os minerais essenciais. A clorita torna-se relativamente mais abundante nesta fácies (Tabela 3.1, Figura 3.6b), ocorrendo como grãos dispersos ou associa

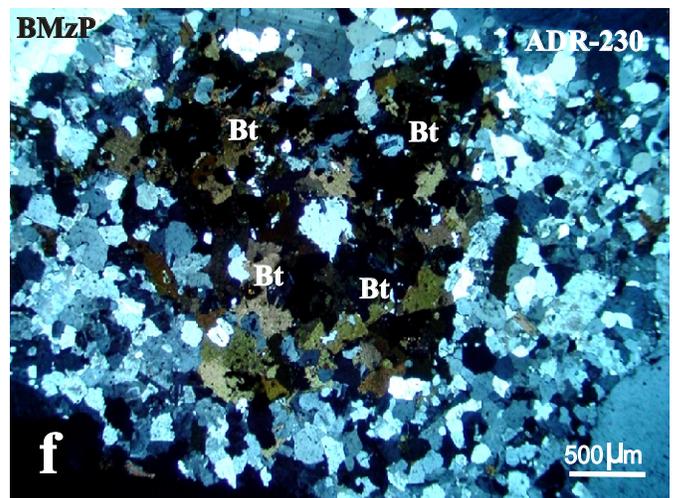
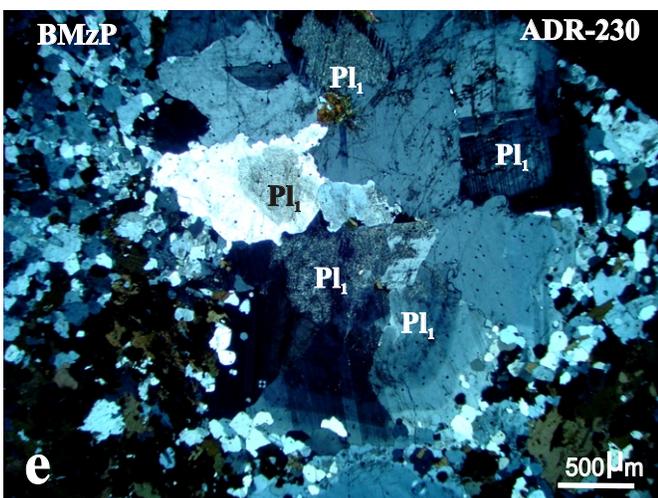
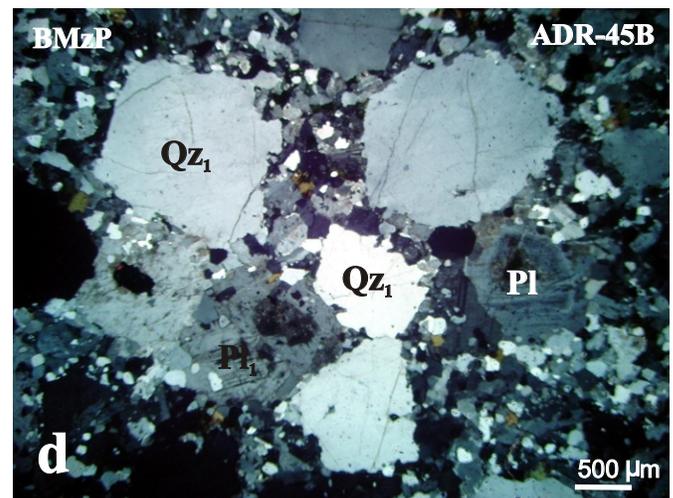
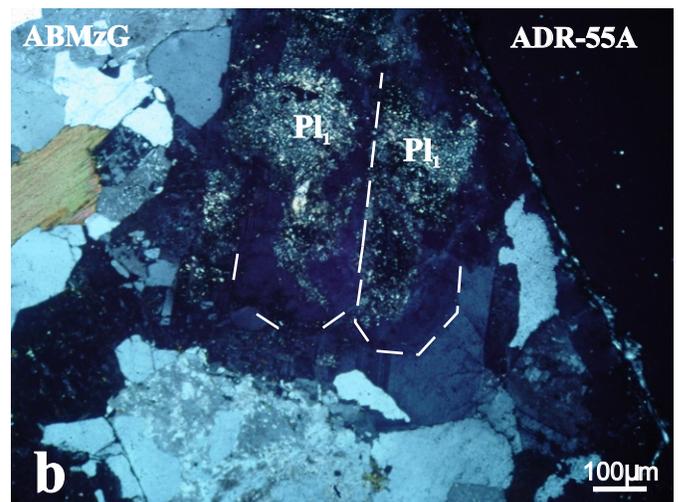
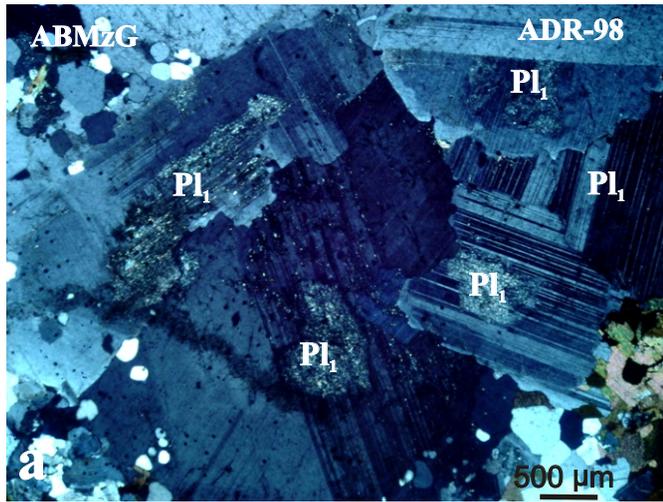


Figura 3.5- Aspectos texturais das fácies ABMzG e BMzP (fotomicrografias em nicóis cruzados; a, b, d, e, f) - a) Concentrações de cristais de plagioclásio com núcleos alterados para sericita; b) Cristais médios, subautomorfos de plagioclásio mostrando relações de *synneusis*; c) Aspecto macroscópico da fácies BMzP mostrando textura rapakivi; d) Aspecto microscópico da fácies BMzP, observando-se evidências de corrosão nas bordas dos cristais de quartzo; e) Agregados de cristais de plagioclásio imersos em matriz fina do BMzP; f) concentrações de biotita+ acessórios na fácies BMzP.

-dos com restos de biotita. Esta fácies ocorre muito localmente, sempre associada com os ABMzG e BMzP. É muito semelhante em termos do aspecto de quartzo e feldspatos às fácies BAMzG e ABMzG. No entanto, difere composicionalmente das mesmas no conteúdo de máficos. Os intercrescimentos granofíricos são muito freqüentes na fácies LMzG.

Os aspectos texturais das fácies LMzMp e LMzMt são similares. Essas rochas exibem uma textura equigranular média com conteúdo muito reduzido de minerais ferromagnesianos dando caráter hololeucocrático para essas rochas (Figura 3.6c). Distinguem-se das fácies GC, BAMzG, ABMzG por seu menor conteúdo de máficos (Tabela 3.1) e da fácies LMzG por possuírem granulação mais fina.

As rochas da fácies LMzMt constituem as estruturas circulares (vide figura 2.2) que ocorrem no centro do corpo. Elas possuem coloração que varia de rosa a avermelhada e mostram ligeiros contrastes texturais, possibilitando separar dois tipos. O predominante possui textura equigranular média com pontuações escuras esparsas e se localiza nas bordas dessas estruturas, enquanto que o segundo ocupa o centro das mesmas, exhibe textura equigranular fina e é ligeiramente mais rico em feldspato alcalino do que tipo o anterior. O segundo tipo é muito semelhante ao LMzF, embora possua menor quantidade de máficos e granulação um pouco mais grossa.

Ao microscópio, os LMzMt exibem textura equigranular hipidiomórfica, sendo o seu principal constituinte máfico a biotita, muitas vezes alterada para clorita. Esta fácies apresenta fluorita em quantidades modais significativas. O plagioclásio acha-se pouco alterado e suas composições são mais sódicas em relação às das demais fácies. Os agregados de plagioclásio mais cálcico e de máficos estão ausentes e fases como muscovita e albita intergranular são freqüentes nessas rochas.

Os LMzMp ocorrem em porções muito localizadas dentro do corpo sempre como enclaves (Figura 2.17a) na fácies ABMzG. Texturalmente assemelha-se ao LMzMt predominante, porém, como visto anteriormente, diferencia-se dos mesmos por apresentar anfibólio modal e restos de clinopiroxênio.

Os leucomonzogranitos de granulação fina (LMzF) apresentam coloração avermelhada, com pequenas pontuação escuras e textura equigranular fina (Figura 3.6e). Alguns tipos exibem coloração rosada, menor quantidade de máficos e textura muito fina; outros mostram caráter por-

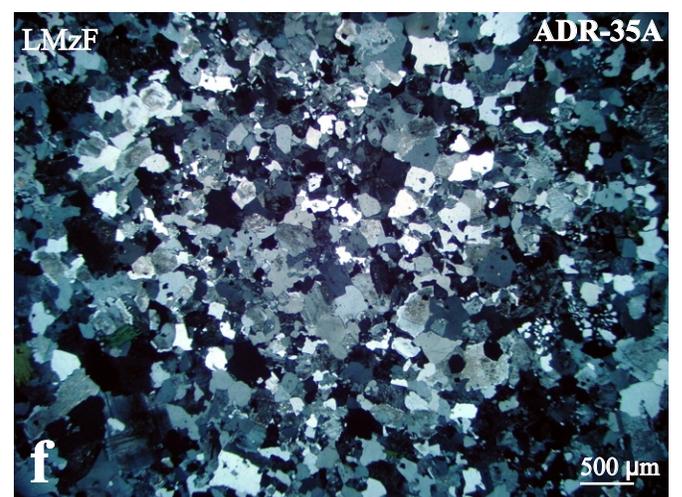
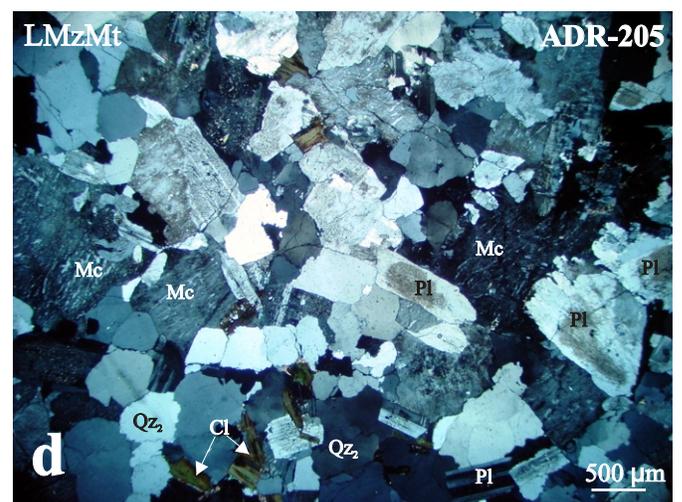
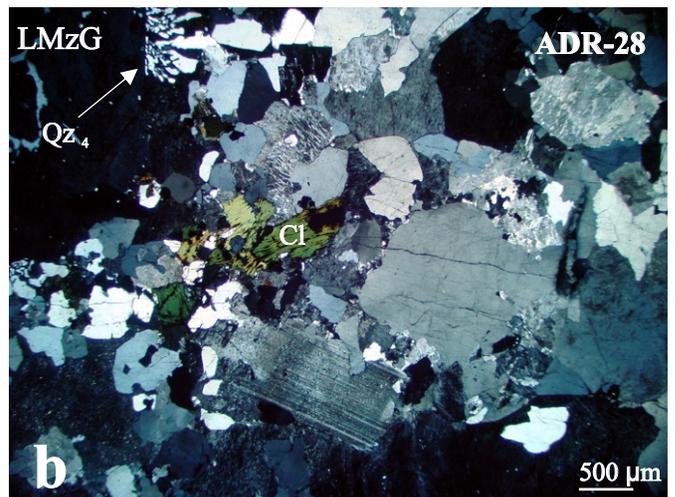
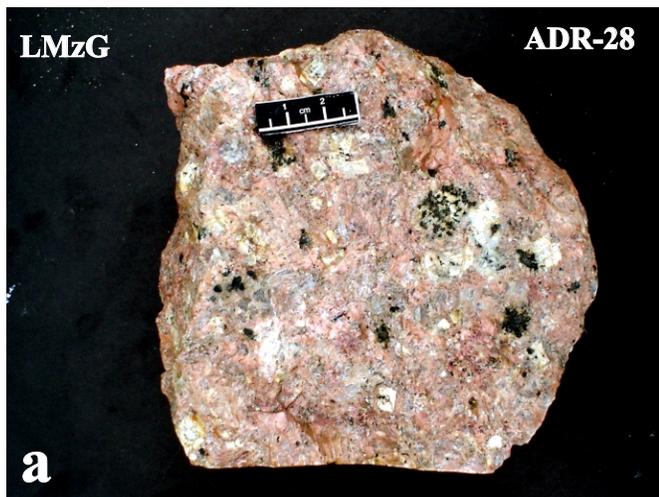


Figura 3.6- a) Aspecto texturais das fácies de leucogranitos do corpo Bannach: Aspecto macroscópico (a) e microscópico (b) da fácies LMzG; feição macroscópica (c) e microscópica (d) da fácies LMzMt; aspecto macroscópico (e) e microscópico (f) da fácies LMzF (b, d, f são fotomicrografias em nicóis cruzados).

firítico, com fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino, e razões fenocristais/matriz muito baixas, com a matriz constituindo mais de 90% da rocha. A textura da rocha típica desta fácies se assemelha muito com a matriz das rochas porfiríticas (BMzP). Microscopicamente estas rochas possuem textura equigranular hipidiomórfica a xenomórfica (Figura 3.6f) e baixos conteúdos modais de minerais máficos, representados por clorita e, subordinadamente, biotita (Tabela 1). Em algumas amostras observa-se o maior desenvolvimento de feldspato potássico, quartzo e plagioclásio, dando um aspecto porfirítico às mesmas, sendo comum o desenvolvimento de intercrescimentos granofíricos entre fenocristais de feldspato alcalino e quartzo. Essas rochas ocorrem como diques sempre associados com a fácies BMzP cortando indistintamente as demais fácies do corpo. Oliveira (2001) também descreve a ocorrência no corpo Redenção de diques similares de leucogranitos de granulação fina, porém com composições sienograníticas.

3.3 – ASPECTOS TEXTURAIS DOS MINERAIS PERTENCENTES ÀS DIFERENTES FÁCIES .

Como foi visto anteriormente, o Granito Bannach apresenta variações mineralógicas e texturais que permitiram separar oito fácies petrográficas distintas, que devido às suas afinidades composicionais foram agrupadas em três conjuntos distintos. Será apresentada a seguir uma descrição detalhada dos aspectos texturais dos principais minerais dos GC, BAMzG e ABMzG, e após somente os aspectos particulares das demais fácies, com ênfase nas fácies porfiríticas e nos leucomonzogranitos, tendo em vista que as texturas dos diversos minerais tendem se repetir nas diferentes fácies.

3.3.1 – Fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio com textura equigranular Grossa.

Quartzo - De acordo com o hábito, tamanho, forma e associação com outros minerais foi possível reconhecer 4 tipos petrográficos distintos de quartzo: a) Qz_1 - São cristais com dimensões similares ou ligeiramente inferiores às dos feldspatos; suas faces cristalinas são geralmente hipidiomórficas e mostram contatos retilíneos com minerais adjacentes (Figura 3.7a). A maioria dos cristais de quartzo presentes nas rochas é desse tipo; b) Qz_2 - Apresenta-se sob forma de finos cristais xenomórficos, sempre associado aos agregados de máficos e particularmente, àque-

les com anfibólio sendo substituído por biotita (Figura 3.7b). Dall' Agnol (1982) e Dall' Agnol et al. (1999c), estes baseados em estudos experimentais em condições oxidantes realizados no Granito Jamon, sugerem a existência de reações peritéticas entre anfibólio e líquido, levando à formação de biotita. Tais reações gerariam um excesso de sílica representado pelo Qz_2 ; c) Qz_3 - Esta forma de quartzo é observado na fácies ABMzG, principalmente em amostras em que a razão biotita/anfibólio é muito alta. O Qz_3 é xenomórfico, de granulação fina e, por vezes, apresentam-se como cristais arredondados. Forma pequenas inclusões localizadas nas bordas dos cristais de feldspato (Figura 3.7c e d), marcando as zonas de crescimento desses cristais ou, mais raramente, como cristais isolados de dimensões inferiores às do Qz_1 ; d) Qz_4 - esse tipo textural de quartzo possui forma de vermículas ou gotículas, de pequenas dimensões (<0,1mm), formando intercrescimentos granofíricos (Figura 3.7e) geralmente nas porções marginais dos fenocristais de microclina e, por vezes, envolvendo completamente cristais de menores dimensões presentes na matriz da rocha.

Os cristais de microclina são geralmente hipidiomórficos, com tamanhos que variam de 2 - 10 mm. Seus contatos são irregulares com o plagioclásio, mostrando -se retilíneos com o quartzo e biotita (Figura 3.7f). Formam por vezes, intercrescimentos granofíricos com o Qz_4 . Cristais de Qz_3 acham-se inclusos nas bordas dos cristais de microclina marcando duas zonas uma central (Mc_1) e outra na borda (Mc_2) que possuem provavelmente composições distintas (vide figura 3.7d). Raramente mostra relação de contato com o anfibólio, revelando sua não afinidade com o mesmo. A microclina é fraca a moderadamente peritética e a forma das lamelas sódicas nos seus cristais varia desde filmes ondulados (Figura 3.8.d), até veios e manchas irregulares (*patches*) (Figura 3.8e). São comuns nessas rochas, agregados de cristais de microclina circundando cristais isolados de plagioclásio (Figura 3.8f). Por vezes, no contato entre dois cristais de feldspato, ocorre a formação de albita intergranular em pequenos grãos isolados, assim como em forma de coroas trocadas (Figura 3.8a) (Smith 1974) ou de dedos, estes em contato Mc e Pl (Figura 3.8b). Cristais de microclina parcialmente substituídos por albita em tabuleiro de xadrez (Smith 1974 - Figura 3.8c) são raramente observados, nestas fácies.

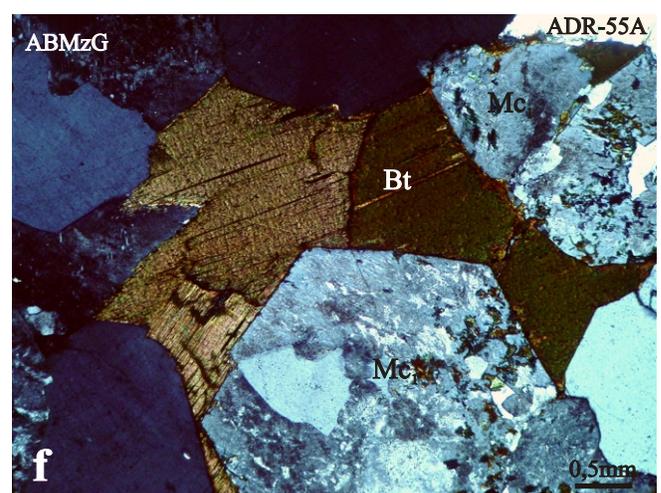
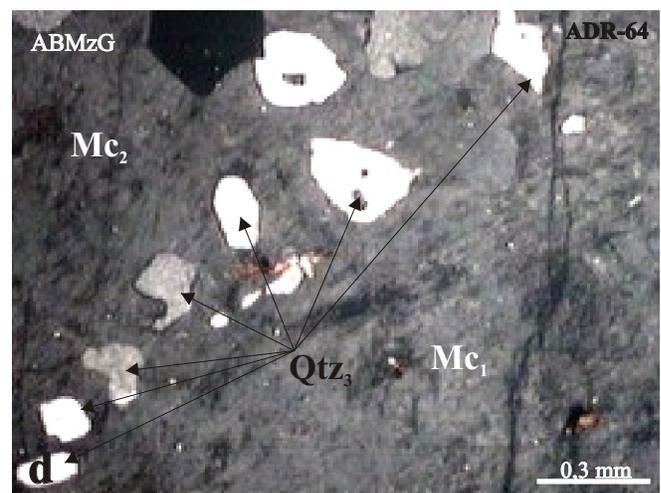
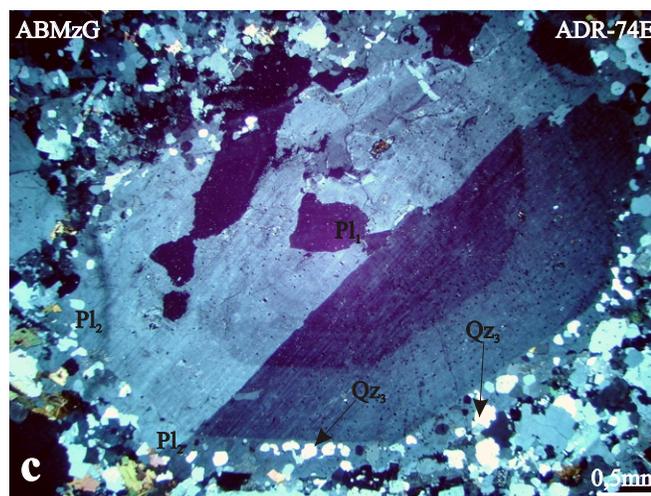
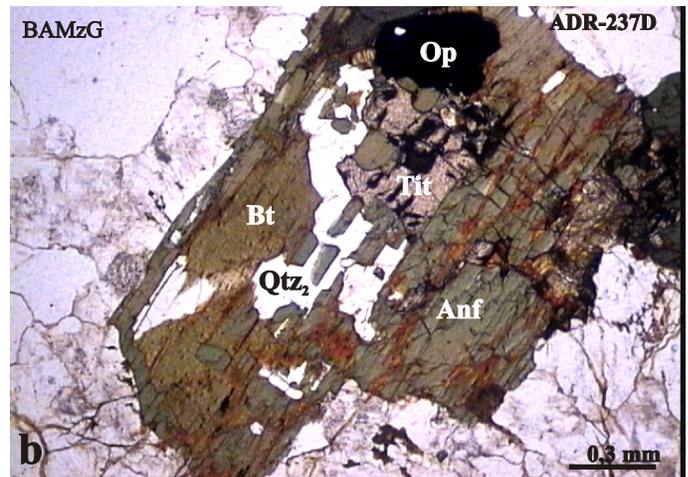
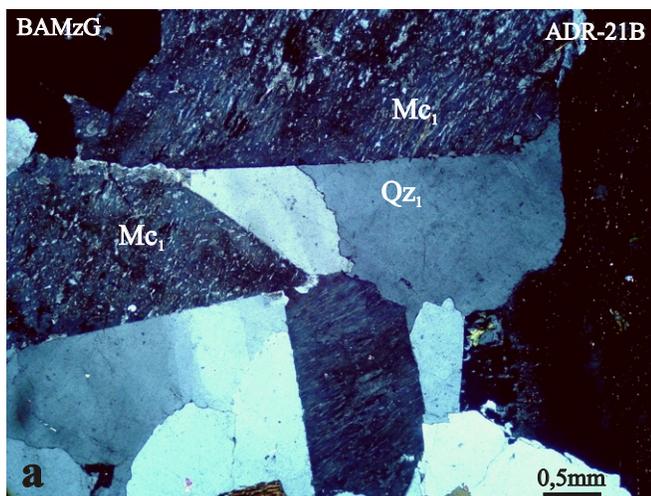


Figura 3.7- Aspectos texturais microscópicos das fácies BAMzG, ABMzG e LMzG (fotomicrografias em nicóis cruzados em a, c, d, e, f e paralelos em b) - a) Contatos retilíneos entre feldspato potássico (Mc₁) e quartzo (Qz₁); b) Cristal disforme de quartzo (Qz₂) associado a restos de anfibólio (Anf), fortemente substituído por biotita (Bt). Notar inclusões de anfibólio dentro dos cristais de quartzo; c) Cristal zonado de plagioclásio com inclusões alinhadas de quartzo (Qz₃) em sua borda sódica, separando duas zonas composicionalmente distintas; d) Inclusões de cristais de quartzo (Qz₃) xenomórficos, englobados por porções de borda da microclina; e) Intercrescimento granofírico entre quartzo (Qz₄) e microclina; f) Contato retilíneo entre cristais de feldspato potássico e biotita, sugerindo contemporaneidade entre estas duas fases.

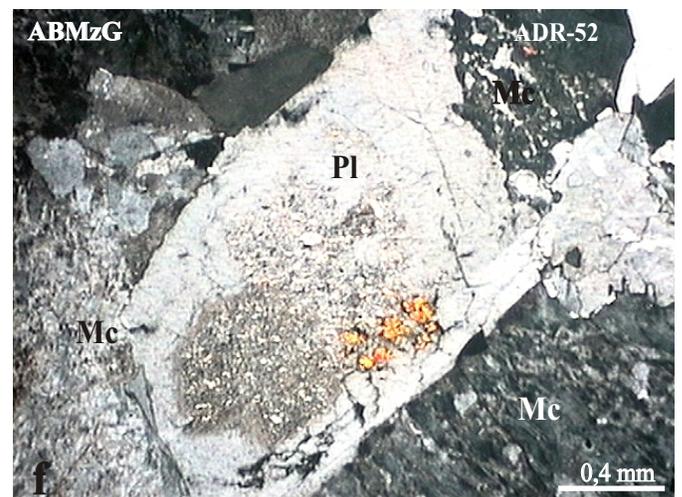
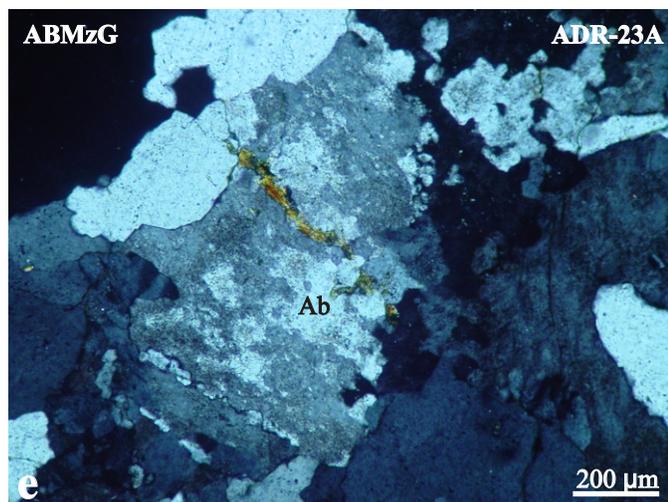
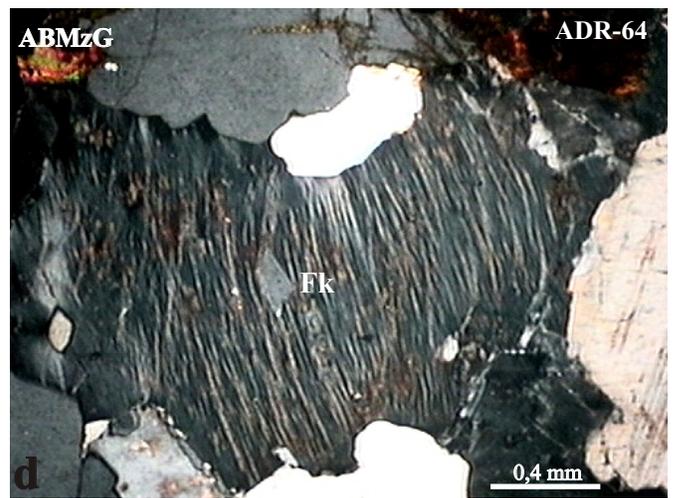
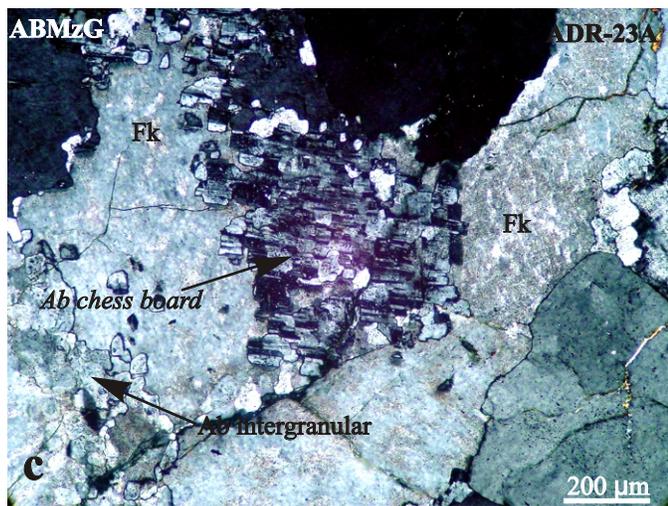
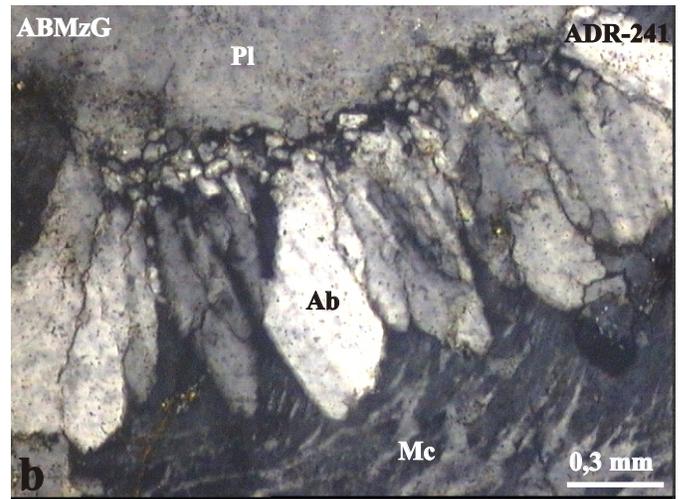
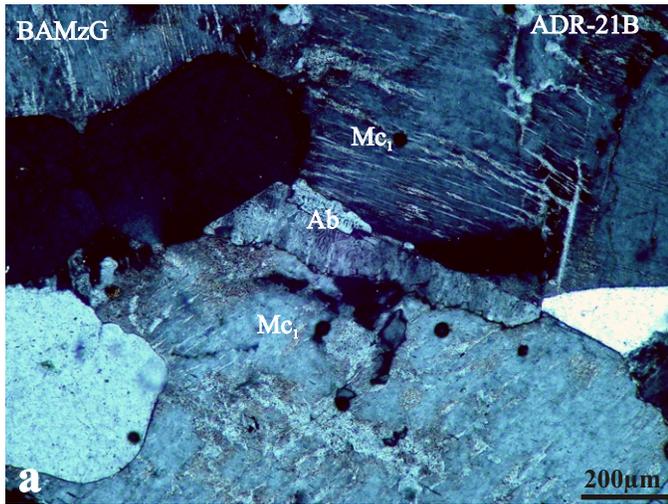


Figura 3.8 - Aspectos texturais microscópicos das fácies BAMzG e ABMzG (fotomicrografias em nicóis cruzados) - a) Desenvolvimento de albita em coroas trocadas no contato entre dois cristais de Mc_1 ; b) Albita intergranular em formas de dedos, formando-se no contato entre Pl_1 e Mc_1 ; c) Cristais de feldspato potássico substituído por *chess board albite* (Smith 1974); d) Cristal de feldspato potássico perítico com lamelas sódicas na forma de filmes; e) Cristal de feldspato potássico perítico com desenvolvimento de albita em veios e manchas; f) Cristal de plagioclásio circundado por cristais de microclina, sugerindo à sua formação anterior em relação à microclina.

O plagioclásio exibe formas hipidiomórficas fornecendo geralmente seções quadráticas pouco alongadas de dimensões que variam de 3 a 12 mm. Os seus contatos são regulares com o quartzo e a biotita e muito irregulares com o feldspato alcalino. A forte saussuritização dos cristais de plagioclásio, principalmente nas GC e BAMzG, dificulta a determinação da composição dos mesmos, porém em raras seções, paralelas a (100), onde se tornam visíveis as duas direções de clivagens, foi possível sua determinação. Suas composições porções centrais são geralmente de oligoclásio cálcico ($\approx An_{24}$), podendo chegar a andesina sódica ($\approx An_{30}$). Nas bordas as composições são mais sódicas variando de oligoclásio sódico ($\approx An_{15}$) até albita pura (An_0). Por vezes essa mudança composicional de oligoclásio cálcico para sódico é marcada por inclusões de Qtz_3 nas bordas dos cristais, limitando zonas de composição mais cálcica (centro do cristal), (Pl_1), de outras mais sódicas (bordas), (Pl_2).

O zoneamento mais comum nos cristais de plagioclásio é do tipo normal, com os núcleos mais cálcicos mostrando-se geralmente corroídos e alterados para sericita-muscovita e epidoto. O maclamento mais freqüente é do tipo albita, polissintético, e mais raramente, Carlsbad. É comum o desenvolvimento de intercrescimentos mirmequíticos do tipo em bulbo ou planar no contato $Pl-Mc$, com uma borda albítica associada.

São freqüentes, nos GC e BAMzG e bem menos na fácies ABMzG, agregados de plagioclásios circundando cristais de anfibólios (Figura 3.9a). Inclusões de anfibólio são observadas nas bordas sódicas dos cristais de plagioclásio. Tem-se, localmente, em particular em amostras da fácies ABMzG, cristais de plagioclásio envolvendo o feldspato alcalino, sendo os contatos entre eles bastante irregulares, caracterizando a textura rapakivi. Texturas anti-rapakivi também ocorrem (Figura 3.9b).

Os minerais máficos estão mais desenvolvidos nos GC e BAMzG, as quais possuem maior conteúdo desses minerais em relação as demais rochas estudadas. Agregados de anfibólio, opacos, biotita, titanita, apatita, zircão são freqüentemente observados nessas rochas.

Os cristais de clinopiroxênio possuem coloração amarelo pálido (Figura 3.9c), sendo relativamente comuns nos GC e nos agregados de minerais máficos do BAMzG, geralmente como relíquias envoltos por anfibólio. Este piroxênio é opticamente muito similar ao descrito por Dall'Agnol et al. (1999c) na fácies BAMzG do Granito Jamon e nos diques associados aos granitos Jamon e Musa (Gastal, 1987, 1988) classificados de dacito pórfiro e granito porfirítico, assim como do identificado por Oliveira (2001) nas fácies menos evoluídas do Granito Redenção.

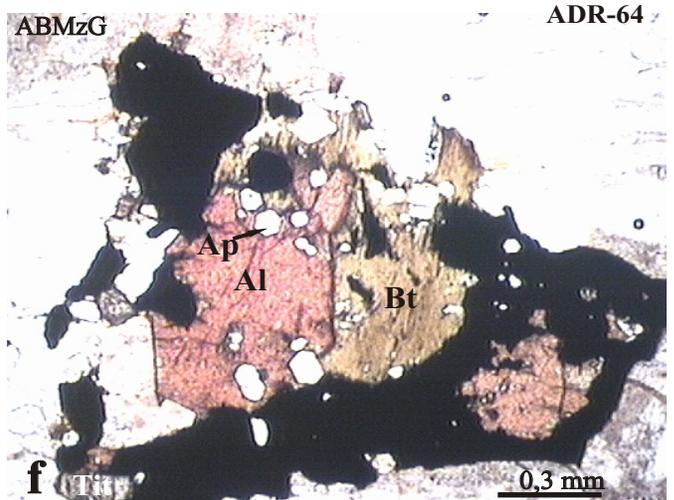
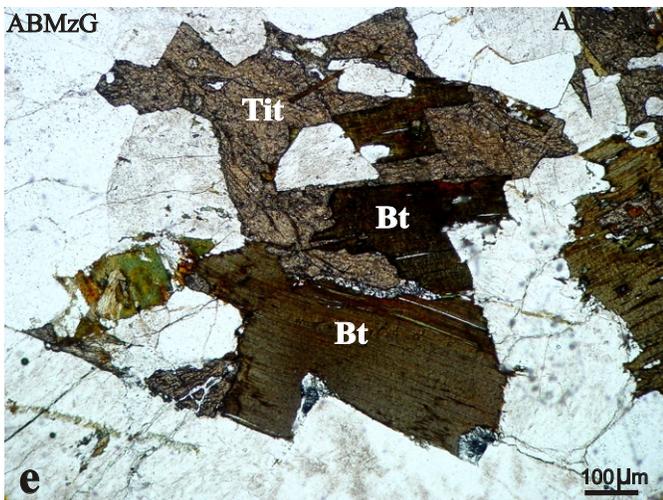
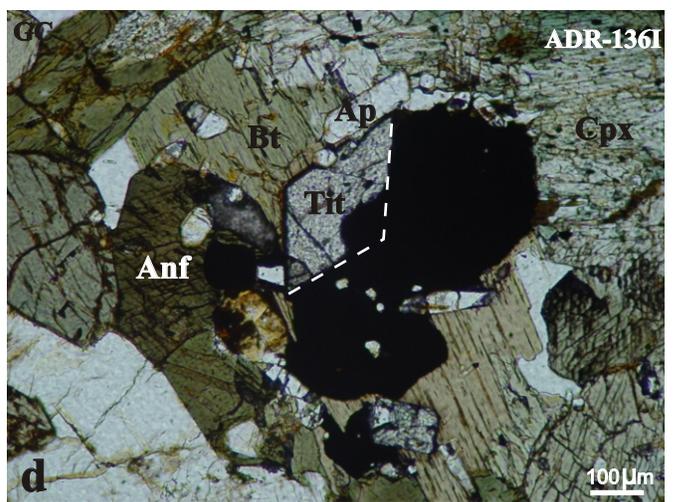
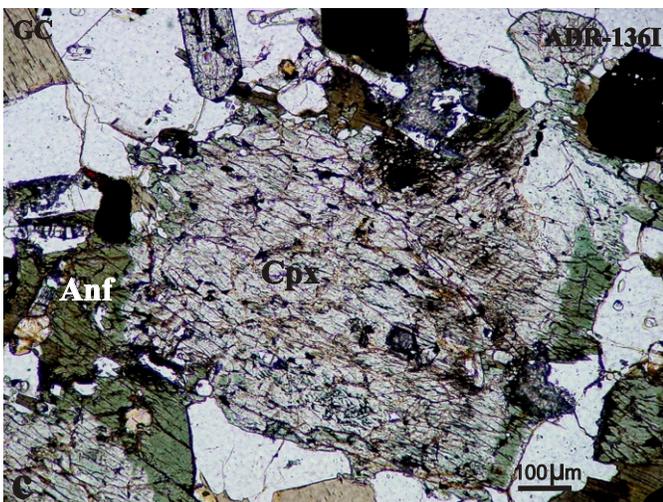
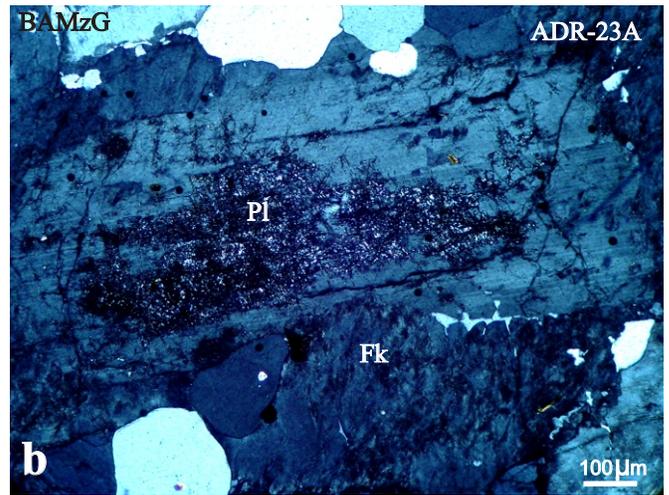
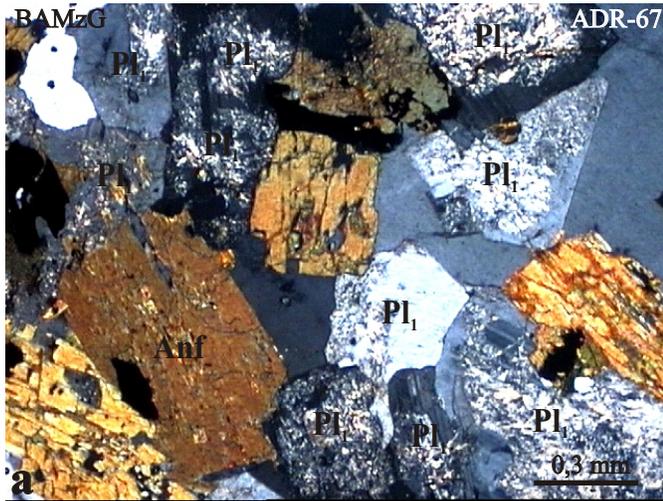


Figura 3.9 - Aspectos texturais microscópicos das fácies GC, BAMzG e ABMzG (fotomicrografias em nicóis cruzados em a, b; paralelos em c, d, e, f) - a) Agregados de cristais de plagioclásio e anfibólio associados; b) Fenocristal de plagioclásio com textura anti-rapakivi; c) Cristal de clinopiroxênio parcialmente substituído por anfibólio; d) Cristal automórfico de titanita (Tit). Notar que os contatos com a biotita (Bt) são retilíneos, ao passo que com os opacos são irregulares; e) Cristal xenomórfico de titanita associado com biotita; f) Cristal de allanita (Al) associado a opacos e biotita.

Os anfibólios apresentam-se geralmente sob forma de cristais xenomórficos, porém algumas seções mostram faces cristalinas bem definidas. Os cristais de anfibólio mostram tendência a associar-se com o plagioclásio (vide figura 3.9a), tanto na forma de agregados como em cristais isolados. Eles englobam constantemente inclusões de zircão, apatita e opacos. A substituição parcial por biotita, com desenvolvimento de Qtz_2 intimamente associado, é muito comum.

Os cristais de biotita mostram-se em lamelas hipidiomórficas com dimensões que variam de 0,3 a 4 mm. Nessas rochas, a biotita ocasionalmente é substituída parcialmente por óxidos de ferro e clorita, sendo que essas transformações são mais intensas nas rochas mais pobres em máficos. O contato da biotita com feldspatos e quartzo são retilíneos e interpenetrados com minerais opacos, titanita e allanita. A biotita tende a possuir uma forma anédrica quando substitui os cristais de anfibólio.

Os cristais de titanita são ora automórficos (Figura 3.9d), ora xenomórficos (Figura 3.9e). Os primeiros mostram-se ou inclusos em cristais de biotita ou em contato regular com a mesma. Quando em contato com os opacos e apatita suas bordas mostram-se irregulares. Os cristais xenomórficos são levemente pleocróicos de coloração amarronzada, associando-se com biotita ou, por vezes, bordejando minerais opacos.

A allanita apresenta-se geralmente em seções prismáticas hipidiomórficas com pleocroísmo moderado. O zoneamento é constante, geralmente está associada a minerais opacos e mostra inclusões de apatita e zircão (Figura 3.9f). Por vezes acha-se inclusa em biotita.

O zircão forma pequenos cristais automorfos, prismáticos, associados geralmente com agregados de máficos e inclusos em biotita e allanita. São freqüentemente zonados e mostram evidências de metamictização (Figura 3.10a).

A apatita é encontrada como finos cristais automórficos (< 0,3mm), geralmente inclusos em biotita e allanita.

Os minerais secundários observados nessas rochas são sericita-muscovita ± epidoto, originados pela alteração dos núcleos de composição mais cálcica de plagioclásio; a partir de feldspato alcalino; clorita derivada da biotita (Figura 3.10b), esta de modo incipiente; fluorita, em pequenos grãos no interior do plagioclásio ou associados aos minerais máficos, principalmente a biotita.

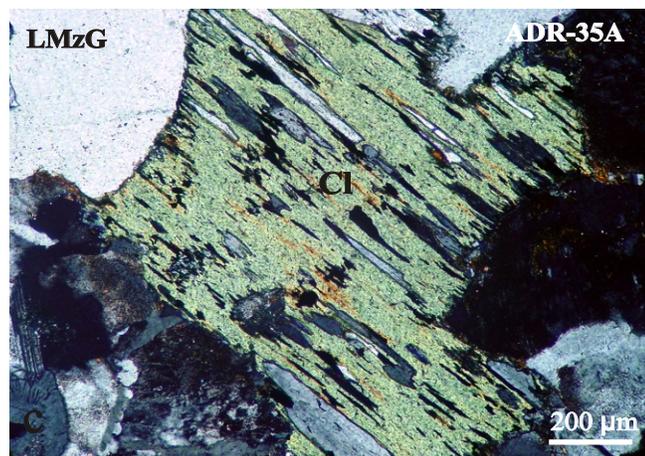
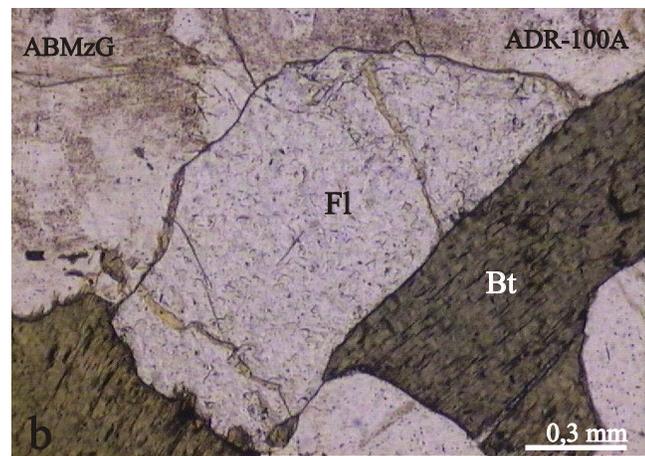
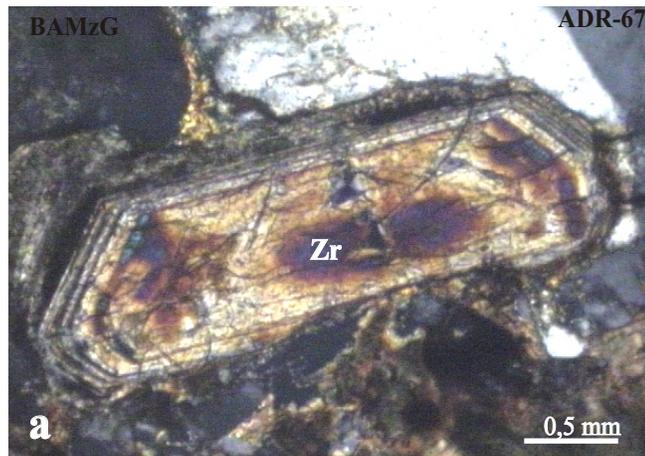


Figura 3.10 - a) Cristal automorfo zonado de zircão (Zr) associado com minerais máficos; b) Cristal subautomorfo de fluorita (Fl) associado com biotita e c) Cristal de clorita formado a partir da desestabilização da biotita.

3.3.2 - Fácies biotita-monzogranito porfirítico (BMzP).

A fácies BMzP se diferencia dos GC, BAMzG e ABMzG pela presença de matriz e pelo menor conteúdo modal de minerais ferromagnesianos, sugerindo que é mais evoluída que as mesmas. A matriz dessas rochas é formada por tipos morfológicos similares a Qz_3 , Mc_2 e Pl_2 , e texturalmente distintos daqueles que formam os fenocristais os quais são análogos a Qz_1 , Mc_1 e Pl_1 .

Os cristais de Qz_1 apresentam-se como fenocristais, geralmente fraturados com fortes sinais de corrosão, formando agregados (Figura 3.5d). Os cristais de Qz_3 possuem formas xenomórficas irregulares ou arredondados, estando presente na matriz e tendo dimensões entre 0,1 a 0,2 mm, semelhantes àquelas da segunda geração de feldspatos (Mc_2 e Pl_2). Ocorre também como inclusões nas bordas dos fenocristais de feldspato alcalino e plagioclásio marcando zonas distintas dos mesmos.

A microclina apresenta-se de dois modos: a) como fenocristais (Mc_1), freqüentemente englobando nas suas bordas inclusões de cristais de Qz_3 orientados subparalelamente aos contornos da Mc (vide figura 3.7d), dando-lhe um aspecto poiquilítico. São comuns intercrescimentos granofíricos entre a microclina e o quartzo (Qz_4); b) em cristais xenomórficos com contornos irregulares e dimensões que variam entre 0,2 a 1 mm, presentes na matriz (Mc_2). As lamelas sódicas das pertitas são menos freqüentes e aparecem na forma de finos filmes, assemelhando-se às presentes nas porções de borda dos cristais de Mc_1 . As inclusões são raras ou ausentes.

Os agregados de plagioclásio descritos nas fácies portadoras de anfibólio também são observados nesta fácies (Figura 3.5e), porém nunca estão associados com anfibólio e são mais raros do que nas rochas anteriores. Assim como no caso da microclina, é possível distinguir dois tipos de plagioclásio com base em suas relações texturais, morfologia, zoneamento e inclusões: Fenocristais dispersos ao longo da rocha (Pl_1) e grãos de dimensões menores (0,5-1mm) presentes na matriz (Pl_2). O primeiro tipo (Pl_1) é mais precoce e mais cálcico e assemelha-se com o plagioclásio dominante nas fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio (GC, BAMzG e ABMzG). O segundo tipo (Pl_2) possui composição similar às bordas dos cristais de Pl_1 , variando de oligoclásio sódico (An_{16}) para albita (An_5) nas bordas. O zoneamento é menos evidente que o tipo anterior, sendo, porém, nítidas as bordas albiticas, normalmente finas e regulares. Apresenta contatos bastante irregulares com a microclina, sugerindo a corrosão do

plagioclásio. Nos contatos *Pl-Mc* são comuns bordas albiticas no plagioclásio, associadas ou não a mirmequitas. Os cristais de Pl_2 são subautomorfos a xenomórficos, fornecendo seções retangulares curtas. Encontram-se menos intensamente transformados que os cristais de Pl_1 , fornecendo seções límpidas. Quando transformados, observa-se apenas o desenvolvimento de sericita-muscovita, não ocorrendo formação de epidoto e fluorita.

Os cristais de anfibólio, quando presentes, são de pequenas dimensões (0,1 -1,5mm), com formas xenomórficas, contornos bastantes irregulares e mostram-se intesamente alterados ou como relíquias em cristais de biotita. Geralmente estão associados com biotita, titanita e apatita.

A biotita e os minerais acessórios são menos abundantes, porém texturalmente semelhantes em relação aos descritos nas fácies com conteúdo expressivo de anfibólio.

3.3.3 - Fácies Leucomonzogranito Equigranular Grosso (LMzG), Médio (LMzMp e LMzMt) e Fino (LMzF).

Os LMzG apresentam textura similar às outras rochas de granulação grossa, no entanto diferem dos mesmos em termos mineralógicos. Nestas rochas o Qz_1 é o tipo dominante, e os tipos Qz_3 e Qz_4 são mais comuns do que nos GC, BAMzG e ABMzG, ao passo que o Qz_2 está ausente. Os intercrescimentos granofíricos e mirmequíticos, bem como a ocorrência de albita intergranular são mais freqüentes do que nas rochas precedentes. Os plagioclásios possuem composições ligeiramente mais sódicas ($=An_{20}$) e as alterações dos cristais de feldspato alcalino para argilo - minerais, assim como de biotita para clorita são mais marcantes.

As fácies LMzMp e LMzMt, são texturalmente semelhantes, ambas apresentando granulação média e conteúdo de minerais ferromagnesianos inexpressivo (no entanto diferenciam-se pela presença de anfibólio modal e relíquias de clinopiroxênio nos primeiros), refletido no índice de cor destas rochas. Diferentemente das fácies relativamente ricas em anfibólio (GC, BAMzG e ABMzG), os plagioclásios destas fácies não tendem a formar agregados e são relativamente bem preservados. Sua composição é geralmente oligoclásio sódico ($=An_{14}$), muito similar à das bordas dos cristais de Pl_1 sendo muito semelhante também à da fácies LMzF, porém com granulação ligeiramente superior. A formação de albita em tabuleiro de xadrez por substituição, assim como a de albita intergranular com textura em coroas trocadas, é marcante nessas rochas. Cristais de clorita, desenvolvidos a partir da alteração de biotita, são

mais abundantes nessas rochas do que nas demais. O Qz₃ é muito comum nessas rochas, ao passo que o Qz₂ é muito raro.

A fácies leucomonzogranito equigranular fino apresenta raras pontuações escuras e, por vezes, fenocristais esparsos. Os minerais essenciais são equigranulares, texturalmente homogêneos, sendo muito similares a Qz₃, Mc₂ e Pl₂, e aos minerais félsicos da matriz da rocha BMzP. Por vezes a presença de fenocristais de minerais essenciais modifica a textura da rocha e torna os LMzF confundíveis com os BMzP, embora, macroscopicamente sejam em geral bem distintos. Os LMzF são muito pobre em máficos e os raríssimos cristais de anfibólio são muito finos, associam-se sempre com biotita, e mostram-se fortemente alterados.

3.4 - ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO DOS MINERAIS

A seqüência de cristalização dos minerais presentes no corpo Bannach foi definida a partir do estudo petrográfico minucioso de sua mineralogia, levando em conta os conteúdos de anortita do plagioclásio, as razões Pl/Mc, as variações de M e da composição e análise textural de suas fácies. As feições pós -magmáticas também foram utilizadas como critérios para definir a ordem de formação dos minerais.

3.4.1 – Fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio com textura equigranular Grossa.

As duas principais fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio (BAMzG e ABMzG) foram selecionadas para uma visão geral da evolução da cristalização no corpo granítico (Figura 3.11), uma vez que as mesmas registram tanto aspectos texturais relacionados com as etapas de início de cristalização a mais alta temperatura (BAMzG), como também marcam feições de mais baixa temperatura, de maior importância nas rochas mais evoluídas (ABMzG). Portanto a discussão que segue sobre a ordem de cristalização será feita baseada nessas rochas.

Apatita, zircão, magnetita e ilmenita estão geralmente inclusos em biotita, anfibólio e clinopiroxênio apresentam caráter hipidiomórfico a idiomórfico, sendo os minerais mais precoces na cristalização. O clinopiroxênio, relativamente comum nos BAMzG e muito raro nos ABMzG, começa a cristalizar após estes acessórios, sendo igualmente uma fase precoce, pois é envolvido e

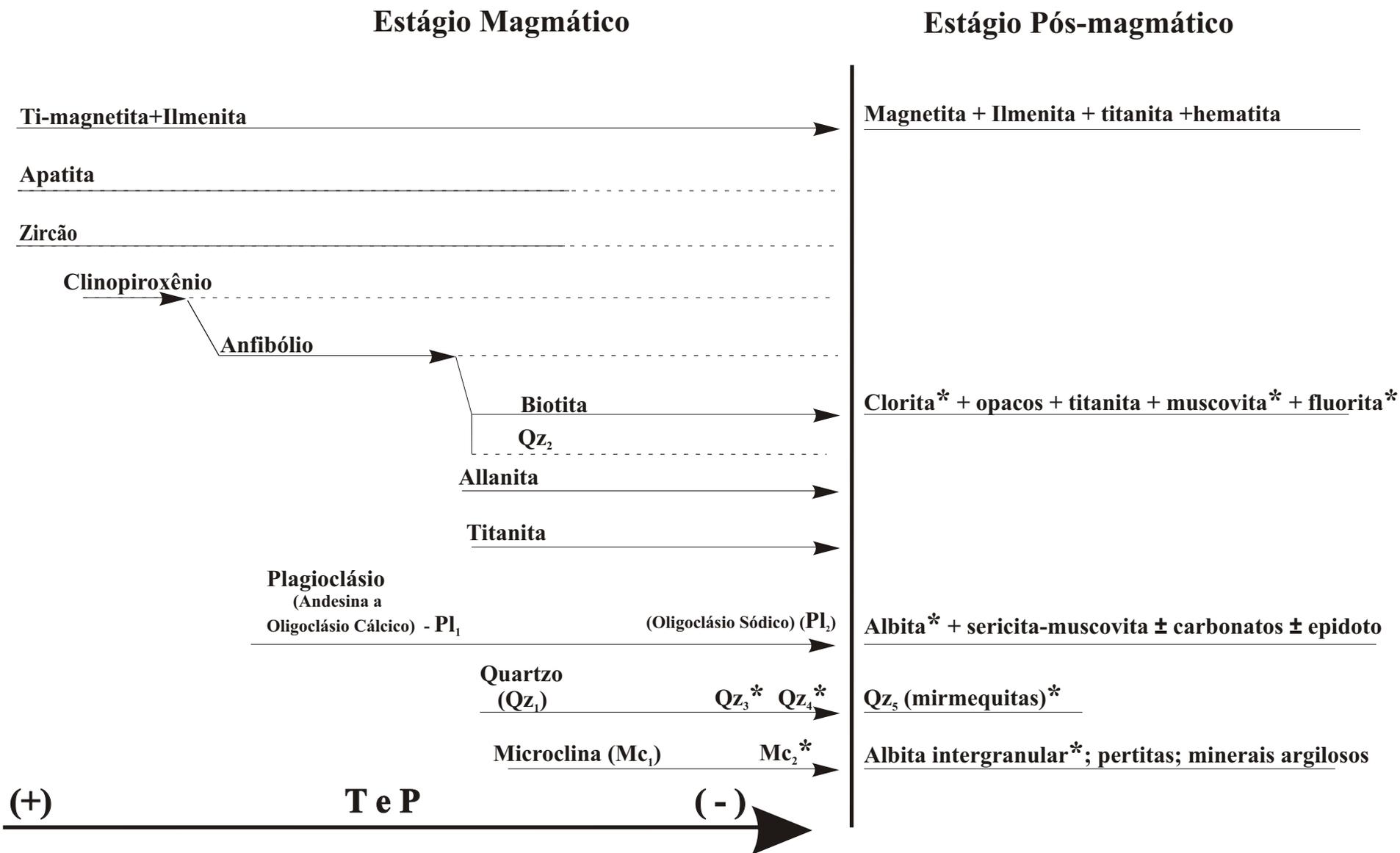


Figura 3.11 - Ordem de cristalização dos diferentes minerais das fácies de granulação grossa portadoras de anfibólio+biotita±clinopiroxênio do Granito Bannach. Fases com asterisco (*) são mais abundantes nas fácies porfíricas e nos leucogranitos.

transformado para anfibólio (vide figura 3.9c), antecedendo os demais minerais na seqüência de cristalização. Cristais de anfibólios geralmente são rodeados por agregados de plagioclásio (andesina e oligoclásio cálcico; vide figura 3.9a), e acham-se, às vezes inclusos nos mesmos, evidenciando que o início da cristalização do anfibólio foi anterior ou concomitante com a dos plagioclásios. Os plagioclásios mais cálcicos foram às primeiras fases essenciais a cristalizarem, o que é evidenciado por ocorrerem como núcleos alterados e corroídos, seguidos de zonas de composição mais sódica, por vezes com inclusão de anfibólio e Qtz₃. O plagioclásio antecede a microclina na seqüência de cristalização, uma vez que agregados de microclina circundam cristais de plagioclásio (vide Figura 3.8f). Após o plagioclásio, dá-se o início da cristalização do Qtz₁, o qual mostra contatos regulares retilíneos e tamanhos semelhantes em relação ao feldspato potássico, cujo início de cristalização é apenas ligeiramente mais tardio (vide figura 3.7a). Com o avanço da cristalização magmática o quartzo pode se apresentar, ainda, do seguinte modo: a) associado a agregados de minerais máficos, principalmente incluso em biotita na forma de Qz₂; b) como inclusões nas bordas dos cristais de microclina (Qz₃), englobados nos estágios finais da cristalização; (c) formando intercrescimentos granofíricos magmáticos muito tardios entre quartzo (Qz₄) e feldspato alcalino muito comuns nas rochas mais evoluídas e presente apenas localmente na fácies ABMzG.

A microclina forma cristais com faces cristalinas menos bem definidas que os demais minerais félsicos, em geral xenomórficos a hipidiomórficos, sugerindo que a mesma iniciou sua cristalização ligeiramente após o Qz₁. Inclusões de allanita em biotita são freqüentes, sugerindo que a primeira é anterior à formação da biotita.

Como visto anteriormente, a titanita ocorre tanto como cristais idiomórficos, como xenomórficos. Os primeiros ocorrem freqüentemente associados a cristais de biotita (vide Figura 3.9d) e microclina, em aparente equilíbrio, sendo que esta relação nunca é observada com cristais de anfibólio ou plagioclásio, indicando que a titanita sucede o Pl₁, anfibólio e Qz₁, tendo iniciado sua cristalização, possivelmente ao mesmo tempo, que a da biotita, antecedendo a Mc₁. Estas evidências sugerem que a formação da titanita pode estar associada com a desestabilização do anfibólio. Dall'Agnol et al. (1999c), sugerem que a titanita só é estável se o magma evoluir em condições oxidantes e em temperaturas mais próximas do *solidus* (<800°C). Provavelmente sua formação está relacionada com a reação peritética entre o anfibólio e o líquido, o qual liberaria cálcio para a formação da titanita. Já os cristais xenomórficos de titanita, que sempre estão

associados com a biotita (vide Figura 3.9e) e por vezes bordejando este mineral, são de formação tardia, provavelmente em estágio *subsolidus*, ligados à desestabilização de ilmenita e biotita.

As inclusões de apatita, zircão, allanita, magnetita e ilmenita na biotita indicam que esta iniciou a cristalização após estes minerais acessórios. Os cristais de biotita são geralmente hipidiomórficos e exibem contornos retilíneos com o feldspato potássico, sugerindo que a cristalização de ambos foi contemporânea. A biotita é produto da substituição parcial ou total de cristais de anfibólio, mas também se desenvolve como cristais independentes diretamente do líquido. Conclui-se que a biotita é tardia na ordem de cristalização, dedução essa consistente com o observado no estudo experimental da fácies hornblenda-biotita-monzogranito do Granito Jamon (Dall’Agnol et al. 1999c).

A albita intergranular, presente comumente em forma de coroas trocadas nos contatos microclina-microclina, tem sua origem ligada a reações de troca com fluidos hidrotermais tardios (Dall’Agnol 1980, Teixeira & Dall’Agnol. 1991) ou a processos de exsolução no feldspato alcalino (Smith 1974), em estágio *subsolidus*.

As transformações deutéricas levaram a formação de fases secundárias. A mais importante delas, em todas as fácies, é a saussuritização, acompanhada da descalcificação do plagioclásio, da qual resultaram albita, sericita-muscovita, fluorita e, bem menos, epidoto e carbonatos. A desestabilização da biotita é bastante freqüente nas fácies mais evoluídas levando à formação de clorita, óxidos de ferro, epidoto, fluorita, muscovita e titanita, sendo esta última desenvolvida ao longo das clivagens da biotita, esteja esta totalmente cloritizada ou não. A percolação de fluidos foi importante no final da cristalização sem ser, no entanto, muito intensa. Eles foram os principais responsáveis pela formação de albita intergranular, clorita e fluorita, bem como pela saussuritização e descalcificação do plagioclásio.

3.4.2 – Fácies biotita-monzogranito porfirítico (BMzP).

As rochas porfiríticas diferem das rochas anteriores pela ausência de clinopiroxênio e anfibólio e por seu caráter porfirítico com altas razões fenocristal/matriz. No entanto as relações texturais dos minerais essenciais desta fácies, principalmente dos fenocristais, são semelhantes em termos gerais às descritas nas fácies com anfibólio. Pode -se, assim, admitir para os BMzP uma ordem de cristalização similar a destas fácies, excetuando o clinopiroxênio e o anfibólio. A maior diferença entre o BMzP e as fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio

consiste no fato de Pl_2 , Mc_2 e Qz_3 , serem muito abundantes nessas rochas, formando a fração de granulação fina (matriz), ao passo que Pl_1 , Mc_1 e Qz_1 são comparativamente menos comuns que nas fácies portadoras de anfibólio + biotita \pm clinopiroxênio, ocorrendo como fenocristais dispersos. Os fenocristais de Qz_1 mostram marcante corrosão, sugerindo modificações bruscas no equilíbrio dos fenocristais. Após este desequilíbrio o Qz_3 , muito abundante nestas fácies, inicia sua cristalização não registrando feições de corrosão.

Como visto anteriormente o Qtz_3 ocorre como inclusões próximas às bordas dos cristais de microclina, marcando zonas nos mesmos e separando duas fases de crescimento do mineral: o centro dos cristais corresponderia ao Mc_1 e as bordas, de caráter intersticial, corresponderiam ao Mc_2 . Portanto, o estágio tardio de cristalização da microclina (Mc_2) é contemporâneo ao início da cristalização do Qtz_3 . Os intercrescimentos granofíricos, ocasionalmente distribuídos ao longo das bordas dos cristais de microclina, demonstram que a cristalização desta teve prosseguimento até os estágios finais de cristalização.

Assim como a microclina, o plagioclásio apresenta comumente em suas bordas inclusões de Qtz_3 , com formas granulares, separando zonas mais cálcicas (Pl_1), das mais sódicas (Pl_2). Portanto, de modo análogo ao que ocorre com a Mc_2 , o Pl_2 também começa a cristalizar simultaneamente com o Qtz_3 . Tais observações e as similaridades texturais entre Pl_2 , Mc_2 e Qtz_3 evidenciam a simultaneidade na cristalização dos mesmos.

A clorita é muito significativa nesta fácies (Tabela 3.1), ocorrendo como cristais intergranulares, associados à opacos. Isso indica a maior participação de fluidos tardios nos processos evolutivos destas fácies.

3.4.3 – Fácies Leucomonzogranito Equigranular Grosso (LMzG), Médio (LMzMp e LMzMt) e Fino (LMzF).

Os leucogranitos de granulação grossa (LMzG) são rochas mais evoluídas do que as fácies BAMzG e ABMzG. Entretanto, as suas feições texturais indicam que, para os constituintes félsicos essenciais, pode-se adotar para os LMzG a mesma ordem de cristalização das fácies BAMzG e ABMzG. Os LMzG não apresentam clinopiroxênio, fase precoce nos BAMzG e ABMzG, e o anfibólio e a biotita ocorrem em pequenas proporções. As feições texturais de Qtz_1 , Pl_1 e Mc_1 são muito semelhantes às da fácies ABMzG. A ocorrência marcante de

intercrescimentos granofíricos e mirmequíticos, assim como de albita intergranular, e o processo mais acentuado de desestabilização da biotita são características que evidenciam o maior enriquecimento em voláteis no líquido gerador dessa fácies, quando comparados com as fácies BAMzG e ABMzG.

A fácies LMzMp é muito similar mineralogicamente aos ABMzG, porém seu caráter mais evoluído é atestado pelo menor conteúdo de ferromagnesianos. Os minerais félsicos essenciais assemelham-se a Pl₂, Mc₂ e Qz₃ da fácies ABMzG, embora seus cristais alcancem maiores dimensões, revelando variações nas taxas de nucleação e crescimento dos cristais na fácies LMzMp em relação aos ABMzG. Esta semelhança é fortalecida pela coincidência em composição entre o plagioclásio desta fácies e o Pl₂. Pode-se, assim, estimar para os LMzMp uma ordem de cristalização similar à da fácies ABMzG, porém em diferentes condições de resfriamento para explicar o contraste textural entre elas. Os minerais essenciais não apresentam feições de corrosão, indicando que não houve mudança brusca nas condições de cristalização, que interrompesse o crescimento dos mesmos. Este aspecto, juntamente com a ausência ou escassez de inclusões nos minerais félsicos, as maiores dimensões dos mesmos e o caráter hipidiomófico do quartzo, sugerem que os minerais félsicos essenciais cristalizaram simultaneamente.

O aspecto textural de Pl₂, Mc₂ e Qz₃ da fácies LMzMt é semelhantes aos do LMzMp. No entanto, a ausência de anfibólio modal do LMzMt revela seu aspecto mais evoluído em relação aos LMzMp. Isso permite admitir para o LMzMt condições similares de resfriamento e a mesma ordem de cristalização do LMzMp, excluindo o anfibólio. Tanto na fácies LMzMp como na LMzMt são marcantes as transformações no estágio pós-magmático das fases feldspáticas, destacando-se a formação de albita a partir da microclina, de sericita-muscovita substituindo plagioclásio e biotita, assim como a cloritização da biotita.

Os LMzF são análogos mineralogicamente e texturalmente à matriz dos BMzP. Seus constituintes essenciais correspondem a Pl₂, Mc₂ e Qtz₃ do BMzP. Os LMzF apresentam variações texturais para termos porfíricos, cujos fenocristais são muito esparsos e similares a Pl₁, Mc₁ e Qtz₁ dos BMzP, confirmando assim as analogias entre essas duas rochas. Assume-se, com base no exposto, que os LMzF são produto da cristalização de líquido similar, porém mais evoluído do que o gerador do BMzP e que sua cristalização se deu em condições análogas às da matriz dos BMzP.

Os aspectos texturais discutidos permitem concluir que as fácies de leucomonzogranitos grossos, médios tardios e finos (LMzG, LMzMt e LMzF) representam líquidos similares, cujas evoluções foram condicionadas por diferentes taxas de resfriamento, determinando assim a maior parte de seus contrastes texturais. Já os LMzMp, apesar de também derivarem de líquidos empobrecidos em constituintes ferromagnesianos, são, ao que tudo indica, menos evoluído e possivelmente produto do fracionamento direto das fácies portadoras de anfibólio+biotita±clinopiroxênio (BAMzG ou, menos provavelmente, ABMzG).

3.5 – DISCUSSÃO SOBRE A CRISTALIZAÇÃO DAS FÁCIES DO GRANITO BANNACH.

É possível distinguir dois modos de cristalização das diversas fácies do Granito Bannach, com base em suas variações texturais. O primeiro acha-se registrado nas fácies BAMzG, ABMzG e, em certa medida, LMzG. A granulação grossa destas fácies, devida aos minerais félsicos essenciais (Pl_1 , Qz_1 e Mc_1), bem como as formas dos cristais, sugerem que as mesmas cristalizaram sob condições de altas taxas de crescimento e baixa densidade de nucleação (Swanson 1977), refletindo variações graduais e lentas de temperaturas e, provavelmente, ambientes mais profundos na crosta. As temperaturas deveriam ser necessariamente elevadas (Cf. Dall'Agnol et al. 1999c) para permitir a cristalização precoce de opacos, apatita, zircão, clinopiroxênio e anfibólio acompanhados de plagioclásios relativamente cálcicos (oligoclásio cálcico).

O segundo modo foi registrado no BMzP e nos leucogranitos (LMzF, LMzMp e LMzMt) e está representado pelo desenvolvimento expressivo de cristais médios ou finos de Qz_3 , Pl_2 , e Mc_2 e demais minerais tardios. Esses cristais de granulação média a fina que formam a matriz da fácies BMzP e compõem integralmente os LMzMp, LMzMt e LMzF, mostram relações texturais entre si que podem ser indicativos que os mesmos cristalizaram sob possíveis condições de rápida variação de temperatura e/ou pressão, ou, ainda, brusca liberação de voláteis (Smith & Brown 1988), refletindo-se numa alta densidade de nucleação e baixa taxa de crescimento dos cristais (Swanson 1977). Isso indica para sua cristalização, ambientes relativamente mais rasos na crosta e/ou maior influência de voláteis na evolução do resíduo. Na verdade, a hipótese de liberação brusca de fluídos após atingida a saturação do magma em H_2O parece mais plausível para explicar as texturas observadas nessas fácies, em particular a formação dominante de grãos médios e finos, uma vez que a evolução das diferentes fácies do Granito Bannach se processou

em níveis crustais similares e intervalos de temperatura e pressão não muito contrastantes. Por outro lado, a mudança composicional do plagioclásio, a corrosão do Qz_1 e a formação de Qz_3 nas fácies de granulação grossa (BAMzG e ABMzG) sugerem que, em algum momento da evolução destas fácies, teria havido ascensão rápida e queda brusca da pressão.

Quanto aos LMzMp e LMzMt, a dominância nos mesmos de Pl_2 , Qz_3 e Mc_2 é uma feição muito similar ao observado no LMzF, porém com maior desenvolvimento dos cristais em relação ao LMzF, originando a textura equigranular média. Isso indica que os primeiros cristalizaram sob condições de resfriamento um pouco mais lentas do que no caso dos LMzF, resultando em menores densidades de nucleação e maior taxa de crescimento dos cristais de seus constituintes félsicos essenciais.

A desestabilização do Pl_1 (oligoclásio cálcico) e Qz_1 está relacionada muito provavelmente com mudanças abruptas nas condições de cristalização do magma que estava resfriando. Foi confirmada no caso do Granito Jamon, a diferença em termos composicionais entre o Pl_1 , presente nas fácies mais precoces, e o plagioclásio das fácies mais evoluídas, sistematicamente mais sódico. Foi constatada uma brusca defasagem composicional entre os núcleos mais cálcicos ($An > 25$) e as bordas mais sódicas ($An > 20$). Este desequilíbrio do Pl_1 , marcado pela brusca variação de sua composição, seria indicativo, segundo Dall'Agnol (1980, 1982), de um rápido abaixamento da pressão devido à ascensão do magma parcialmente cristalizado, de modo análogo ao proposto por Vance (1965).

No caso do Granito Bannach, observaram-se variações na composição do plagioclásio das fácies GC, BAMzG e ABMzG e LMzG (Pl_1) e aquele que forma a matriz dos BMzP e os LMzMp, LMzMt e LMzF (Pl_2). Isto sugere diferenças significativas nas composições dos seus líquidos geradores e também nas temperaturas de início da cristalização dos mesmos. Como vimos anteriormente o Pl_1 exibe composição variável entre andesina (An_{30-24}) e oligoclásio cálcico nas porções centrais a oligoclásio sódico ($\sim An_{15}$) nas bordas. O Pl_2 exibe pequenas diferenças composicionais nas várias fácies, porém, no geral, apresenta composições semelhantes às observadas nas bordas do Pl_1 ($\sim An_{15}$). Nos LMzMp, LMzMt e LMzF, por outro lado, constata-se somente a presença de Pl_2 , indicando que estas fácies cristalizaram a partir de líquidos mais sódicos e mais evoluídos do que os que geraram as demais fácies.

O Pl_1 nas fácies GC, BAMzG, ABMzG e LMzG mostra núcleos mais cálcicos, corroídos e contrastantes com as porções marginais, refletindo provavelmente uma mudança abrupta nas

condições magmáticas, análoga à sugerida por Dall'Agnol (1980, 1982). Pode-se, portanto assumir que a evolução da composição do plagioclásio, no caso do Granito Bannach traduza, em geral, primeiramente a cristalização lenta em altas pressões, seguida de um abaixamento súbito da pressão, que se processou em diferentes momentos da cristalização das diversas fácies. Posteriormente, em alto nível crustal, o Pl_1 foi desestabilizado e parcialmente reabsorvido, como evidenciado pela passagem de oligoclásio cálcico ($An > 24$) a oligoclásio sódico ($An < 20$), sendo que o Pl_2 ($An < 20$) prosseguiu sua cristalização de modo regular, traduzindo uma evolução normal dos líquidos magmáticos, gradacionalmente mais sódicos em mais baixas temperaturas.

Dall'Agnol (1980, 1982) relaciona o desequilíbrio do Pl_1 (andesina-oligoclásio cálcico) bem como aquele do Qz_1 , ao abaixamento de pressão, devido à ascensão rápida do magma. Isto é coerente com a distribuição do Qz_3 nas diferentes fácies do Granito Bannach. A presença de Qz_3 é mais intensa nas variedades onde o Qz_1 acha-se corroído, sugerindo que o primeiro represente a retomada da cristalização do quartzo, em novas condições de pressão.

As variações nas condições de cristalização dos minerais estão expressas nas diversas fácies presentes no Granito Bannach, traduzindo evoluções distintas para as mesmas. As fácies de granulação grossa (BAMzG, ABMzG e LMzG) possuem predominantemente as fases Pl_1 , Qz_1 e Mc_1 , porém subordinadamente essas rochas apresentam uma textura seriada, com aumento da fração média registrando o desenvolvimento das fases Pl_2 , Qz_3 e Mc_2 . Isto sugere que este conjunto evoluiu com variações de temperatura lentas e regulares, permitindo o crescimento de Pl_1 , Qz_1 e Mc_1 , porém em estágio avançado de sua cristalização ocorreu uma rápida ascensão do magma formador destas rochas, modificando as condições de pressão e, em menor grau, temperatura (ascensão adiabática). Isso se refletiu na desestabilização de Pl_1 e Qz_1 , sendo que a cristalização do plagioclásio e do quartzo foi retomada logo a seguir, adequando-se às novas condições impostas (Pl_2 , Qz_3 e Mc_2).

O GC possui o conteúdo de máficos mais elevado dentre as fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio, inclusive em relação ao BAMzG, o que origina uma descontinuidade composicional entre ambas, não favorecendo, assim, a idéia de sua origem estar relacionada à cristalização fracionada. Isso juntamente com o fato das rochas cumuláticas (GC) ocorrerem geralmente nas borda do corpo Bannach e sempre associadas com os BAMzG, sugerem a atuação de processos cumuláticos na gênese dessas rochas. Tal processo resultou, provavelmente da segregação por decantação de fases precoces (anfibólio, clinopiroxênio e minerais acessórios) em

um líquido similar ao que deu origem aos BAMzG, ou seja, $GC = BAMzG +$ fases máficas cumuláticas. Contrastes locais de viscosidade e diferenças de densidade entre fases precoces e líquido residual do magma podem promover a separação gravimétrica de fases precoces (Wernick 2004). A textura francamente equigranular do GC, sua composição mineralógica e a inexistência de cristais finos de Pl_2 , Qz_3 e Mc_2 são indicativas de que sua cristalização se processou sem decréscimo brusco de temperatura e em condições de estabilidade, semelhantes às daquelas do BAMzG.

Os conteúdos modais das fases Pl_2 , Qz_3 e Mc_2 , as feições de corrosão do Qz_1 e Pl_1 e a presença de intercrescimentos granofíricos entre grãos médios aumentam, de um modo geral, no sentido BAMzG? ABMzG? LMzG. Estes fatos indicam que os BAMzG, ABMzG e LMzG, cristalizaram sucessivamente a partir de líquidos cada vez mais pobres em máficos e em anortita, os quais ascenderam em diferentes estágios de sua cristalização, com razões cristal/líquido sucessivamente menores. Em todos os casos, o final da cristalização se deu em temperaturas coincidentes com as das respectivas curvas cotéticas do sistema Qz-Or-Ab-An.

No caso do LMzG, as diferenças composicionais, tais como o baixo conteúdo modal de fases máficas, sugerem que o mesmo iniciou a cristalização a temperaturas inferiores às das fácies BAMzG e ABMzG. Por outro lado, a escassez nas fácies BAMzG e ABMzG de clorita indica a pequena participação nestas fácies das fases fluídas, sugerindo condições de subsaturação durante a quase totalidade de sua cristalização. Já nos LMzG, o conteúdo de voláteis seria mais elevado e a saturação teria sido alcançada bem antes do final da cristalização, o que é confirmado pela maior importância de minerais hidratados, que ocorrem também como grãos intersticiais.

Observam-se dois estágios de evolução distintos para a fácies BMzP: a) o início da cristalização foi regido por baixas taxas de resfriamento, que permitiram a formação dos fenocristais de Pl_1 , Qz_1 e Mc_1 ; b) num segundo instante, ocorreu a ascensão rápida do magma gerador desta fácies com conseqüente liberação de voláteis gerando *undercooling* (Smith & Brown 1988) que levou à corrosão do Qz_1 e imprimiu altas taxas de nucleação e baixa densidade de crescimento dos cristais, refletindo na geração das fases Pl_2 , Qz_3 e Mc_2 que constituem a matriz destas rochas. O segundo momento da cristalização da fácies BMzP pode ser aplicada perfeitamente para os LMzF, uma vez que os mesmos possuem apenas as fases Pl_2 , Qz_3 e Mc_2 e seus aspectos texturais e composicionais são muito semelhantes à matriz da fácies BMzP.

O maior desenvolvimento dos cristais de Pl_2 , Qz_3 e Mc_2 nas fácies LMzMp e LMzMt em relação à matriz da fácies BMzP e ao LMzF está ligada provavelmente a condições de mais baixas taxas de resfriamento em que estas rochas evoluíram em relação aos BMzP e LMzF. Isso se refletiu numa menor densidade de nucleação e maior taxa de crescimento dos cristais.

As considerações feitas acima sugerem que o conjunto (GC)-BAMzG-ABMzG-LMzG evoluiu independentemente das outras fácies. Os aspectos mineralógicos dos LMzMp sugerem que os mesmos foram derivados de líquidos comparativamente muito mais evoluídos do que aqueles que deram origem as fácies BAMzG e ABMzG. Os LMzM_t provavelmente representam intrusões independentes, produtos de líquidos bastante evoluídos que cristalizaram em condições relativamente moderadas de resfriamento. Os BMzP e LMzF representam, possivelmente, líquidos tardios que sofreram perda de voláteis. Tais rochas derivam de líquido independente ou são produto do fracionamento das fácies menos evoluídas, em particular da fácies ABMzG. Tais hipóteses serão reavaliadas adiante com apoio dos dados de petrologia magnética e geoquímica.

CAPÍTULO 4 – SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

Os dados de suscetibilidade magnética (SM) do Granito Bannach foram obtidos por Guimarães & Dall’Agnol (2004) (2004), em trabalho efetuado em colaboração com a presente dissertação.

4.1– APRESENTAÇÃO DOS DADOS

O tratamento dos dados foi realizado a partir de medidas de suscetibilidade magnética (SM) em 83 amostras (média aritmética das medidas realizadas em cada amostra) representativas das diversas variedades do Granito Bannach. Os valores obtidos correspondem àqueles resultantes das medidas com bobina plana multiplicados por um fator de correção de 1,7 adotado no LPM para amostras nessa faixa de valores de SM, com base em padrões cuja SM foi determinada com outros sensores (cf. Oliveira et al. 2002, Figueiredo et al. 2003).

O Granito Bannach apresenta valores de suscetibilidade magnética (SM) que variam entre $1,0780 \times 10^{-3}$ (valor mínimo) a $72,7480 \times 10^{-3}$ (valor máximo) (Tabela 4.1) com média de $9,2650 \times 10^{-3}$ (Tabela 4.2). Os parâmetros estatísticos estão sumarizados na Tabela 4.2 e os dados percentuais são apresentados na tabela de percentis (Tabela 4.3), onde nota -se que cerca de 31% da amostras possuem valores de SM superiores ao valor médio do corpo, sendo que 33% estão situadas no intervalo de $5,0247 \times 10^{-3}$ a $1,0784 \times 10^{-3}$.

Os dados de SM foram avaliados com base em histograma e polígono de frequência (Figura 4.1a, b, respectivamente), os quais mostraram que a distribuição das amostras desse corpo é claramente bimodal, observando -se dois picos distintos nos valores de log $-2,75$ e $-2,10$ com grande parte das amostras (67%) concentrando-se no intervalo entre log $-2,40$ e $-1,80$.

A partir dos dados de SM, foi possível a elaboração do gráfico de probabilidade normal (Figura 4.1c), que possibilitou a caracterização de cinco populações denominadas de A, B, C, D, E, as quais foram definidas a partir de diferentes segmentos de reta que cobrem vários intervalos de SM e reúnem grupos de amostras que apresentam diferentes comportamentos magnéticos. A tabela 4.4 mostra a participação de cada fácies do Granito Bannach nas várias populações de SM.

A população A, responsável pelo pico definido pelas amostras com menor SM, formada por 30% do total das amostras estudadas, apresenta os menores valores de SM do conjunto

Tabela 4.1 - Dados de suscetibilidade magnética do Granito Bannach

População	Nº	Amostras	K (SIv) (x10 ⁻³)	Log K (SIv)	Fácies
"E"	1	ADR-136I	72.748	-1.13817	GC
	2	ADR-136H	53.166	-1.27436	GC
	3	ADR-218	48.705	-1.31242	BAMzG
"D"	4	ADR-237D	27.432	-1.56174	GC
	5	ADR-40A	23.23	-1.63395	BMzP
	6	ADR-230B	22.746	-1.64309	BMzP
	7	ADR-110	18.637	-1.72962	ABMzG
	8	ADR-45B	15.754	-1.8026	BMzP
	9	ADR-74E	15.492	-1.80988	BAMzG
	10	ADR-151A	14.435	-1.84057	BMzP
"C"	11	ADR-15A	14.267	-1.84566	LMzMt
	12	ADR-14E	13.387	-1.87331	BMzP
	13	ADR-53A	13.23	-1.87844	BAMzG
	14	ADR-60B	12.661	-1.89753	BAMzG
	15	ADR-21B	12.615	-1.89911	BAMzG
	16	ADR-226	12.509	-1.90277	ABMzG
	17	ADR-237A	12.061	-1.91859	BAMzG
	18	ADR-23A	12.021	-1.92005	BAMzG
	19	ADR-21A	11.519	-1.93858	BAMzG
	20	ADR-26A	11.433	-1.94183	BAMzG
	21	ADR-67A	11.394	-1.94332	BAMzG
	22	ADR-136C	10.938	-1.96106	BAMzG
	23	ADR-55H	10.341	-1.98543	BAMzG
	24	ADR-14B	10.267	-1.98855	BMzP
	25	ADR-78A	10.075	-1.99675	BAMzG
	26	ADR-27A	9.7284	-2.01195	BAMzG
	27	ADR-55C	9.265	-2.03315	ABMzG
	28	ADR-9A	9.2327	-2.03467	BAMzG
	29	ADR-63A	8.1593	-2.08834	LMzMt
"B"	30	ADR-136A	8.0512	-2.09413	ABMzG
	31	ADR-234	7.8311	-2.10617	ABMzG
	32	ADR-58A	7.7936	-2.10826	ABMzG
	33	ADR-64A	7.6653	-2.11547	ABMzG
	34	ADR-241	7.6279	-2.11759	ABMzG
	35	ADR-41A	7.3547	-2.13343	BMzP
	36	ADR-30D	7.3899	-2.13136	BMzP
	37	ADR-98A	7.2669	-2.13865	ABMzG
	38	ADR-32B	7.1468	-2.14588	LMzG
	39	ADR-100A	7.0464	-2.15203	ABMzG
	40	ADR-35A	7.0201	-2.15365	LMzF
	41	ADR-41B	6.9188	-2.15996	ABMzG
	42	ADR-31B	6.8578	-2.16381	ABMzG

População	Nº	Amostras	K (SIv) (x10 ⁻³)	Log K (SIv)	Fácies	
"B"	43	ADR-55A	6.8051	-2.16716	ABMzG	
	44	ADR-212	6.5956	-2.18074	ABMzG	
	45	ADR-54A	6.2752	-2.20237	LMzMt	
	46	ADR-220B	6.275	-2.20238	BMzP	
	47	ADR-38A	6.1417	-2.2117	BMzP	
	48	ADR-55J	5.9204	-2.22764	LMzF	
	49	ADR-197C	5.8912	-2.22979	BMzP	
	50	ADR-230C	5.6434	-2.24845	BMzP	
	51	ADR-10A	5.4456	-2.26395	LMzMt	
	52	ADR-111	5.3476	-2.27184	BMzP	
	53	ADR-55B	5.2953	-2.2761	ABMzG	
	54	ADR-41D	5.274	-2.27785	LMzF	
	55	ADR-68C	5.2237	-2.28201	ABMzG	
	56	ADR-31A	5.0247	-2.29629	LMzG	
	57	ADR-28B	4.4412	-2.35249	LMzG	
	58	ADR-59A	4.4135	-2.35521	BMzP	
	"A"	59	ADR-18A	3.5813	-2.44594	LMzG
		60	ADR-35B	3.553	-2.4494	LMzF
		61	ADR-27D	3.5043	-2.45539	LMzG
62		ADR-68B	3.3194	-2.47893	LMzMp	
63		ADR-23B	3.2039	-2.4943	LMzMt	
64		ADR-30C	2.5692	-2.5902	LMzG	
65		ADR-59C	2.5253	-2.59767	LMzF	
66		ADR-34A	2.4417	-2.6123	LMzG	
67		ADR-19C	2.4043	-2.619	LMzMp	
68		ADR-140	2.3055	-2.63723	LMzMt	
69		ADR-61A	2.2414	-2.64947	BMzP	
70		ADR-69A	2.1692	-2.6637	LMzF	
71		ADR-52A	2.0163	-2.69542	LMzMt	
72		ADR-46A	2.009	-2.69702	LMzMt	
73		ADR-194B	1.9592	-2.70792	LMzMt	
74	ADR-119	1.9491	-2.70092	LMzMt		
75	ADR-45A	1.938	-2.71264	BMzP		
76	ADR-12A	1.9221	-2.7162	LMzMt		
77	ADR-27C	1.8431	-2.73444	LMzMp		
78	ADR-154	1.6451	-2.78379	LMzMt		
79	ADR-103A	1.4675	-2.83341	LMzMt		
80	ADR-130A	1.2745	-2.89466	LMzMt		
81	ADR-205	1.1911	-2.92402	LMzMt		
82	ADR-37A	1.0888	-2.96305	LMzF		
83	ADR-143	1.078	-2.96736	LMzMt		

Siglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso; ABMzG – anfibólio-biotita-monzogranito equigranular grosso; BMzP – biotita-monzogranito porfírico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoce; LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fino.
K (SIv)= Valor médio de SM em volume de cada amostra no Sistema Internacional;

Tabela 4.2 - Parâmetros estatísticos dos dados de suscetibilidade magnética do Granito Bannach

Parâmetros estatísticos (Número de amostras = 83)	SM (SIv) (x10 ⁻³)
Média	9.265
Mediana	6.86
Média geométrica	6.135
Variância	0.123
Desvio padrão	11.081
Valor mínimo	1.078
Valor máximo	72.748

Tabela 4.3- Percentis dos dados de suscetibilidade magnética do Granito Bannach.

Percentagens	Percentis SM (SIv) (x10 ⁻³)
95	23.23
90	15.754
85	13.387
80	12.509
75	11.433
70	10.267
65	8.1593
60	7.6653
55	7.2669
50	6.9188
45	6.2752
40	5.8912
35	5.2953
30	4.4135
25	3.3194
20	2.4417

Tabela 4.4 - Contribuição de cada fácies do Granito Bannach nas várias populações

Fácies	A	B	C	D	E
Populações					
GC	-	-	-	25%	67%
BAMzG	-	-	64%	-	33%
ABMzG	-	46%	9%	25%	-
BMzP	12%	27%	18%	50%	-
LMzG	16%	10%	-	-	-
LMzM (p,t)	60%	7%	9%	-	-
LMzF	12%	10%	-	-	-

Siglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso; ABMzG – anfibólio-biotita-monzogranito equigranular grosso;

BMzP – biotita-monzogranito porfíritico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoce;

LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fino.

SIv = Valor médio de SM em volume de cada amostra no Sistema Internacional;

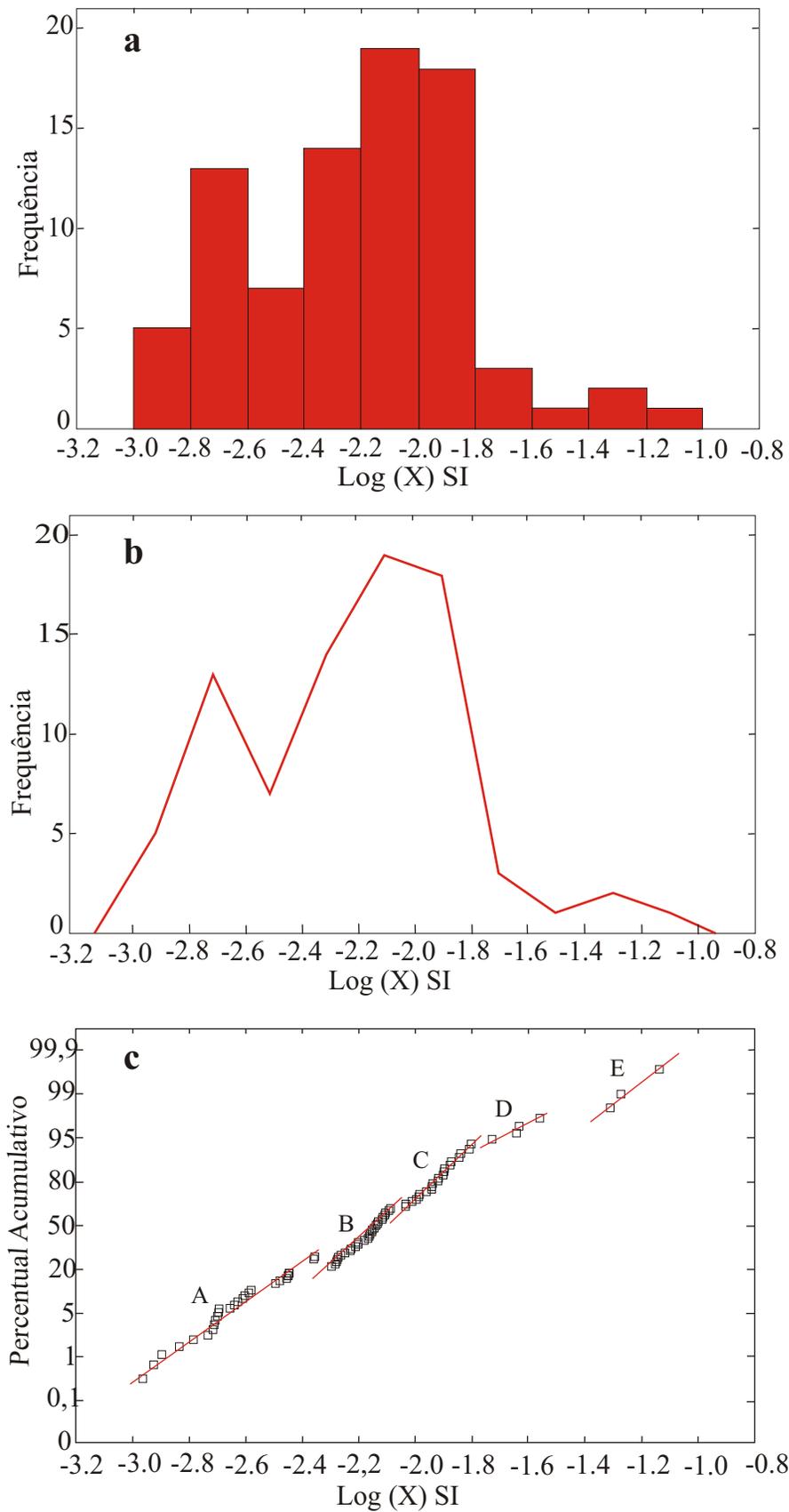


Figura 4.1- a) Histograma de frequência; b) Polígono de frequência; c) Gráfico de probabilidade normal, referentes aos dados de suscetibilidade magnética do Granito Bannach.

estudado (Tabela 4.1), com variação entre $1,0780 \times 10^{-3}$ e $3,5813 \times 10^{-3}$ e valor médio de $2,3296 \times 10^{-3}$. É formada principalmente pelos leucogranitos (LMzG, LMzMp e LMzMt e LMzF), os quais representam os termos mais evoluídos num possível processo de diferenciação magmática. Tais fácies são mais pobres em minerais máficos e opacos, o que justifica os baixos valores de SM nesta população. Além das fácies citadas estão presentes nessa população, três amostras da fácies biotita-monzogranito porfíritico (BMzP) que apresentam valores de SM inferiores aos geralmente fornecidos por esta fácies (Tabela 4.1), o que indica um conteúdo modal comparativamente mais reduzido de minerais opacos e magnetita nestas amostras.

A população B engloba as amostras com valores intermediários de SM do corpo, os quais variam de $4,4135 \times 10^{-3}$ a $8,0512 \times 10^{-3}$ com média de $6,2323 \times 10^{-3}$, reunindo 35% da amostragem total. Este grupo é bastante heterogêneo em termos de litotipos, sendo formado pelas fácies BMzP e ABMzG, que apresentam a biotita como o principal mineral máfico, e, subordinadamente, pelos leucogranitos (LMzF, LMzMt e LMzG).

A população C apresenta uma variação de SM um pouco mais ampla entre $8,159 \times 10^{-3}$ e $15,754 \times 10^{-3}$ e média de $11,956 \times 10^{-3}$. Corresponde a 26,5% dos dados e é constituída principalmente por BAMzG (perfazendo 67% das amostras desta população - Tabela 4.4) e, subordinadamente, BMzP, ABMzG e duas amostras da fácies LMzMt.

A população D apresenta valor médio de SM de $23,034 \times 10^{-3}$ e compreende valores de $18,637 \times 10^{-3}$ a $27,432 \times 10^{-3}$. Engloba 4,8% das amostras estudadas e é formada por GC, BMzP e ABMzG.

A população E reúne apenas 3,6% dos dados, fornecidos pelas amostras mais magnéticas do Granito Bannach, com valores de SM que se situam no intervalo de $48,705 \times 10^{-3}$ a $72,748 \times 10^{-3}$, com média $60,726 \times 10^{-3}$. Ela é composta unicamente pelas fácies que apresentam maior conteúdo de minerais máficos (GC e BAMzG), que representariam as fácies menos evoluídas em termos de um eventual fracionamento magmático e são, no caso do GC, de ocorrência muito restrita.

4.2 - RELAÇÕES ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E FÁCIES PETROGRÁFICAS.

O Granito Bannach apresentou uma boa correlação entre os dados de suscetibilidade magnética e a provável evolução petrológica do corpo. Os valores mais elevados de SM estão

relacionados as fácies com maior conteúdo de minerais máficos (GC, BAMzG, ABMzG, BMzP), ao passo que as fácies mais leucocráticas (LMzMp, LMzMt, LMzG, LMzF) apresentam valores menores de SM por serem mais pobres em máficos e, provavelmente, derivadas de líquidos mais evoluídos no processo magmático.

O mapa de contorno de SM (Figura 4.2a) permite visualizar vários domínios magnéticos no corpo Bannach, onde se nota que os valores mais elevados de SM estão relacionados às bordas do corpo (tons vermelhos), ao passo que aqueles menores tendem a ocupar a porção central do mesmo (tons rosa claro). Um perfil NE-SW (Figura 4.2b) revela o zoneamento simétrico em termos de SM do Granito Bannach, já que nas periferias do corpo os valores de SM são muito próximos diminuindo acentuadamente em direção ao centro do maciço. Isso é coerente com a distribuição faciológica do corpo, uma vez que os domínios de mais alta SM (borda do corpo) são espacialmente coincidentes com as fácies portadoras de anfibólio+biotita±clinopiroxênio (GC, BAMzG e ABMzG) e os de mais baixa SM com os leucogranitos (principalmente os LMzG e LMzM). Portanto, há, de modo geral, uma forte tendência à diminuição dos valores de SM da borda para o centro do corpo, refletindo as relações entre SM e a distribuição de fácies no corpo.

A figura 4.3 mostra os dados de SM das diferentes fácies do Granito Bannach em histograma de frequência. Observa-se que as fácies mais ricas em máficos (GC, BAMzG) apresentam os valores mais elevados de SM. As demais fácies tendem a tornar-se gradualmente menos magnéticas, à medida que diminuem os conteúdos modais de máficos e o anfibólio é substituído pela biotita como máfico dominante. Os valores mais baixos de SM são apresentados pelas fácies hololeucocráticas. Portanto a SM decresce no sentido GC? BAMzG? ABMzG? BMzP? (LMzG+LMzMp+LMzMt+LMzF).

O Granito Bannach apresenta comportamento magnético semelhante aos dos granitos Musa, Jamon e Redenção (Magalhães & Dall'Agnol 1992, Oliveira 1998, Oliveira 2001, Oliveira et al. 2002), havendo uma tendência à diminuição dos valores de SM das fácies menos evoluídas para as mais evoluídas.

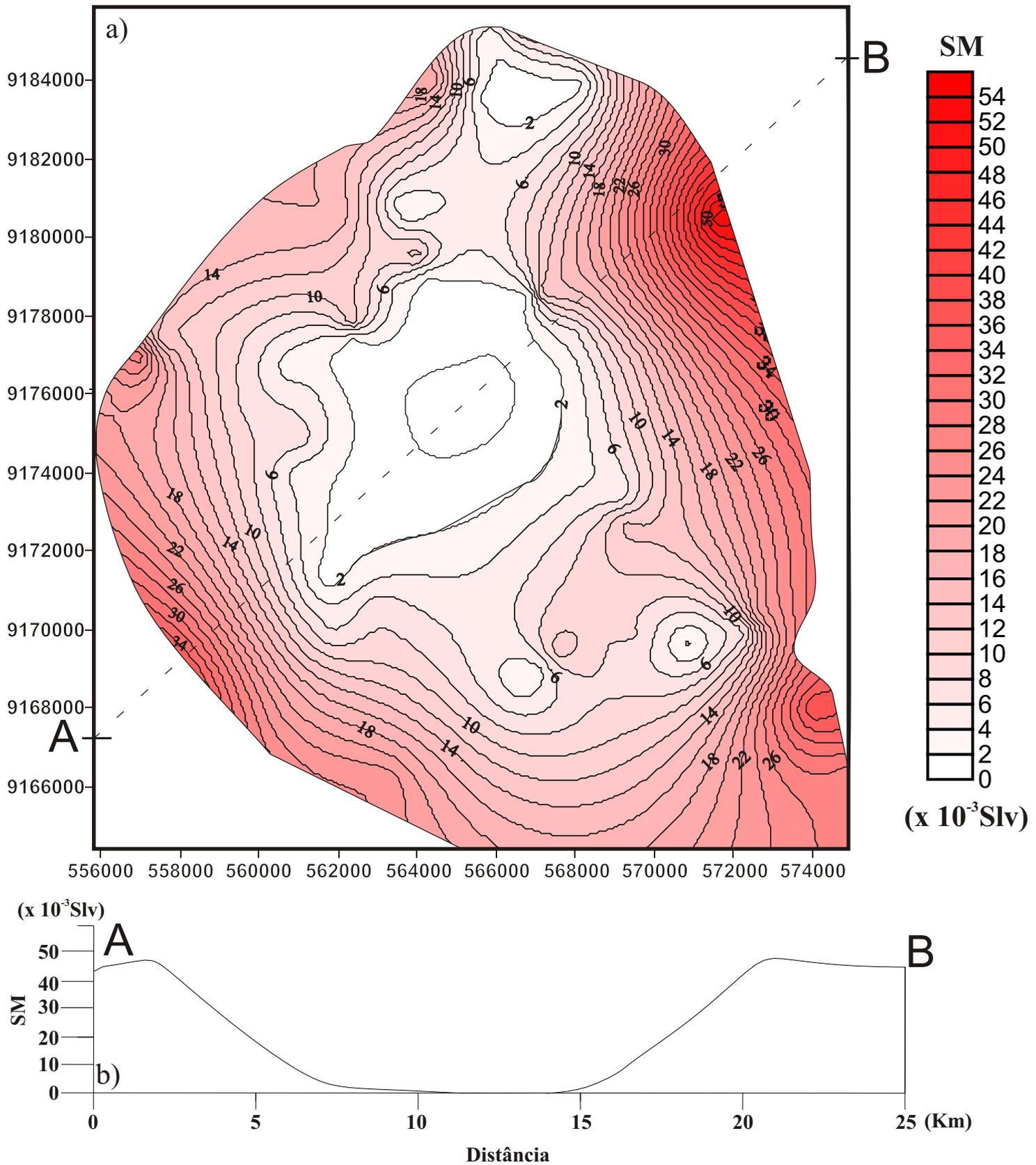


Figura 4.2 - a) Mapa de contorno de suscetibilidade magnética do Granito Bannach; b) perfil NE-SW (BA) mostrando que os maiores valores de SM são encontrados nas bordas e os menores nas porções centrais do Maciço.

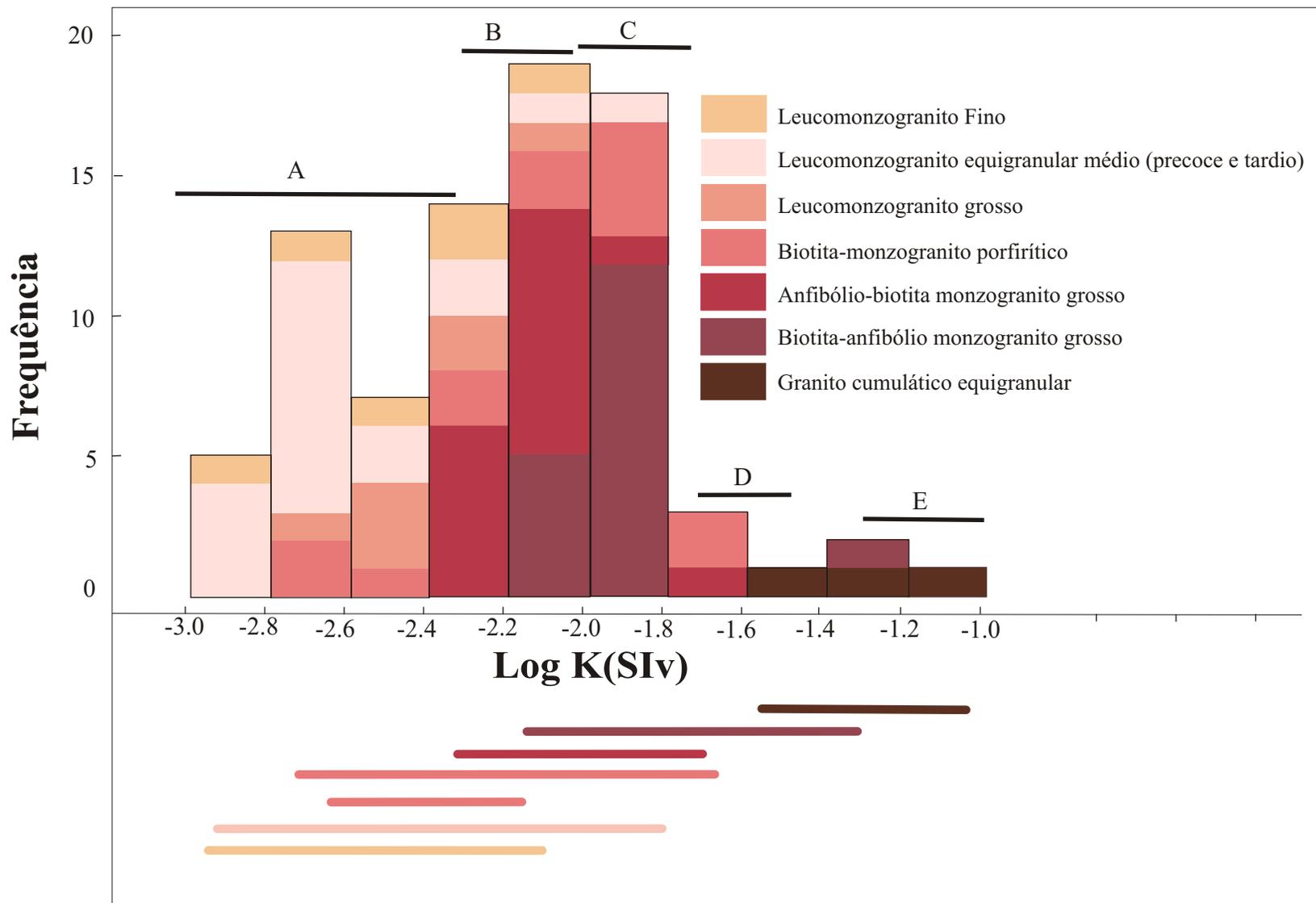


Figura 4.3- Histograma de frequência mostrando a distribuição de suscetibilidade magnética das diferentes fácies do Granito Bannach. As barras representam os intervalos de SM das cinco populações sugeridas pelo gráfico de probabilidade.

Confrontando o mapa de contorno de SM com a imagem integrada de sensoriamento remoto (RADAR; BANDA 4) e aerolevanteamento geofísico (aerogamaespectometria; canal de contagem total) (Figura 4.4) é possível perceber claramente que os valores magnéticos mais elevados do Granito Bannach se encontram nas bordas do corpo, onde ocorrem as rochas geoquimicamente menos evoluídas (GC, BAMzG e ABMzG), com maiores conteúdos de magnetita e relativamente baixos teores de K_2O , U e Th, o que explica os baixos valores radiométricos. Contrariamente, na porção central, onde encontram-se as rochas mais evoluídas do maciço (LMzG e LMzG), têm-se os valores magnéticos mais baixos, devido aos menores conteúdos modais de magnetita, porém as mesmas mostram uma alta resposta radiométrica em função dos seus teores mais elevados de U, Th e K_2O .

4.3 - RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E CONTEÚDO MINERAL.

As amostras do Granito Bannach apresentam valores modais médios bastante expressivos de minerais opacos (3,8 a 0,6; Tabela 3.1), excetuando os hololeucrogranitos (LMzMp, LMzG, LMzMt e LMzF), os quais perfazem cerca de 40% das amostras estudadas e apresentam valores modais de opacos abaixo de 0,5%.

Somente em amostras em que o anfibólio é dominante (GC, BAMzG) e em algumas amostras de BMzP (Tabela An 1) os valores modais de opacos são superiores a 1,5%. Elas representam aproximadamente cerca de 20% das amostras estudadas. Em geral nota-se uma nítida diminuição nos conteúdos de minerais opacos no sentido das fácies mais ricas em máficos para as hololeucocráticas e existe uma nítida correlação positiva entre os valores de SM e o conteúdo modal de minerais opacos (Figura 4.5a). Porém isso é verdadeiro somente para o conjunto de amostras, uma vez que analisando apenas as rochas das fácies BAMzG e ABMzG, observa-se que as mesmas exibem poucas variações de SM para diferentes conteúdos de minerais opacos. Isso é bem exemplificado pelas amostras da fácies BAMzG, que estão concentradas na população C, num pequeno intervalo de SM de $11,394$ a $12,661 \times 10^{-3}$ (SIv), e mostram teores de opacos variando de 3,5 (ADR -60B) a 1,1% (ADR -67). Já os ABMzG exibem uma variação de SM no intervalo entre $5,295$ a $8,051 \times 10^{-3}$ (SIv), um pouco mais expressiva do que nos BAMzG, e conteúdos de opacos variando de 1,2 (ADR -58) a 0,4% (ADR -55B). Portanto, nas amostras do corpo Bannach, observam-se dois comportamentos: O conjunto de amostras e a maioria das

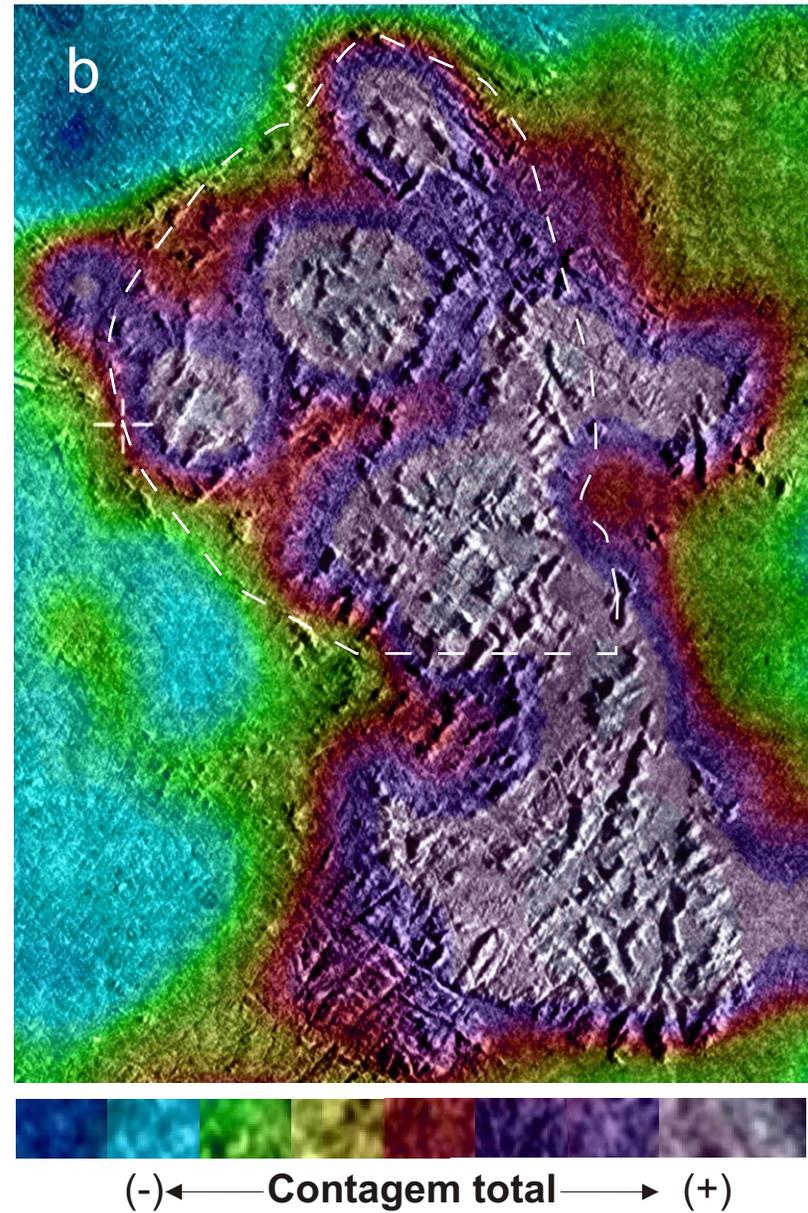
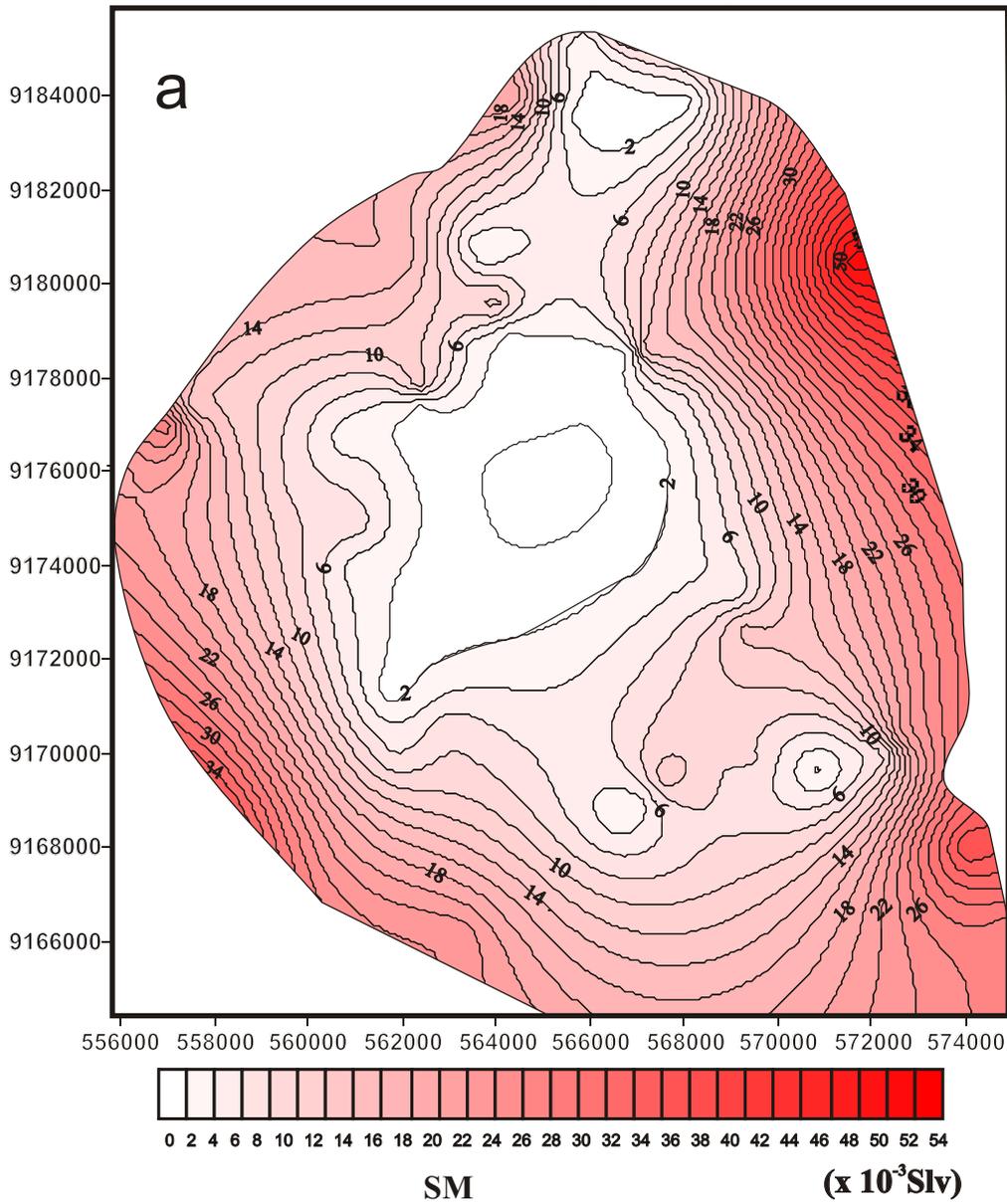


Figura 4.4 - a) Mapa de contorno de suscetibilidade magnética (SM) do Granito Bannach; b) Produto integrado de imagem de RADAR com dados radiométricos de contagem total. Notar que os maiores valores de SM do corpo encontram-se nas bordas do corpo (valores radiométricos moderados tons vermelho e violeta na imagem), onde encontram-se as fácies menos evoluídas (GC, BAMzG e ABMzG). Ao contrário, na porção central do batólito, na área de ocorrência dos leucogranitos, encontram-se os menores valores de SM e os mais elevados valores radiométricos (tons lilás na imagem).

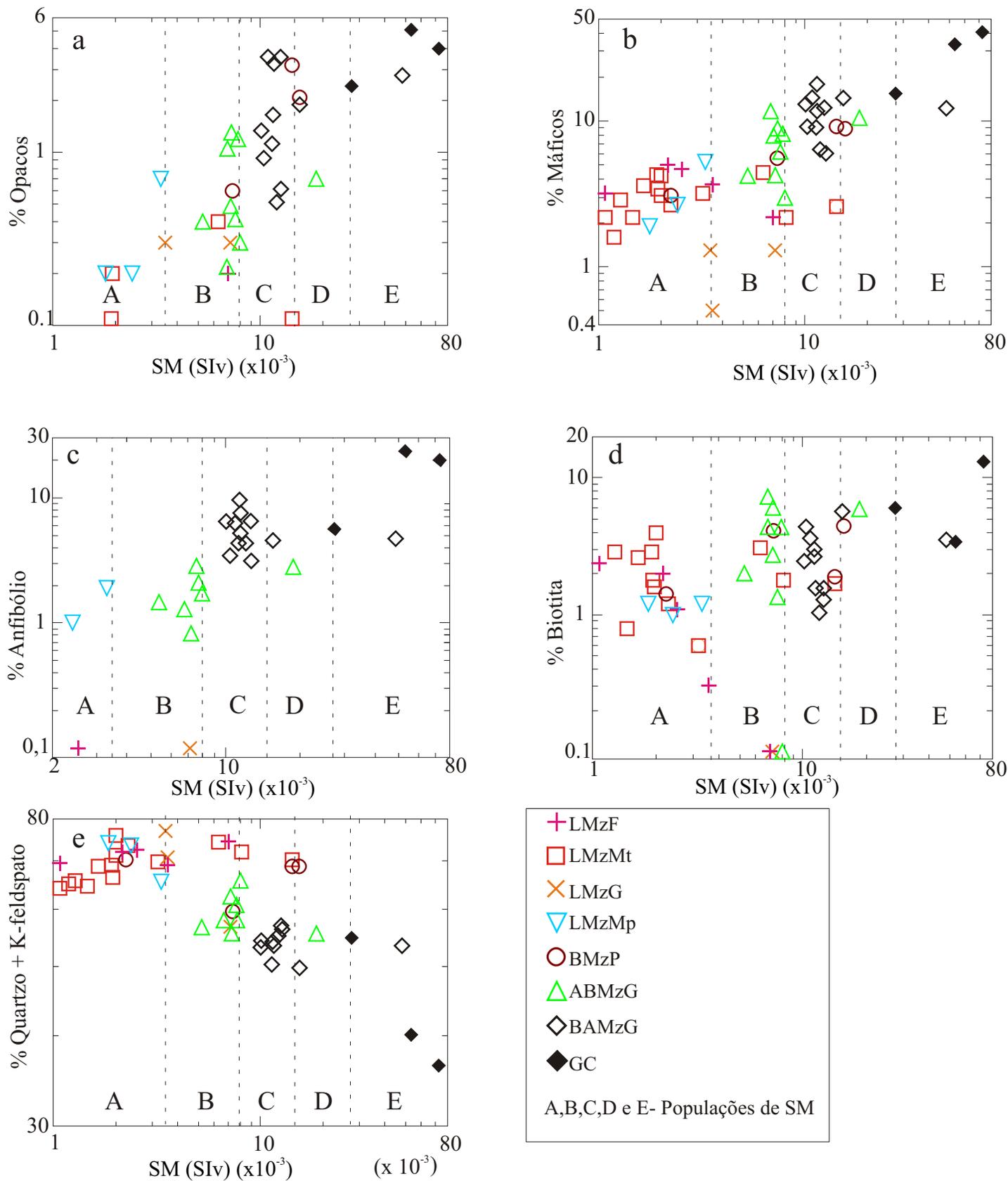


Figura 4.5- Diagramas mostrando a relação nas diferentes fácies do Granito Bannach entre o comportamento dos valores de suscetibilidade magnética (SM) e os conteúdos modais de : a) Opacos, b) Máficos, c) Anfibólio, d) Biotita, e) Quartzo+K-feldspato.

fácies tomadas isoladamente definem uma nítida tendência a correlação positiva entre SM e conteúdo de opacos modal; nas fácies BAMzG e ABMzG a variação no conteúdo de minerais opacos não é, em grande parte, acompanhada por mudanças equivalentes nos valores de SM, resultando num *trend* verticalizado. Isso sugere que nas amostras das fácies BAMzG e ABMzG o aumento dos opacos não é acompanhado pelo da magnetita. Isto também poderia ocorrer, se parte significativa da magnetita original tivesse sofrido processos de oxidação e sido transformada, em fases menos magnéticas, tais como hematita e/ou goethita.

As afinidades mineralógicas entre determinadas fácies, imprecisões nas medidas de SM e de conteúdo modal, podem justificar as superimposições observadas entre as diferentes fácies, principalmente entre ABMzG e LMzMt e entre BMzP e LMzMt. Além disso, a presença de minerais opacos diferentes de magnetita, podem também provocar variações nos valores de SM em amostras com conteúdos de opacos semelhantes, ou vice-versa. Isto poderia ocorrer, por exemplo, no caso de coexistência de magnetita e ilmenita, numa mesma fácies, porém com razões $Mt/(Mt + Il)$ variáveis. Outro aspecto a destacar é a possível variação no tamanho dos cristais de magnetita, que poderiam provocar oscilações de SM em amostras com a mesma quantidade deste mineral. Concluindo, há uma tendência de diminuição dos valores de SM e no conteúdo modal de opacos no sentido GC-BAMzG-ABMzG-BMzP-LMzG+LMzMp+LMzMt+LMzF.

Embora ocorram superposições entre as fácies, de modo geral observa-se uma separação entre as rochas portadoras de anfibólio + biotita daquelas hololeucocráticas (Figura 4.5a). As primeiras deslocam-se para os maiores valores de SM (direita do diagrama), ao passo que as rochas hololeucocráticas ocupam a parte esquerda do diagrama, apresentando baixos valores de SM. Isso reflete o fato de que os minerais opacos e, portanto, a magnetita, são fases precoces na cristalização (Figura 3.11) e associam-se preferencialmente com anfibólio e biotita ao longo da evolução petrológica do corpo.

Também se verifica uma clara correlação positiva entre os valores de SM e as proporções modais de máficos (Figura 4.5b). As fácies mais ricas em máficos, provavelmente menos evoluídas no processo de diferenciação magmática, possuem valores mais elevados de SM. Isso indica que quanto maior for a quantidade modal dos ferromagnesianos, provavelmente maiores serão as proporções modais de opacos e magnetita e, conseqüentemente, maior será o valor de SM.

Os valores de SM apresentam uma correlação positiva em relação ao conteúdo modal de anfibólio (Figura 4.5c), confirmando a tendência geral da diminuição dos valores de SM no sentido das amostras mais leucocráticas e potencialmente mais tardias. Como foi visto anteriormente (Figura 3.11), a formação dos minerais opacos e da magnetita, assim como a do anfibólio se dá nos estágios iniciais de cristalização, justificando, portanto os maiores valores de SM das fácies precoces mais ricas nesse minerais.

Os valores de SM e conteúdo modal de biotita (Figura 4.5d) de modo geral apresentam uma correlação positiva, para as fácies mais ricas em máficos (GC, BAMzG, ABMzG, BMzP) e negativa para os leucogranitos. Da mesma forma que ocorre com as razões Mc/Pl, o somatório dos conteúdos modais de quartzo e feldspato potássico apresenta uma correlação negativa com a SM (Figura 4.5e), sugerindo que a evolução magmática se daria no sentido (GC)-BAMzG-ABMzG-BMzP-(LMzG+LMzMp+LMzMt+LMzF), sendo acompanhada por decréscimo gradual nos valores de SM.

4. 4 – RELAÇÕES ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E CONTEÚDO QUÍMICO

As rochas do Granito Bannach mostram uma correlação positiva entre os valores de SM e aqueles dos óxidos Fe_2O_3 , FeO, MgO, CaO (Figura 5.6), TiO_2 e P_2O_5 , observando-se aumento gradual de SM paralelamente ao aumento no conteúdo destes óxidos. Estas correlações são bem marcadas, ficando clara a relação entre as variações de SM e as dos conteúdos de óxidos concentrados nos minerais máficos, confirmando o indicado pelos dados modais. Também neste caso ocorre alguma superposição entre os pontos representativos das diferentes fácies, com exceção dos GC, que possuem sempre conteúdos destes óxidos e SM bem superiores aos das demais fácies. As fácies que são mais ricas nos óxidos acima citados são mais precoces e possuem SM mais elevada do que as fácies mais evoluídas (BMzP e leucogranitos). Esta interpretação é reforçada pela forte correlação negativa observada entre os valores de SM e os óxidos SiO_2 e K_2O , que crescem durante o fracionamento. Ela mostra que o decréscimo de SM deu-se paralelamente à evolução magmática do corpo (Figura 4.6e, f). Observou-se ainda uma correlação negativa de SM com Fe_2O_3/FeO (Figura 4.7a), sugerindo que, nas fácies leucograníticas, mais evoluídas, prevaleceram, possivelmente no estágio subsolidus, condições fortemente oxidantes, que não favoreceram a preservação da magnetita, podendo, inclusive, ter causado a diminuição do seu conteúdo por oxidação da mesma.

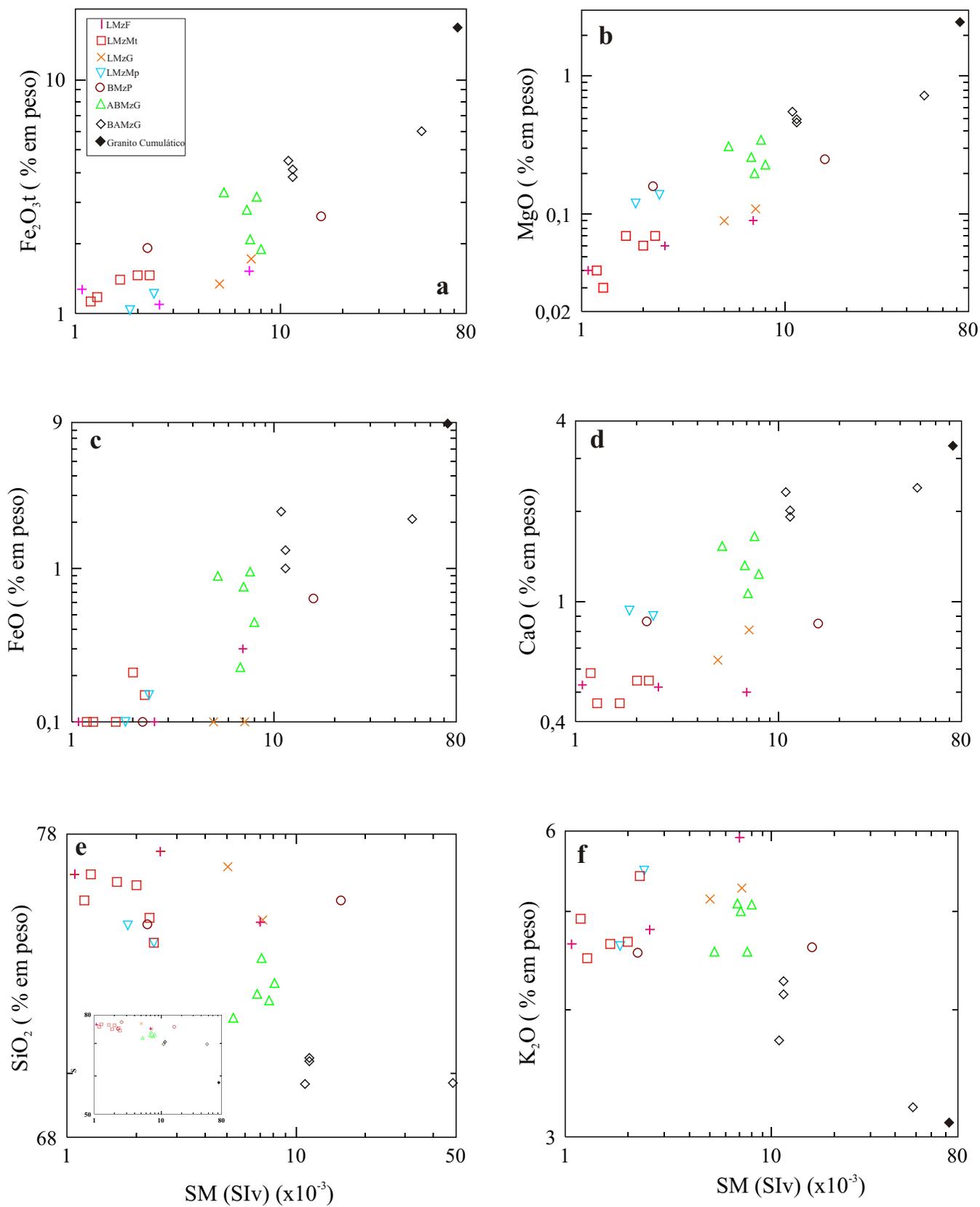


Figura 4.6 - Diagramas mostrando as relações entre o comportamento de SM e o conteúdo de: a) Fe_2O_3t ; b) MgO; c) FeO; d) CaO; e) SiO_2 e f) K_2O .

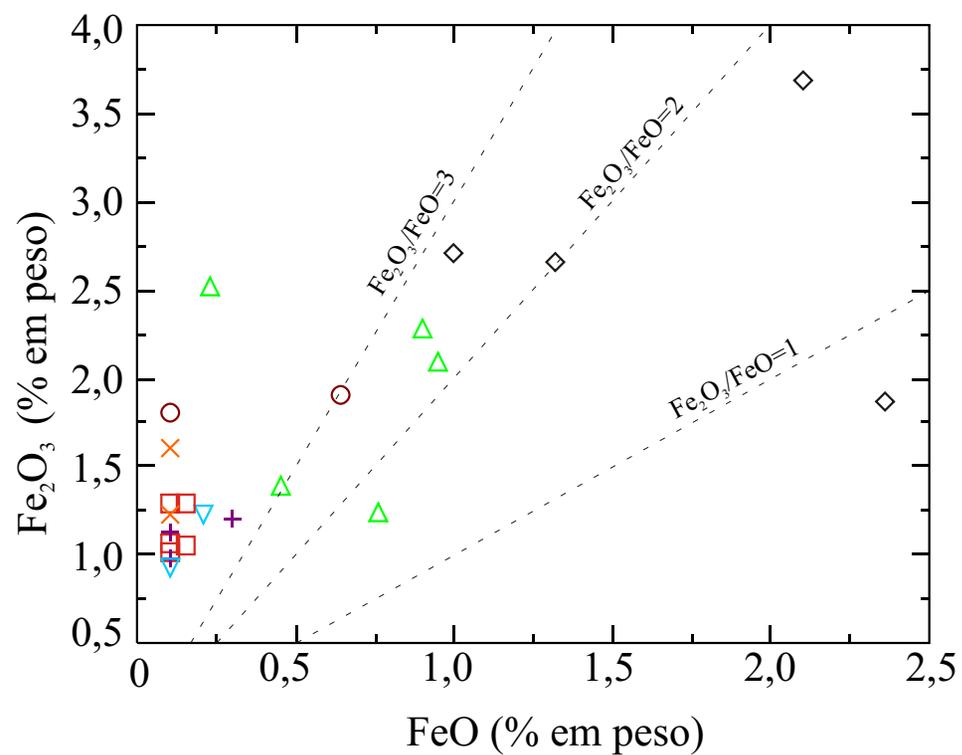
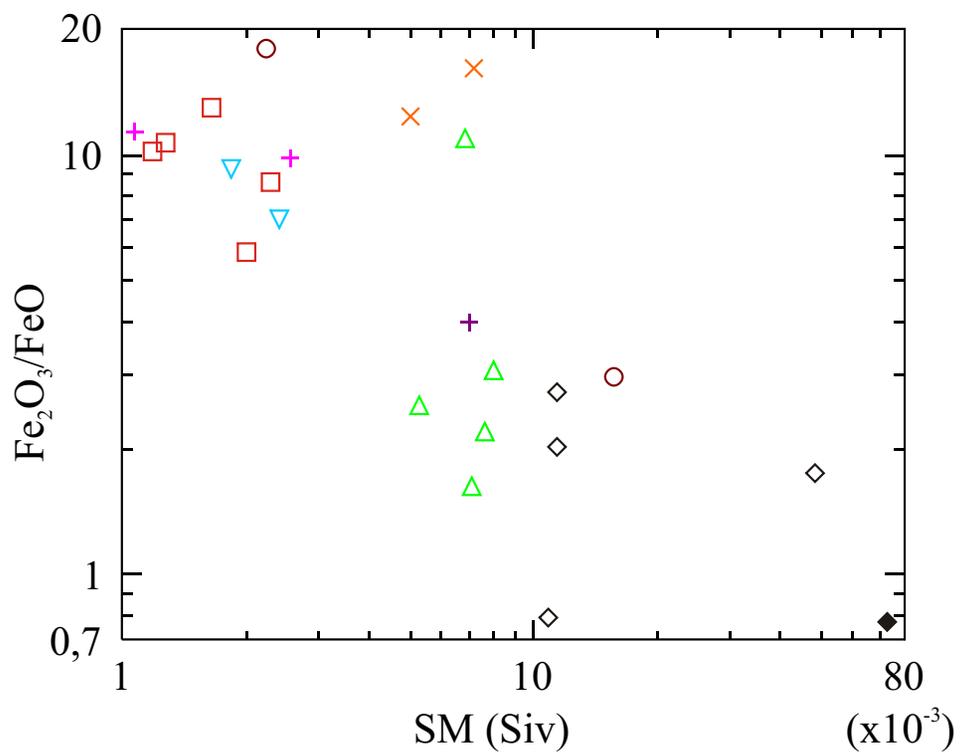


Figura 4.7 - Diagramas a) $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ versus SM; b) Fe_2O_3 versus FeO fornecendo uma indicação do grau de oxidação das diferentes fácies do Granito Bannach, no seu estado atual. Símbolos conforme a figura 4.6.

O diagrama Fe_2O_3 versus FeO (Figura 4.7b) mostra que a maioria das amostras apresenta razões $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ superiores a dois (2,0), sendo que estas razões tendem a aumentar da fácies menos evoluídas para os leucogranitos. Este diagrama confirma a diminuição de SM com o aumento do grau de oxidação. Portanto, no Granito Bannach as amostras com razões $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ mais baixas apresentam valores de SM mais elevadas. Admitindo -se que as razões $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ determinadas fossem representativas das condições magmáticas, o que é altamente improvável no caso das fácies leucograníticas, todo o corpo teria se formado em condições oxidantes, uma vez que as razões $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ variam de 1 até 10, isso em casos extremos de oxidação.

CAPÍTULO 5 – GEOQUÍMICA

O principal objetivo deste capítulo é caracterizar e interpretar o comportamento geoquímico das diferentes fácies petrográficas do Granito Bannach, permitindo assim uma melhor avaliação dos processos petrogenéticos envolvidos na evolução das mesmas, bem como da sua assinatura geoquímica e tipologia.

Com base na petrografia, na distribuição espacial e no grau de preservação, foram selecionadas 24 amostras para análise química, consideradas representativas das diferentes fácies do Granito Bannach, sendo assim distribuídas: uma amostra de GC, quatro de BAMzG, cinco de ABMzG, duas de BMzP, duas de LMzG, duas de LMzMp, cinco de LMzMt e três de LMzF. As análises químicas envolveram a determinação dos elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O), menores (TiO_2 , P_2O_5 e MnO) e traços (Ba, Rb, Zr, Nb, Y, Ga, Sc, Th, U e V) incluindo terras raras (Tabela 5.1). As análises foram realizadas por ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

5.1 – ELEMENTOS MAIORES E MENORES

O conteúdo de SiO_2 das diferentes fácies do Granito Bannach mostra valores entre 58,1 e 77,4% com valor médio de 73,4%. Esses teores permitem individualizar claramente três grupos (Tabela 4.1): (1) Rochas relativamente pobres em sílica (58,1%) representadas pelo GC; (2) rochas com valores intermediários de SiO_2 , variando de 69,7 a 73,7% com média de 71,5%, englobando as fácies BAMzG e ABMzG; (3) rochas relativamente ricas em sílica, com teores médios acima de 75,5%, correspondente aos BMzP e aos leucogranitos (LMzG, LMzMt, LMzMp e LMzF).

A figura 5.1 mostra a variação dos elementos maiores e menores em função de SiO_2 (diagramas de Harker). Observa-se uma diferença composicional marcante entre as rochas do grupo 2 e aquelas do grupo 1 (Tabela 5.1). Os GC apresentam teores relativamente elevados de TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , MnO , CaO e P_2O_5 , e baixos de SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O e K_2O , distinguindo-se, totalmente das demais fácies do corpo. Como foi visto, os GC são petrograficamente semelhantes aos BAMzG e ABMzG, porém diferenciam-se deles em função da presença expressiva de clinopiroxênio e do maior conteúdo de máficos, o que justifica seu comportamento geoquímico distinto.

Tabela 5.1 - Composições químicas das diversas fácies do Granito Bannach

(Continua)

Elementos Maiores	GC						BAMzG			ABMzG				BMzP		
	Fácies	ADR-136I	ADR-136C	ADR-218	ADR-67	ADR-26	Média	ADR-55B	ADR-24I	ADR-55A	ADR-136A	ADR-100A	Média	ADR-6I	ADR-45B	Média
SiO ₂ (%)	58.12	69.68	69.71	70.39	70.49	70.07	71.77	72.36	72.55	72.92	73.75	72.67	74.89	75.70	75.30	
TiO ₂	2.41	0.66	0.85	0.56	0.59	0.67	0.42	0.42	0.38	0.27	0.26	0.35	0.22	0.33	0.28	
Al ₂ O ₃	9.17	13.09	12.07	13.09	13.01	12.82	13.17	12.75	12.66	13.20	12.54	12.86	12.18	11.11	11.65	
Fe ₂ O _{3t}	6.87	1.87	3.68	2.71	2.66	2.73	2.28	2.09	2.52	1.39	1.24	1.90	1.80	1.90	1.85	
FeO	8.86	2.36	2.10	1.00	1.32	1.70	0.90	0.95	0.23	0.45	0.76	0.66	0.10	0.64	0.37	
MnO	0.29	0.08	0.10	0.06	0.07	0.08	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	
MgO	2.48	0.55	0.72	0.46	0.49	0.56	0.31	0.35	0.26	0.23	0.20	0.27	0.16	0.25	0.21	
CaO	3.31	2.31	2.40	2.01	1.92	2.16	1.54	1.66	1.32	1.24	1.07	1.37	0.86	0.85	0.86	
Na ₂ O	1.92	3.39	3.34	3.38	3.41	3.38	3.40	3.20	3.12	3.35	3.25	3.26	3.14	2.60	2.87	
K ₂ O	3.10	3.73	3.21	4.14	4.27	3.84	4.57	4.56	5.09	5.08	5.01	4.86	4.55	4.61	4.58	
P ₂ O ₅	0.79	0.19	0.22	0.16	0.18	0.19	0.11	0.11	0.09	0.07	0.06	0.09	0.03	0.06	0.05	
PF	1.00	0.80	0.70	0.90	0.70	0.78	0.50	0.60	0.80	0.80	0.80	0.70	1.10	0.80	0.95	
Total	99.31	98.97	99.33	98.97	99.26	98.94	99.12	99.21	99.09	99.08	99.06	99.04	99.07	98.95	98.97	
Traço																
Ba (ppm)	427.60	1514.00		1373.40	1338.00	1408.47	889.50	988.20	1056.90	1515,3*	689.30	905.98		641.20		
Rb	202.20	135.70		150.30	173.30	153.10	180.00	168.40	182.90	191.60	260.50	196.68		183.50		
Sr	107.10	261.50		211.20	212.00	228.23	150.10	166.60	146.00	190*	107.70	142.60		117.20		
Zr	1683.60	453.70		394.70	341.40	396.60	321.70	317.60	317.90	177.10	213.90	292.78		276.40		
Nb	65.20	23.80		21.90	17.50	21.07	18.40	21.30	18.00	17.70	22.90	19.66		10.10		
Y	233.70	54.00		55.00	64.20	57.73	63.70	57.50	51.50	36.30	55.00	52.80		27.50		
Ga	26.50	21.30		20.30	20.90	20.83	23.70	19.40	22.00	19.80	19.80	20.94		18.60		
Sc	33.00	10.00		9.00	9.00	9.33	7.00	8.00	6.00	4.00	4.00	5.80		3.00		
Th	15.80	14.30		18.90	15.30	16.17	30.40	22.50	37.60	24.50	34.30	29.86		41.20		
U	6.70	4.20		2.80	4.60	3.87	3.70	3.30	3.50	6.10	7.40	4.80		4.20		
V	129.00	28.00		21.00	22.00	23.67	11.00	11.00	10.00	10.00	8.00	10.00		6.00		
La	157.90	74.70		88.90	67.00	76.87	106.80	99.70	185,3*	69.10	84.50	90.03		197.00		
Ce	378.90	170.40		185.30	139.30	165.00	238.30	210.20	381.10	146.10	180.10	231.16		409.80		
Pr	50.63	18.13		19.71	15.63	17.82	23.88	21.20	35.21	14.43	17.87	22.52		35.81		
Nd	206.80	65.70		70.40	58.40	64.83	84.30	75.50	108.50	48.40	58.40	75.02		103.90		
Sm	43.80	11.90		12.20	10.60	11.57	13.20	13.20	15.40	7,9*	10.30	13.03		11.80		
Eu	2.43	2.65		2.32	2.40	2.46	1.82	1.80	1.79	1.83	1.21	1.69		1.29		
Gd	39.32	9.78		10.26	10.26	10.10	11.00	10.17	10.91	6,06*	8.32	10.10		6.70		
Tb	6.40	1.68		1.58	1.64	1.63	1.85	1.71	1.63	1.04	1.34	1.51		0.92		
Dy	36.72	8.91		9.08	9.62	9.20	10.29	9.45	8.77	6.08	8.34	8.59		4.51		
Ho	7.54	1.86		1.82	2.03	1.90	2.16	2.00	1.75	1.18	1.74	1.77		0.91		
Er	21.53	5.45		5.42	5.71	5.53	6.14	5.57	4.94	3.42	5.40	5.09		2.62		
Tm	3.18	0.84		0.83	0.83	0.83	0.96	0.80	0.79	0.55	0.90	0.80		0.40		
Yb	17.90	4.65		4.84	5.01	4.83	6.17	4.54	4.81	3.11	5.51	4.83		2.53		
Lu	2.58	0.75		0.74	0.78	0.76	0.94	0.69	0.71	0.45	0.85	0.73		0.44		
Total	975.63	377.40		413.40	329.21	373.34	507.81	456.53	761.61	309.65	384.78	414.69		778.63		
K ₂ O/Na ₂ O	1.61	1.10	0.96	1.22	1.25	1.13	1.34	1.43	1.63	1.52	1.54	1.49	1.45	1.77	1.61	
Fe ₂ O _{3t}	16.72	4.49	6.01	3.82	4.13	4.61	3.28	3.15	2.78	1.89	2.08	2.64	1.91	2.61	2.26	
FeOt	15.04	4.04	5.41	3.44	3.71	4.15	2.95	2.83	2.5	1.7	1.88	2.37	1.72	2.35	2.04	
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.78	0.79	1.75	2.71	2.02	1.82	2.53	2.20	10,98*	3.09	1.63	2.36	17,99	2.97	10.48	
FeOt/(MgO+FeOt)	0.86	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.90	0.89	0.91	0.88	0.90	0.90	0.91	0.90	0.91	
A/CNK	0.73	0.95	0.90	0.96	0.95	0.94	0.99	0.96	0.97	0.99	0.99	0.98	1.04	1.03	1.04	
K/Rb	127	228		229	204	220	211	225	231	220	160	209		208		
Rb/Sr	1.9	0.5		0.7	0.8	0.7	1.2	1.0	1.3	1.0	2.4	1.4		1.6		
Ca/Sr	221	63		68	65	65	73	71	65	47	71	65		52		
Sr/Ba	0.25	0.17		0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.14	0.13	0.16	0.15		0.18		
Ba/Rb	2.1	11.2		9.1	7.7	9.3	4.9	5.9	5.8	7.9	2.6	5.4		3.5		
Rb/Zr	0.1	0.3		0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.6	1.1	1.2	0.8		0.7		
(La/Yb) _n	6.33	11.52		13.18	9.59	11.43	12.42	15.75	27,63*	15.94	11.00	13.78		55.85		
(La/Sm) _n	2.33	4.05		4.70	4.08	4.28	5.22	4.88	7.77	5.65	5.30	5.76		10.78		
(Gd/Yb) _n	1.82	1.74		1.75	1.69	1.73	1.47	1.85	1.88	1.61	1.25	1.61		2.19		
Eu/Eu*	0.18	0.75		0.63	0.70	0.70	0.46	0.47	0.42	0,81*	0.40	0.44		0.44		

Síglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso; ABMzG – anfibólio-biotita-monzogranito equigranular grosso; BMzP – biotita-monzogranito porfírico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoce; LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fino.

* valores excluídos na média composicional devido sua anormalidade.

Elementos Maiores	LMzMp			LMzG			LMzMt					LMzF					
	Fácies	ADR-19C	ADR-27C	Média	ADR-32B	ADR-28B	Média	ADR-140	ADR-205	ADR-52	ADR-154	ADR-130A	Média	ADR-35A	ADR-37	ADR-35B	Média
SiO ₂ (%)		74.27	74.84	74.56	75.04	76.86	75.95	75.10	75.71	76.20	76.34	76.61	75.99	74.96	76.58	77.37	76.30
TiO ₂		0.12	0.08	0.10	0.19	0.15	0.17	0.14	0.09	0.11	0.13	0.08	0.11	0.18	0.10	0.13	0.14
Al ₂ O ₃		12.65	13.22	12.94	12.03	11.45	11.74	12.03	12.40	11.85	11.98	12.01	12.05	11.87	12.03	11.12	11.67
Fe ₂ O _{3t}		1.05	0.93	0.99	1.60	1.23	1.41	1.29	1.02	1.23	1.29	1.07	1.18	1.20	1.13	0.98	1.10
FeO		0.15	0.10	0.13	0.10	0.10	0.10	0.15	0.10	0.21	0.10	0.10	0.13	0.30	0.10	0.10	0.17
MnO		0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO		0.14	0.12	0.13	0.11	0.09	0.10	0.07	0.04	0.06	0.07	0.03	0.05	0.09	0.04	0.06	0.06
CaO		0.90	0.94	0.92	0.81	0.64	0.73	0.55	0.58	0.55	0.46	0.46	0.52	0.50	0.53	0.52	0.52
Na ₂ O		2.97	3.08	3.03	2.97	2.88	2.93	3.01	3.38	3.09	3.06	3.32	3.17	2.84	3.14	2.79	2.92
K ₂ O		5.49	4.62	5.06	5.27	5.14	5.21	5.42	4.92	4.67	4.64	4.50	4.83	5.91	4.65	4.80	5.12
P ₂ O ₅		0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.01	<.01	0.01	<.01	<.01	0.01	0.02	<.01	0.02	0.02
PF		1.10	1.20	1.15	0.70	0.40	0.55	1.20	0.90	1.00	1.10	1.00	1.04	1.00	0.80	0.90	0.90
Total		98.89	99.19	99.03	98.89	99.01	98.94	99.01	99.17	99.04	99.20	99.22	99.12	98.92	99.13	98.82	98.96
Ba (ppm)	1509.00				656.10	237.70	446.90	160.30	71.80				116.05	115.90		382.90	249.40
Rb	157.30				186.30	180.80	183.55	330.10	404.40				367.25	253.90		222.70	238.30
Sr	172.60				67.10	46.10	56.60	30.00	19.40				24.70	41.60		65.80	53.70
Zr	127.60				164.60	125.40	145.00	199.90	132.80				166.35	105.40		120.30	112.85
Nb	9.30				12.40	17.20	14.80	21.90	19.60				20.75	18.20		14.70	16.45
Y	93.00				40.50	22.20	31.35	71.50	69.30				70.40	42.10		70.50	56.30
Ga	16.30				17.90	18.70	18.30	21.40	21.00				21.20	21.00		18.10	19.55
Sc	2.00				3.00	2.00	2.50	3.00	1.00				2.00	3.00		2.00	2.50
Th	6.90				18.80	13.00	15.90	47.40	58.00				52.70	37.30		24.60	30.95
U	2.10				4.30	2.40	3.35	8.20	12.30				10.25	4.60		4.30	4.45
V	11.00				<5	<5	<5	<5	<5				<5	<5		<5	<5
La	94.20				63.50	35.60	49.55	110.90	66.10				88.50	105.60		121.80	113.70
Ce	210.00				126.80	66.40	96.60	229.30	129.00				179.15	228.10		205.90	217.00
Pr	23.25				12.38	6.73	9.56	23.11	12.95				18.03	21.39		23.92	22.66
Nd	88.30				40.90	23.40	32.15	75.10	40.00				57.55	67.20		77.10	72.15
Sm	15.90				6.70	4.00	5.35	12.30	7.30				9.80	10.10		12.00	11.05
Eu	3.24				1.20	0.60	0.90	0.59	0.35				0.47	0.77		1.23	1.00
Gd	14.80				6.05	3.51	4.78	9.80	6.26				8.03	6.84		10.80	8.82
Tb	2.21				1.00	0.61	0.81	1.69	1.33				1.51	1.17		1.74	1.46
Dy	13.28				5.87	3.57	4.72	10.19	8.58				9.39	6.81		10.41	8.61
Ho	2.73				1.31	0.75	1.03	2.27	1.97				2.12	1.37		2.17	1.77
Er	7.82				3.98	2.22	3.10	6.93	6.90				6.92	3.93		6.35	5.14
Tm	1.22				0.63	0.36	0.50	1.17	1.14				1.16	0.61		0.94	0.78
Yb	7.14				3.88	2.35	3.12	6.85	7.51				7.18	3.78		5.84	4.81
Lu	1.07				0.56	0.38	0.47	1.00	1.19				1.10	0.59		0.88	0.74
Total	485.16				274.76	150.48	212.62	491.20	290.58				390.89	458.26		481.08	469.67
K ₂ O/Na ₂ O	1.85	1.50	1.67	1.77	1.78	1.78	1.80	1.46	1.51	1.52	1.36	1.53	2.08	1.48	1.72	1.76	
Fe ₂ O _{3t}	1.22	1.04	1.13	1.71	1.34	1.53	1.46	1.13	1.46	1.4	1.18	1.33	1.53	1.24	1.09	1.29	
FeOt	1.09	0.94	1.02	1.54	1.21	1.38	1.31	1.02	1.32	1.26	1.06	1.19	1.38	1.12	0.98	1.16	
Fe ₂ O ₃ /FeO	7.02	9.29	8.16	15.99	12.29	14.14	8.62	10.19	5.84	12.89	10.69	9.65	3.99	11.29	9.79	8.36	
FeOt/(MgO+FeOt)	0.89	0.89	0.89	0.93	0.93	0.93	0.95	0.96	0.96	0.95	0.97	0.96	0.94	0.97	0.94	0.95	
A/CNK	1.01	1.12	1.07	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.06	1.10	1.07	1.06	0.99	1.08	1.04	1.03	
K/Rb	290				235	236	235	136	101				119	193		179	186
Rb/Sr	0.9				2.8	3.9	3.3	11.0	20.8				15.9	6.1		3.4	4.7
Ca/Sr	37				86	99	93	131	214				172	86		56	71
Sr/Ba	0.11				0.10	0.19	0.15	0.19	0.27				0.23	0.36		0.17	0.27
Ba/Rb	9.6				3.5	1.3	2.4	0.5	0.2				0.3	0.5		1.7	1.1
Rb/Zr	1.2				1.1	1.4	1.3	1.7	3.0				2.3	2.4		1.9	2.1
(La/Yb) _n	9.46				11.74	10.87	11.31	11.61	6.31				8.96	20.04		14.96	17.50
(La/Sm) _n	3.82				6.12	5.75	5.93	5.82	5.85				5.83	6.75		6.55	6.65
(Gd/Yb) _n	1.71				1.29	1.24	1.26	1.18	0.69				0.94	1.50		1.53	1.51
Eu/Eu*	0.65				0.58	0.49	0.53	0.16	0.16				0.16	0.28		0.33	0.31

Síglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso; ABMzG – anfibólio-biotita-monzogranito equigranular grosso; BMzP – biotita-monzogranito porfírico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoce; LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fino.

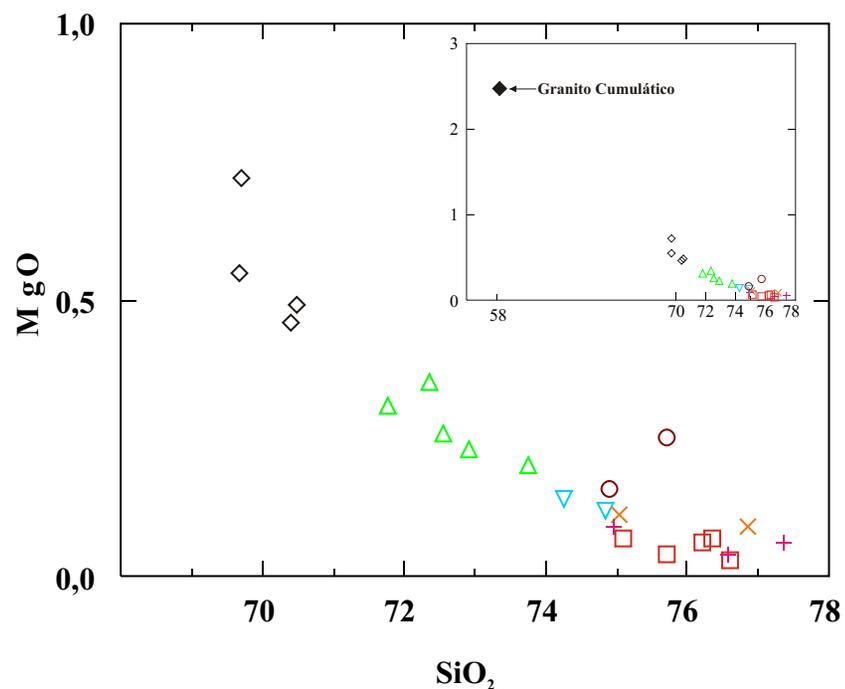
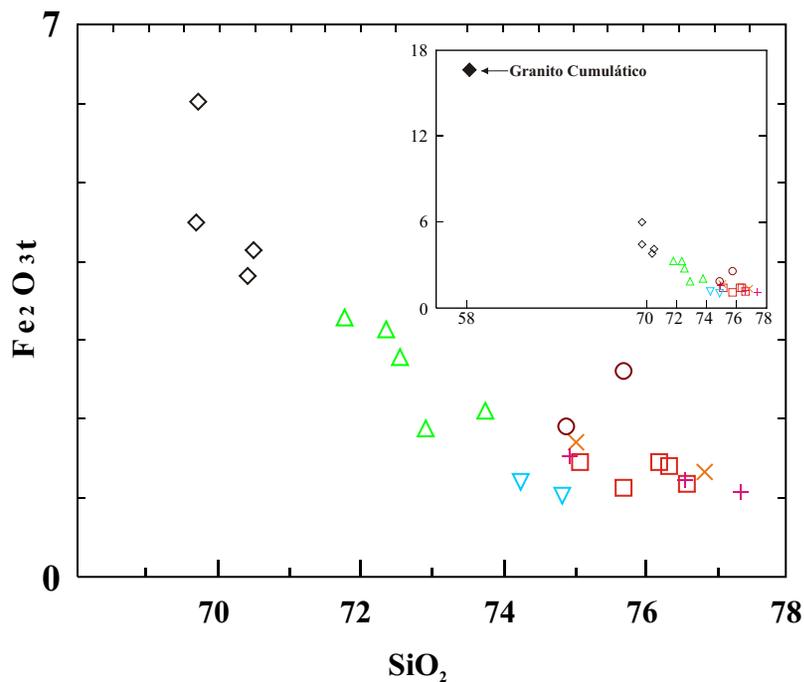
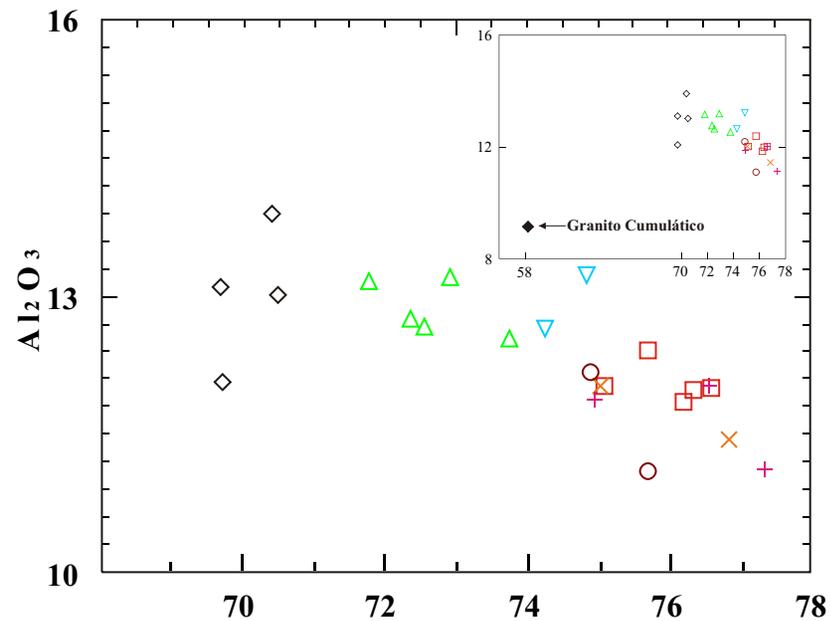
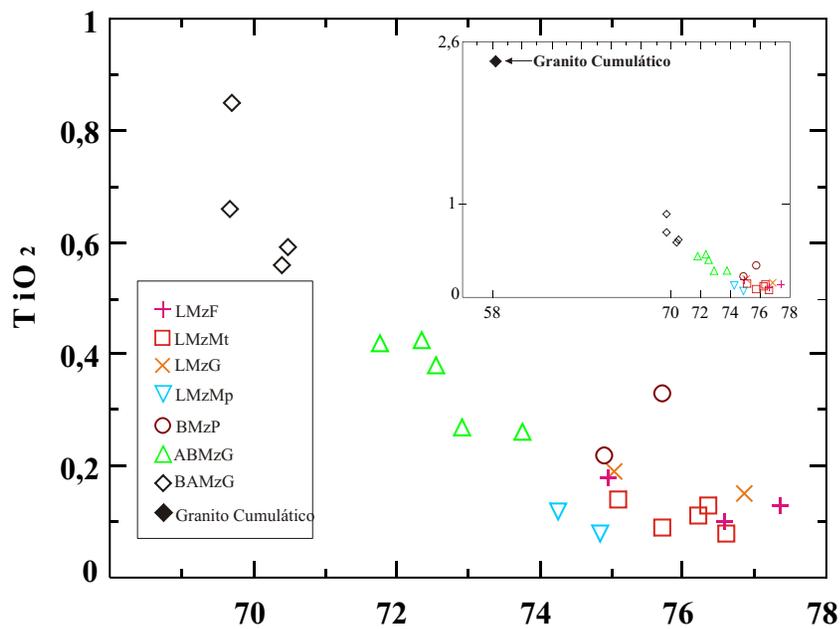
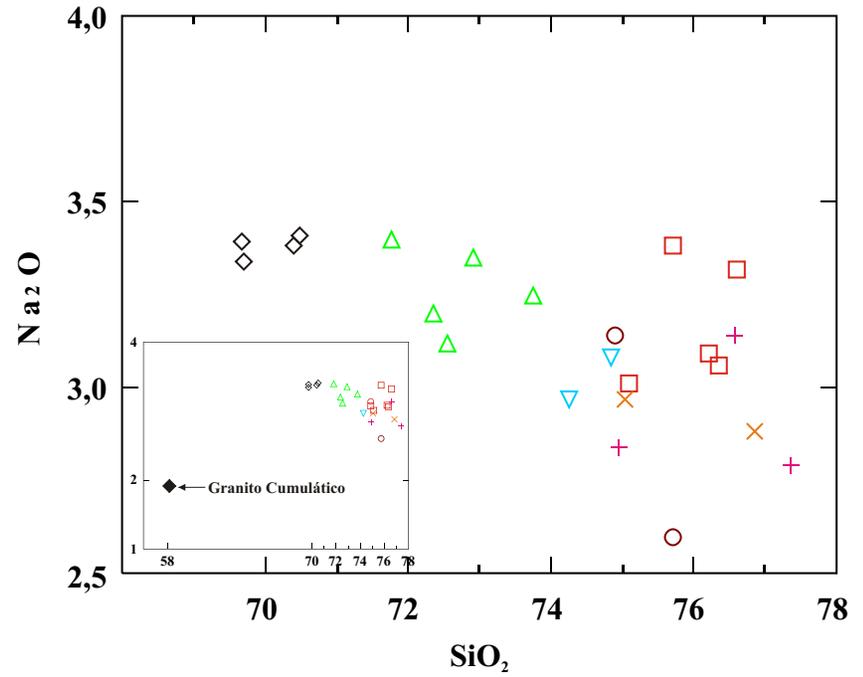
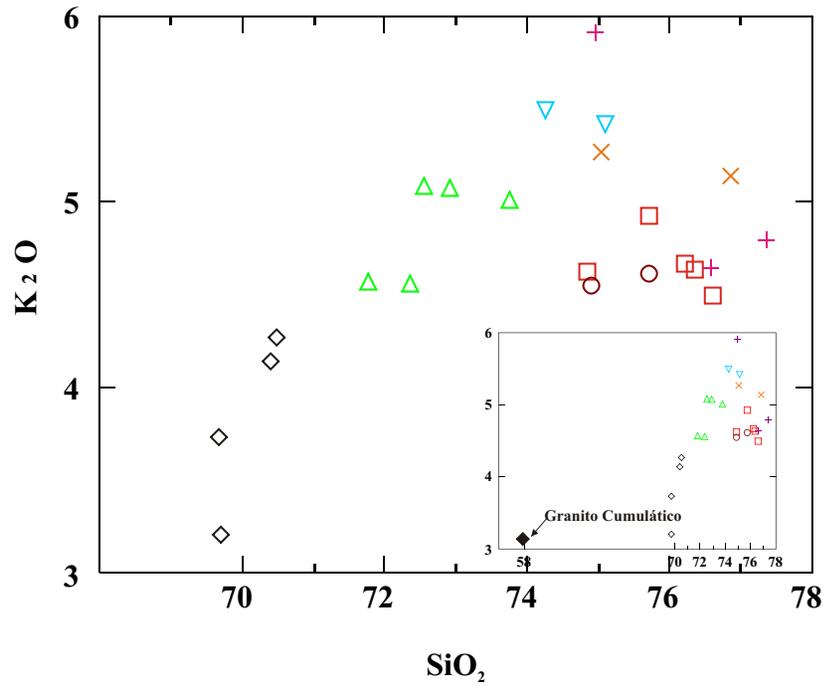
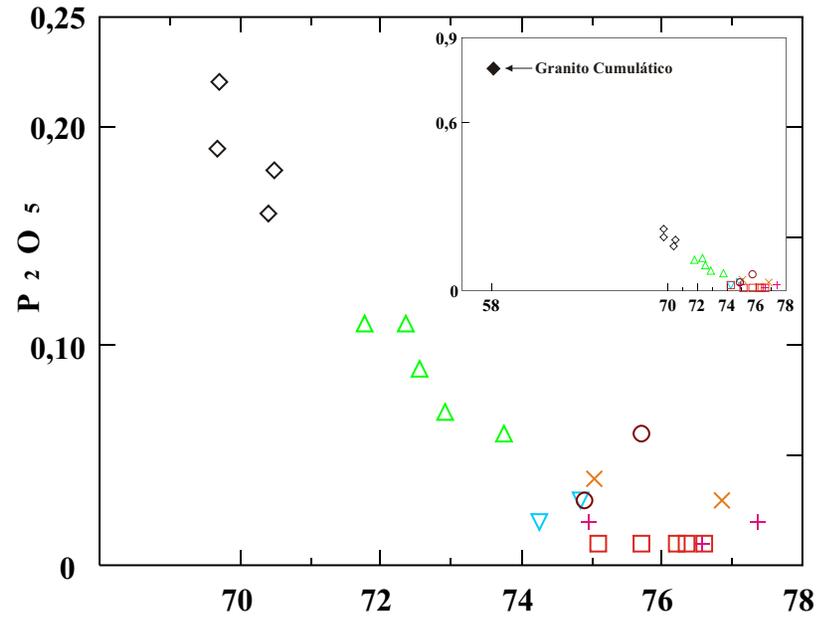
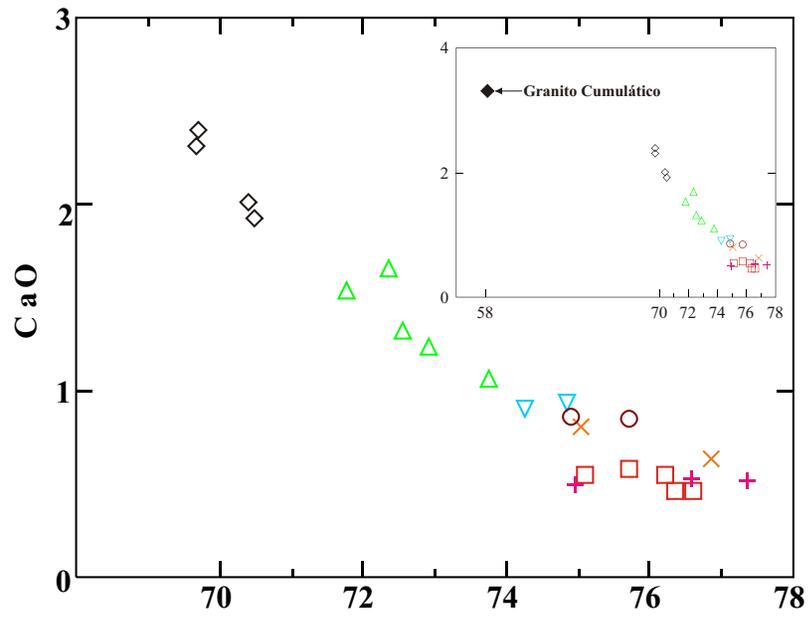


Figura 5.1- Diagramas de variação de Harker para os óxidos dos elementos maiores e menores versus sílica (% em peso) para as diversas fácies do Granito Bannach



Continuação

Com o aumento de SiO_2 , no sentido do grupo 1 ao grupo 3, os teores de TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , MnO , CaO e P_2O_5 tendem a diminuir (Figura 5.1). Isso é coerente com as observações petrográficas, as quais mostram que as razões Pl/Mc e Anf/Bt , juntamente com os conteúdos modais de minerais ferromagnesianos, exibem valores decrescentes nesse mesmo sentido. Os teores de K_2O são relativamente altos, com médias variáveis de 3,1 a 5,3%, sendo mínimo no GC, moderado nos BAMzG, aumentando abruptamente destes últimos (média de 3,84%) para o ABMzG (média de 4,8%), permanecendo aproximadamente constantes nos LMzMp e LMzMt, atingindo valores médios máximos nos LMzG e LMzF. Os teores de Na_2O oscilam entre 3,0 e 3,5%, com exceção dos GC que apresentam conteúdos de 1,9%, aumentando para 3,4% nos BAMzG e mantendo-se praticamente constantes nas demais fácies, embora algumas amostras mais ricas em sílica, mostrem valores comparativamente baixos (Figura 5.1).

As razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ situam-se entre 1 e 2, caracterizando as diversas fácies como relativamente enriquecidas em K_2O . Nas fácies BAMzG, ABMzG e nos LMzMp, o K_2O mantém uma correlação positiva com a SiO_2 , ao contrário do que é observado no caso de Na_2O . Portanto, nessas fácies existe uma correlação negativa entre K_2O e Na_2O , o que fica demonstrado no diagrama $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ (Figura 5.2a). O GC destoa desse conjunto, pois apresenta razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (1,61) relativamente elevada e superior às de BAMzG e ABMzG (Tabela 5.1). Dos BAMzG para os ABMzG, há um aumento acentuado de K_2O , ao passo que os valores de Na_2O diminuem ligeiramente, provocando um aumento significativo na razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (de 1,1 para 1,5). As rochas do grupo 3 mostram as maiores razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (em torno de 1,7), em função do crescimento contínuo de K_2O , acompanhado do decréscimo de Na_2O .

O comportamento do Al_2O_3 é similar ao do Na_2O , com teores oscilando entre 11 e 13%, mantendo-se a média ao redor de 12% (Tabela 5.1). Observa-se um enriquecimento em Al_2O_3 dos GC (9,2%) para as rochas do grupo 2, seguido de um sutil decréscimo para aquelas do grupo 3.

Os valores de CaO mostram uma correlação linear e negativa com os teores de SiO_2 , decrescendo mais pronunciadamente dos GC (3,31%) para os BAMzG (média de 2,16%) e ABMzG (1,3%). As rochas do grupo 3 exibem valores baixos e relativamente constantes (0,7 a 0,5%). Verifica-se uma correspondência direta entre os teores de K_2O , Na_2O e Al_2O_3 e os conteúdos das fases feldspáticas presentes nas diversas fácies do Granito Bannach. Conforme o capítulo 3, os GC são caracterizados por apresentar uma razão média Mc/Pl (0,7) similar à dos

BAMzG (0,6), ligeiramente inferior à dos ABMzG (0,9) e muito distinta daquelas das rochas pertencentes ao grupo 3 (>1,1). Isso é coerente com o aumento progressivo das razões K_2O/Na_2O no sentido BAMzG -ABMzG-grupo 3. Portanto fica clara a consistência entre dados modais e químicos. O baixíssimo conteúdo de Al_2O_3 do GC reflete sua composição modal (Tabela 3.1) comparativamente empobrecida em feldspatos, em relação as fácies BAMzG e ABMzG. Os conteúdos de Al_2O_3 permanecem constantes nas fácies BAMzG, ABMzG e LMzMp, decrescendo para aquelas do grupo 3, refletindo o fracionamento expressivo de feldspatos nessas últimas fácies.

Embora ocorram superposições, principalmente entre as rochas leucograníticas, observa-se uma tendência geral ao aumento dos valores de SiO_2 das fácies portadoras de anfibólio + biotita \pm clinopiroxênio (GC, BAMzG e ABMzG) para os leucogranitos. Os valores mais elevados de SiO_2 estão relacionados às amostras mais leucocráticas e com maiores percentagens de quartzo, representadas pelos leucogranitos (LMzMp, LMzG, LMzMt e LMzF) e pelas rochas porfíricas (BMzP). Os conteúdos de SiO_2 dessas fácies são muito similares, variando de 74,27 a 77,37% com média de 75,6%.

A separação da fácies BAMzG e ABMzG com base nas proporções modais de anfibólio e biotita (capítulo 3), é consistente com as suas composições, pois as mesmas revelam diferenças químicas bastante significativas (Figura 5.1). Com exceção de Al_2O_3 e Na_2O , que mantém seus valores quase constantes, os conteúdos dos demais óxidos variam notavelmente da fácies BAMzG para os ABMzG (Tabela 5.1). Os teores de SiO_2 nos BAMzG (média de 70,5%) são inferiores aos do ABMzG (média de 72,7%). É muito nítida a existência de uma descontinuidade composicional nos teores de SiO_2 e dos diferentes óxidos, das fácies GC para os BAMzG (Figura 5.1; tabela 5.1).

Os conteúdos de TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , MnO e P_2O_5 são relativamente altos na fácies menos evoluída (BAMzG), decrescendo acentuadamente e regularmente no sentido dos leucogranitos. O CaO exibe comportamento análogo aos dos vários óxidos mencionados, mostrando um *trend* muito linear (Figura 5.1).

Levando em consideração as superposições nos diagramas de Harker entre os leucogranitos, nota-se em linhas gerais que o sentido da evolução do Granito Bannach segue aquele sugerido pela petrografia: GC (grupo 1)? BAMzG-ABMzG (grupo 2)? BMzP-LMzMp-

LMzG-LMzMt-LMzF (Grupo 3). Entretanto, fica clara em todos os diagramas a descontinuidade composicional marcante entre os GC e as demais fácies petrográficas do corpo.

As variações nas razões Fe_2O_3/FeO também acompanham a evolução das fácies (Tabela 5.1). Nos monzogranitos menos evoluídos (GC, ABMzG e BAMzG), essas razões são sempre menores que 4, ao passo que nos BMzP e nos leucogranitos apresentam valores maiores que 7, sugerindo condições cada vez mais oxidantes nas fácies mais ricas em sílica. O diagrama $FeOt/(FeOt + MgO)$ versus SiO_2 (Figura 5.2b) mostra que o Granito Bannach possui sempre altas razões $FeOt/(FeOt + MgO)$ (0,86 a 0,97), as quais tendem a aumentar nas variedades mais ricas em sílica, refletindo o decréscimo mais acentuado de MgO do que de FeOt nestas rochas. Segundo Frost et al. (2001) o Granito Bannach é do tipo ferroso e exibe comportamento semelhante ao dos granitos tipo-A.

Diagrama ANK vs ACNK baseado em parâmetros de Shand (Figura 5.2c) razões moleculares (Shand 1951), evidencia o caráter metaluminoso a peraluminoso do Granito Bannach. Paralelamente ao aumento de sílica, tende a haver um crescimento da razão A/CNK (Tabela 5.1, Figura 5.2c), com as fácies passando de metaluminosas a peraluminosas. As fácies GC, BAMzG e ABMzG mostram razões $A/CNK < 1$, ao passo que os BMzP e leucomonzogranitos mostram-se peraluminosos com razões $A/CNK = 1$.

O caráter metaluminoso a peraluminoso do Granito Bannach, também é confirmado através do diagrama $Fe+Mg+Ti$ versus $Al-(K+Na+2Ca)$ ou $A \times B$ (Figura 5.3a) de Debon & Le Fort (1988). Ele mostra, ainda, que: com a diminuição de constituintes máficos as rochas passam de metaluminosas a peraluminosas; as amostras das fácies GC, BAMzG e ABMzG incidem no campo das rochas com anfibólio e biotita (Campo IV); e as fácies LMzG, LMzM, LMc e algumas amostras da fácies BMzP seriam classificadas geoquimicamente como leucogranitos.

O diagrama R1-R2 (La Roche et al. 1980) mostra que as diversas fácies do Granito Bannach (Figura 5.3b) incidem no campo dos monzogranitos com exceção dos GC e BAMzG que caem no domínio dos granodioritos em função do seu alto teor de minerais ferromagnesianos. As amostras do Granito Bannach tendem a acompanhar o *trend* subalcalino potássico (SUALK), fugindo totalmente do *trend* calcico-alcalino (CAA). Este comportamento é similar aos dos demais granitos anorogênicos, proterozóicos, tipo A, da Província Amazônia Central (Dall'Agnol et al. 1994) e aos granitos da Suíte Jamon.

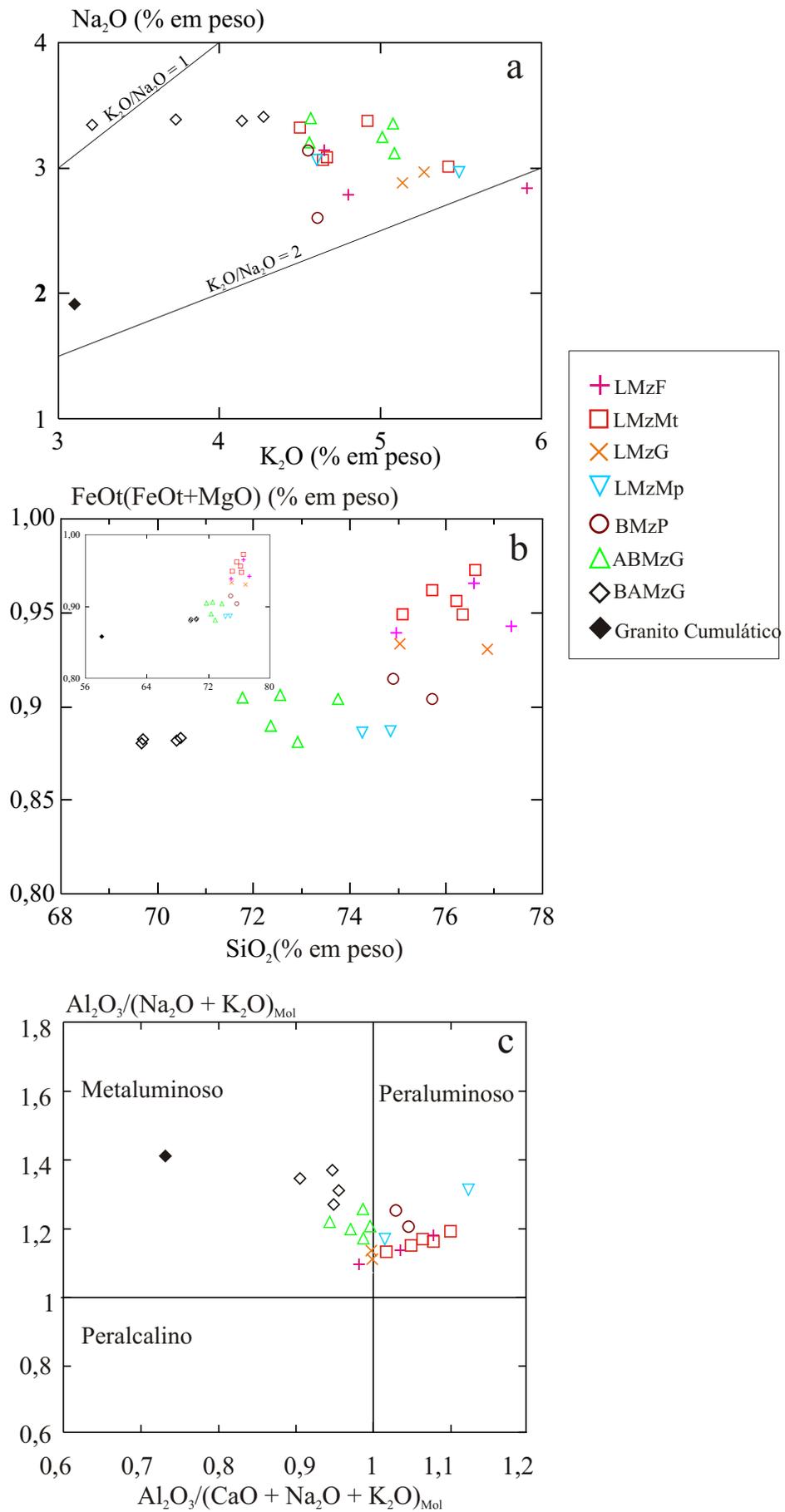


Figura 5.2 - Diagramas geoquímicos para as diversas fácies do Granito Bannach. (a) Na₂O versus K₂O (% em peso); (b) FeOt/(FeOt+MgO) versus SiO₂ (% em peso); (c) A/NK versus A/CNK (óxidos em proporções moleculares)(Shand 1951).

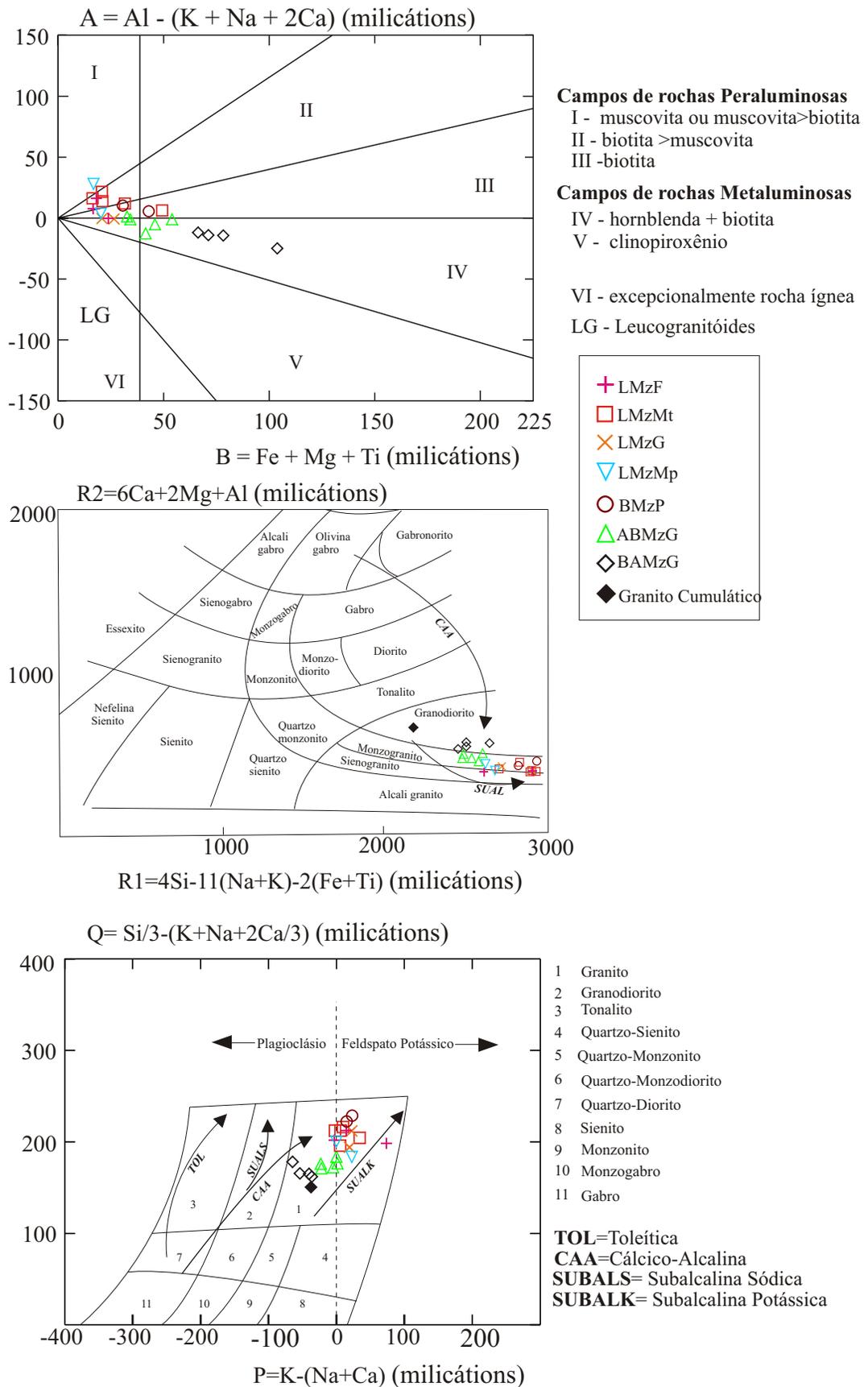


Figura 5.3 - Diagramas milicátions para as diversas fácies do Granito Bannach. (a) A x B (Debon et al. 1988); notar que as fácies BAMzG e ABMzG incidem no campo das rochas metaluminosas e os BMzP e leucomonzogranitos no das peraluminosas; (b) R1 x R2 (La Roche et al. 1980), confirmando a composição monzogranítica do Granito Bannach e seu caráter subalcalino; (c) Q x P (Debon & Le Fort, 1988), mostrando a afinidade com as séries subalcalinas potássicas do Granito Bannach. Notar que os GC, BAMzG e ABMzG apresentam quimicamente excesso de plagioclásio em relação ao feldspato potássico, sendo o contrário observado nos BMzP e leucogranitos.

No diagrama $Si/3 - (K+Na+2Ca/3)$ versus $K - (Na+Ca)$ ou P x Q (Figura 5.3c) de Debon & Le Fort (1988), verifica-se que as diversas fácies do Granito Bannach seguem um *trend* subalcalino potássico, com as amostras menos evoluídas (GC, BAMzG e ABMzG) localizando-se no campo onde há ligeira predominância de plagioclásio sobre o feldspato potássico ($P < 0$), sendo o contrário observado nos leucogranitos. Isso é muito coerente com os dados petrográficos (capítulo 3), uma vez que os GC, BAMzG e ABMzG apresentam razões Pl/Mc sempre maiores do que 1 e as demais fácies mostram normalmente o feldspato potássico dominando sobre o plagioclásio (Tabela 3.1).

5.1.1 – Normas C.I.P.W

O cálculo das normas CIPW das diferentes fácies do Granito Bannach foi realizado usando-se o programa Powernorm Minpet versão 2.02 e os resultados estão na tabela 5.2.

Observa-se, em linhas gerais, que no sentido da evolução das fácies (BAMzG? leucogranitos) ocorre um aumento das proporções normativas de quartzo e ortoclásio, acompanhado pelo decréscimo de anortita, hiperstênio, diopsídio e magnetita. A albita tende a aumentar significativamente da fácies GC (16,7%) para BAMzG (média de 29%), mantendo seus valores quase constantes no restante das fácies, porém com valores um pouco mais baixos nas rochas mais evoluídas.

O coríndon normativo acha-se ausente nas fácies menos evoluídas e é constante nas fácies leucocráticas, porém normalmente apresenta baixas percentagens ($< 1\%$). O diopsídio normativo é quase constante nos BAMzG e ABMzG com valores médios variando de 0,98 a 0,28%, respectivamente, aparecendo também na fácies GC onde seu valor (3,9%) é significativamente mais elevado. Nos BMzP e nos leucogranitos o diopsídio está ausente. Assim como as razões Fe_2O_3/FeO , a hematita normativa tende a aumentar das fácies menos evoluídas para as mais evoluídas. A presença da hematita normativa em praticamente todas as fácies indica a formação em condições oxidantes ou processos intensos de oxidação durante a evolução destas rochas. O conteúdo normativo de magnetita tende a diminuir das fácies menos evoluídas para os leucogranitos.

As variações nos conteúdos de coríndon e diopsídio normativos expressam as ligeiras mudanças na composição das rochas do Granito Bannach. As fácies portadoras de anfibólio + bio

Tabela 5.2- Composições Normativas (CIPW) para as diversas fácies do Granito Bannach

Minerais Normativos	GC						BAMzG						ABMzG						BMzP		
	Fácies	ADR-136I	ADR-136C	ADR-218	ADR-67	ADR-26	Média	ADR-55B	ADR-24I	ADR-55A	ADR-136A	ADR-100A	Média	ADR-61	ADR-45B	Média					
Quartzo		24.70	30.41	33.90	30.64	30.63	31.40	31.50	33.15	32.40	31.70	33.90	32.53	38.00	41.70	39.85					
Ortoclásio		18.84	22.53	19.90	24.70	25.66	23.20	27.40	27.38	30.51	30.49	30.18	27.19	27.30	27.81	27.56					
Albita		16.67	29.26	29.00	28.92	29.29	29.12	29.17	27.46	26.84	28.82	27.98	28.05	27.05	22.40	24.73					
Anortita		7.41	9.65	8.56	9.15	7.66	8.76	7.10	7.02	5.56	5.85	4.89	6.08	4.18	3.94	4.06					
Coridon		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.59	0.42	0.51					
Diopsídio		3.90	0.78	1.74	0.66	0.74	0.98	0.10	0.54	0.45	0.20	0.13	0.28	-	-	-					
Hiperstênio		11.76	2.90	1.10	1.19	0.90	1.52	0.79	0.64	0.46	0.60	0.46	0.59	0.41	0.64	0.53					
Magnetita		10.24	2.77	2.80	1.82	2.82	2.55	1.87	2.04	0.89	0.78	1.83	1.48	0.43	1.23	0.83					
Hematita		-	-	0.70	1.49	0.76	0.74	1.02	0.72	1.95	0.88	-	0.91	1.54	1.09	1.32					
Ilmenita		4.71	1.28	1.70	1.08	1.14	1.30	0.81	0.81	0.74	0.52	0.50	0.68	0.43	0.64	0.54					
Apatita		1.77	0.42	0.60	0.35	0.40	0.44	0.24	0.24	0.20	0.16	0.13	0.19	0.07	0.13	0.10					
Total*		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.01	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	99.99	100.00					
À 100%																					
Qz*		41.02	37.00	40.94	36.36	35.79	37.50	35.77	37.67	36.10	34.83	36.82	36.23	41.15	45.37	43.25					
Or*		31.29	27.41	24.03	29.31	29.98	27.71	31.11	31.12	33.99	33.50	32.78	32.52	29.56	30.26	29.91					
Ab*		27.69	35.60	35.02	34.32	34.23	34.78	33.12	31.21	29.91	31.67	30.39	31.25	29.29	24.37	26.84					
Or*		43.90	36.67	34.63	39.35	40.98	37.99	43.03	44.26	48.50	46.79	47.87	46.10	46.64	51.36	48.91					
Ab*		38.84	47.62	50.47	46.07	46.78	47.68	45.81	44.39	42.66	44.23	44.38	44.30	46.22	41.37	43.89					
An*		17.26	15.71	14.90	14.58	12.23	14.34	11.15	11.35	8.84	8.98	7.76	9.61	7.14	7.28	7.21					
Ab / An		2.25	3.03	3.39	3.16	3.82	3.33	4.11	3.91	4.83	4.93	5.72	4.61	6.47	5.69	6.09					
Ab / Or		0.88	1.30	1.46	1.17	1.14	1.26	1.06	1.00	0.88	0.95	0.93	0.96	0.99	0.81	0.90					
[An*/(An*+Ab*)]x100		30.77	24.80	22.79	24.03	20.73	23.12	19.58	20.36	17.16	16.87	14.88	17.82	13.38	14.96	14.10					

Minerais Normativos	LMzMp			LMzG			LMzMt						LMzF				
	Fácies	ADR-19C	ADR-27C	Média	ADR-32B	ADR-28	Média	ADR-140	ADR-205	ADR-52	ADR-154	ADR-130A	Média	ADR-35A	ADR-37	ADR-35B	Média
Quartzo		34.68	37.91	36.30	36.50	39.56	38.03	36.41	36.60	39.92	40.51	39.80	38.65	35.40	40.04	42.52	39.32
Ortoclásio		33.21	27.89	30.55	31.54	30.90	31.22	32.79	29.61	28.18	27.98	27.10	29.13	35.50	27.97	29.00	30.82
Albita		25.68	26.57	26.13	25.57	24.50	25.04	26.01	29.07	26.65	26.36	28.57	27.33	24.30	26.99	24.08	25.12
Anortita		4.45	4.58	4.52	3.86	3.04	3.45	2.73	2.87	2.73	2.27	2.27	2.57	2.17	2.62	2.52	2.44
Coridon		0.22	1.52	0.87	0.04	0.03	0.04	0.22	0.48	0.73	1.12	0.86	0.68	0.70	0.89	0.43	0.67
Diopsídio		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hiperstênio		0.36	0.31	0.34	0.28	0.23	0.26	0.18	0.10	0.15	0.18	0.08	0.14	0.15	0.10	0.15	0.13
Magnetita		0.17	0.16	0.17	0.39	0.43	0.41	0.15	0.13	0.50	0.01	0.19	0.20	0.52	0.10	0.01	0.21
Hematita		0.96	0.83	0.90	1.36	0.95	1.16	1.22	0.95	0.91	1.31	0.96	1.07	0.87	1.08	1.00	0.98
Ilmenita		0.23	0.16	0.20	0.37	0.29	0.33	0.27	0.17	0.21	0.24	0.15	0.21	0.35	0.19	0.25	0.26
Apatita		0.04	0.07	0.06	0.09	0.07	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03
Total*		99.99	100.01	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	99.99	99.99	100.01	100.00	100.00	100.01	100.00	99.99	100.00
À 100%																	
Qz		37.06	41.04	39.04	38.99	41.66	40.34	38.24	38.41	42.13	42.71	41.69	40.63	37.18	42.15	44.48	41.27
Or		35.49	30.19	32.86	33.69	32.54	33.11	34.44	31.08	29.74	29.50	28.39	30.63	37.29	29.44	30.33	32.35
Ab		27.44	28.76	28.10	27.32	25.80	26.55	27.32	30.51	28.13	27.79	29.93	28.74	25.53	28.41	25.19	26.37
Or		52.43	47.24	49.93	51.73	52.87	52.29	53.29	48.11	48.96	49.43	46.77	49.34	57.29	48.58	52.16	52.79
Ab		40.54	45.00	42.69	41.94	41.92	41.93	42.27	47.23	46.30	46.56	49.31	46.30	39.21	46.87	43.31	43.03
An		7.03	7.76	7.38	6.33	5.20	5.78	4.44	4.66	4.74	4.01	3.92	4.36	3.50	4.55	4.53	4.17
Ab / An		5.77	5.80	5.79	6.62	8.06	7.26	9.53	10.13	9.76	11.61	12.59	10.62	11.20	10.30	9.56	10.31
Ab / Or		0.77	0.95	0.86	0.81	0.79	0.80	0.79	0.98	0.95	0.94	1.05	0.94	0.68	0.96	0.83	0.82
[An*/(An*+Ab*)]x100		14.77	14.70	14.74	13.12	11.04	12.11	9.50	8.99	9.29	7.93	7.36	8.61	8.20	8.85	9.47	8.84

Síglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso; ABMzG – anfibólio-biotita-monzogranito equigranular grosso;

BMzP – biotita-monzogranito porfírico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoce;

LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fino.

[An*/(An*+Ab*)]x100 = composição normativa do plagioclásio, * valor normalizado

-tita \pm clinopiroxênio (GC, BAMzG e ABMzG) se caracterizam como metaluminosas apresentando diopsídio normativo e razão A/CNK menor que 1 (Figura 5.2b). A ausência de coríndon nessas rochas indica que não houve excesso de alumina sobre a soma de álcalis e cálcio. Os BMzP e os leucogranitos possuem coríndon e ausência de diopsídio normativo, indicando um pequeno excesso de alumina sobre os álcalis, refletindo composições peraluminosas.

No diagrama normativo Qz-Ab-Or (Figura 5.4a) há uma marcante concentração no centro do diagrama das amostras do Granito Bannach, Nota -se, no entanto, o deslocamento em direção ao segmento Qz -Or dos GC, leucogranitos e dos BMzP. Por outro lado, os BAMzG e ABMzG, tendem a se afastar da linha Qz -Or, aproximando-se do vértice da Ab. No geral, a distribuição dos pontos representativos das diferentes fácies, coincide com o máximo para os granitos (Tuttle & Bowen 1958, Winkler 1979). A associação dos GC com os leucogranitos neste diagrama reflete suas razões K_2O/Na_2O mais elevadas em relação aos BAMzG e ABMzG.

O diagrama An-Ab-Or (Figura 5.4b) mostra que a diferenciação magmática é comandada pela variação do conteúdo de An e da razão Ab/Or, com ambas decrescendo paralelamente, fazendo com que as amostras das fácies mais evoluídas, aproximem-se do segmento Ab-Or, migrando, ao mesmo tempo, em direção ao vértice do Or.

5.2 – ELEMENTOS-TRAÇO

O conteúdo dos elementos-traço em séries magmáticas varia de acordo com a diferenciação magmática e pode auxiliar na compreensão dos processos envolvidos na mesma. A variação dos principais elementos traços nas diferentes fácies petrográficas do Granito Bannach, pode ser visualizada nos diagramas de Harker (Figura 5.5). De modo geral, Ba, Sr e Zr diminuem no sentido do aumento de SiO_2 . O BAMzG apresentam teores de Ba e Sr mais elevados, decrescendo no sentido ABMzG? BMzP? leucogranitos. Os GC exibem valores desses elementos semelhantes às médias dos BMzP. O Rb mostra correlação positiva com SiO_2 , enquanto que o Y mantém seus valores praticamente constantes nas diversas fácies. O conteúdo de Nb é moderado nos BAMzG, permanecendo constante nas demais fácies. Ele é relativamente alto nos GC.

Apesar de existir algumas superposições entre as diversas fácies, a variação dos principais elementos-traço, partindo das mais ricas em máficos para os leucogranitos, confirma as sugestões

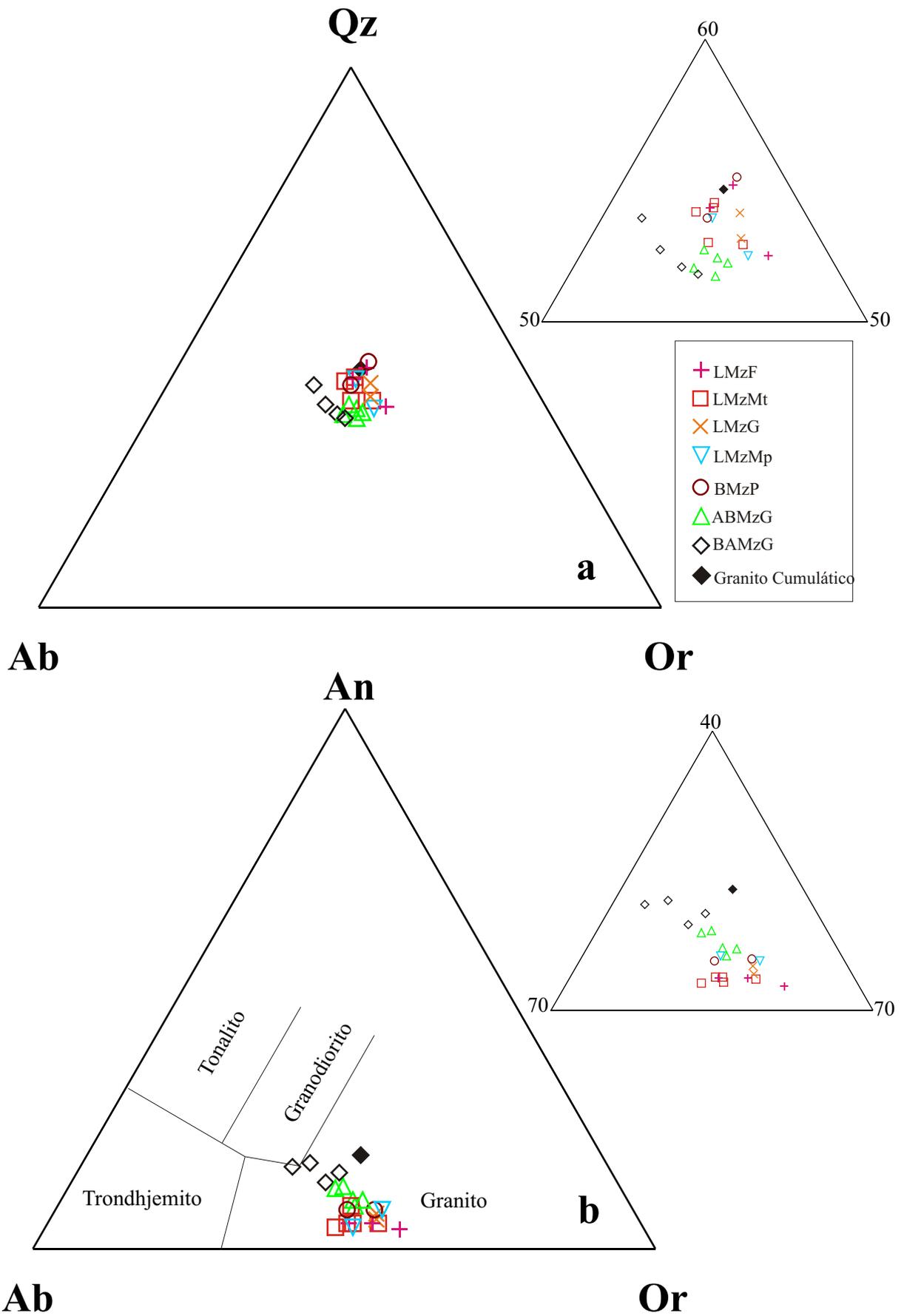


Figura 5.4- Diagramas normativos CIPW para as diferentes fácies do Granito Bannach. a) Diagrama ternário Qz-Ab-Or; b) Diagrama ternário An-Ab-Or (campos conforme Barker et al. 1979).

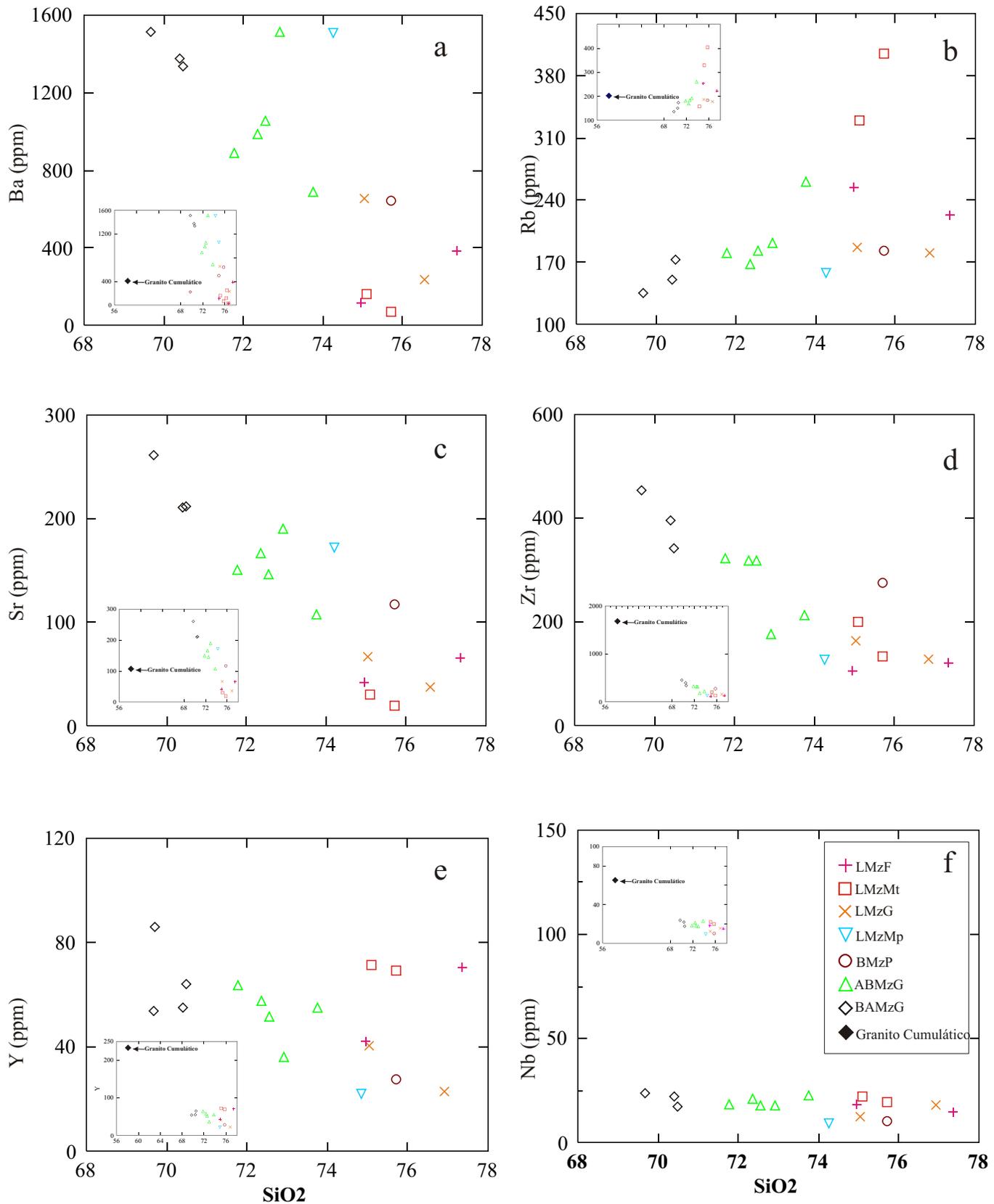


Figura 5.5- Diagramas binários de variação para os elementos traços (em ppm) versus sílica (% em peso) para as diversas fácies do Granito Bannach.

anteriores quanto ao sentido geral da diferenciação magmática que comandou a evolução das diversas fácies do Granito Bannach.

5.2.1 – Comportamento dos *LILE* - Rb, Sr e Ba.

O Rb apresenta propriedades iônicas e atômicas muito semelhantes ao K. Por esse motivo ele é muitas vezes camuflado em minerais potássicos formadores de rochas (Wedepohl 1970). A maioria do Rb na crosta está contido em feldspato potássico e biotita, sendo que o conteúdo desse elemento aumenta de acordo com a diferenciação da rocha hospedeira. Rhodes (1969) constatou que o fator determinante no conteúdo de Rb nos feldspatos potássicos é a composição da rocha. Observou que os conteúdos de Rb e K aumentam no sentido das rochas mais evoluídas, porém o Rb aumenta proporcionalmente mais do que o K, fazendo com que a razão K/Rb diminua nas rochas mais diferenciadas. Diversos trabalhos (Sen et al. 1959, Hart & Aldrich 1967) mostram que a biotita, em geral, é relativamente mais enriquecida em Rb do que o feldspato potássico. No Granito Bannach, o Rb deve estar contido em sua maior parte no feldspato potássico, devido à sua proporção modal muito mais elevada comparativamente à biotita (uma provável exceção ocorre nos GC).

Embora os valores de Rb cresçam paralelamente ao aumento de SiO_2 , indicando o seu comportamento incompatível, constata-se algumas particularidades em sua evolução. Os teores de Rb são mais elevados nos GC do que nos BAMzG, e aumentam dos últimos para os ABMzG e LMzMp, e permanecem quase constantes nos BMzP e LMzG, crescendo significativamente apenas nos LMzMt e LMzF, originando um *trend* subverticalizado (Figura 5.5). O maior conteúdo de Rb nos GC em relação à fácies BAMzG, pode ser explicado pela grande proporção modal de biotita nos GC (13,2%; Tabela 3.1 - capítulo 3), a qual pode conter em sua estrutura teores elevados de Rb. Da fácies BAMzG para ABMzG ocorre um aumento dos conteúdos modais de biotita e feldspato potássico (Capítulo 3), reduzindo-se assim o grau de incompatibilidade do Rb, justificando os maiores valores registrados nos últimos em relação aos primeiros. As proporções de biotita diminuem e as de feldspato potássico aumentam das fácies ABMzG para as rochas leucograníticas, porém o Rb deve ter comportamento mais compatível refletindo-se nos valores relativamente elevados registrados nos leucogranitos (principalmente nos LMzMt e LMzF). Os teores de K_2O assim como de Rb, tendem a crescer ao longo da evolução, mostrando correlação positiva com SiO_2 e um *trend* fortemente inclinado nos

monzogranitos menos evoluídos (BAMzG -ABMzG) e um outro subhorizontal no caso de K_2O e subverticalizado para o Rb no caso das rochas mais evoluídas (Figura 5.1). Em geral, a evolução desses dois elementos é compatível com a hipótese de uma diferenciação magmática ter comandado a evolução das diferentes fácies petrográficas, uma vez que os líquidos mais evoluídos tendem a se enriquecer em K e Rb (Shaw 1970).

Confrontando as razões K/Rb (Tabela 5.1) e os diagramas K -Rb e K/Rb vs Rb (Figuras 5.6a e 5.6b), observa-se que a fácies GC possui conteúdo expressivo de Rb e baixo teor de K, o que se reflete na sua baixa razão K/Rb. Essas razões são semelhantes nas fácies BAMzG, ABMzG e BMzP. As fácies de leucogranitos (LMzMp, LMzG, LMzMt, LMzF) mostram valores variáveis de Rb e constantes de K, com tendência clara ao decréscimo das razões K/Rb (Figura 5.6b). Portanto, as razões K/Rb decrescem de um modo geral segundo a provável evolução das fácies do Granito Bannach.

Os conteúdos de Sr e Ba são muito baixos nos GC, alcançam valores máximos nos BAMzG e diminuem de modo marcante destes últimos para as demais fácies, no sentido BAMzG -ABMzG-LMzMp-BMzP-LMzG-LMzMt-LMzF, apresentando, portanto, esses elementos um comportamento inverso ao do Rb.

A correlação negativa entre Sr e Rb e entre Ba e Rb determina o aumento das razões Rb/Sr e Rb/Ba (Tabela 5.1), no sentido da evolução das fácies, conforme expresso nos diagramas Sr-Rb (Figura 5.6c) e Ba -Rb (Figura 5.6d). Ba e Sr, por outro lado, exibem correlação positiva e as razões Ba/Sr permanecem quase constantes (Figura 5.6e), com ligeiro aumento nos leucogranitos. Os leucogranitos (com exceção dos LMzMp) são rochas muito diferenciadas, conforme atestam seus baixos teores de Sr, Ba e Zr, e os valores da razão Rb/Sr >2 (Figura 5.6c; Tabela 5.1).

Os diagramas Sr-Rb e Ba-Rb mostram padrões de evolução similares para as diversas fácies petrográficas do Granito Bannach. Todas as fácies mostram uma correlação negativa, no sentido de evolução, com decréscimo graduais de Sr e Ba, paralelos ao enriquecimento de Rb. Observa-se um forte decréscimo dos conteúdos de Sr e Ba e pequenos aumentos nos teores de Rb no sentido BAMzG-leucogranitos, originando *trends* francamente inclinados. Os tipos leucocráticos destacam-se dos demais, pela variação menos acentuada de Ba e Sr, associada a aumentos significativos de Rb, fazendo com que o sentido do *trend* de evolução passe para subhorizontal.

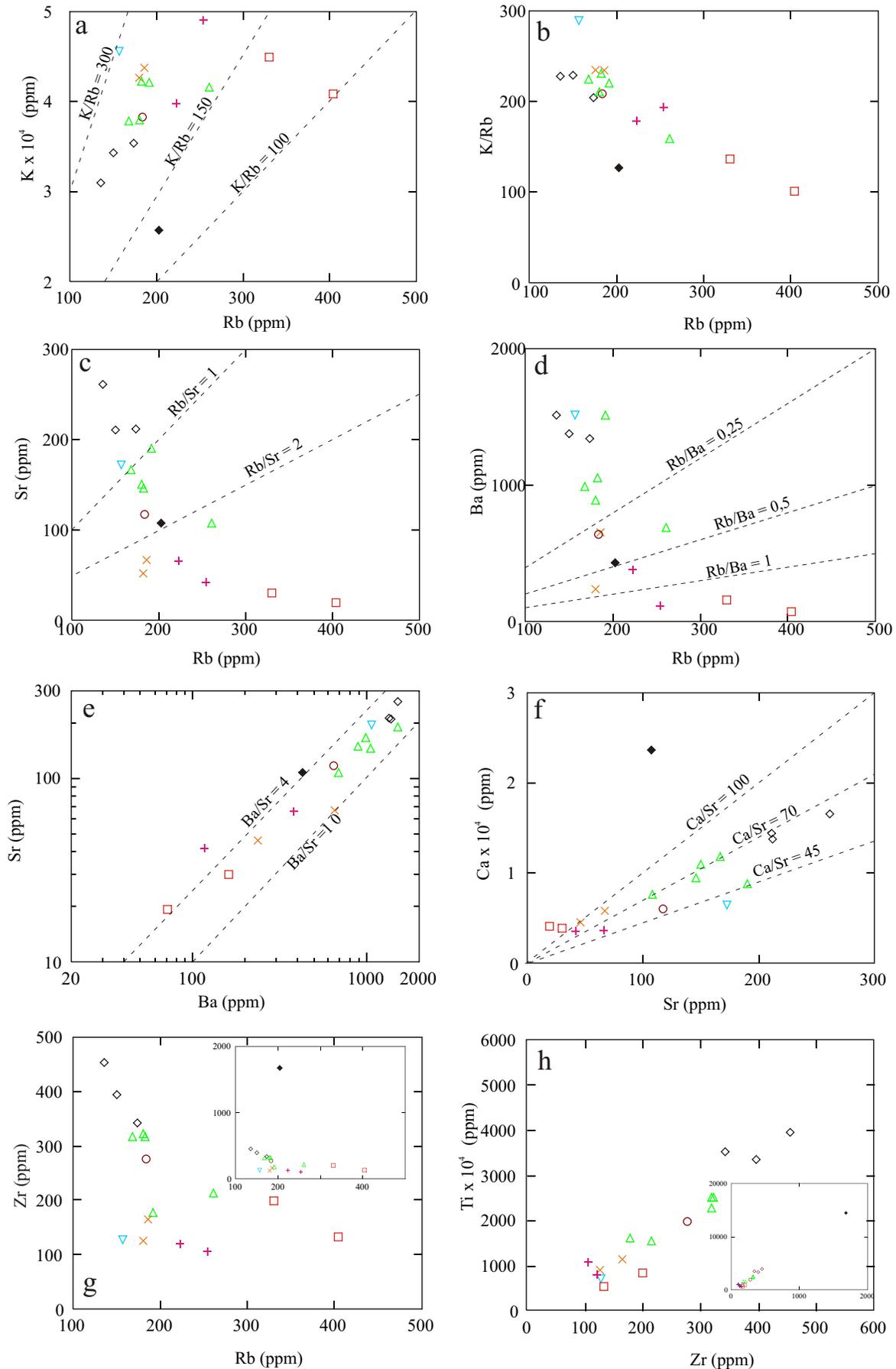


Figura 5.6 - Diagramas Binários de variação entre elementos traços (ppm), maiores e menores (cátions) para as diversas fácies do Granito Bannach. Símbolos conforme a figura 5.5.

Nos principais corpos graníticos de Bushveld, Groves e McCarthy (1978) encontraram *trends* de evolução para Rb, Sr e Ba semelhantes aos observados no Granito Bannach. Eles interpretaram padrões lineares, com decréscimo de Ba e Sr, associados a aumento sucessivo de Rb, como indicativos de evolução a partir de um mesmo magma, através de cristalização fracionada com formação de cumulados. O trend linear subvertical, com rápido decréscimo de Sr e Ba, para pequenos aumentos de Rb foi interpretado, pelo referidos autores, como devido à rápida cristalização de fácies leucocráticas a partir de líquidos tardios. Chappell & White (1992), nos granitos paleozóicos do Lachlan Fold Belt, atribui o aumento inicial de Ba, seguido de uma forte queda nas rochas mais evoluídas, à cristalização fracionada.

A forte correlação positiva entre Ca e Sr é evidenciada no diagrama Ca versus Sr (Figura 5.6f). Essa razão apresenta valor extremamente alto nos GC (220), refletindo provavelmente a presença de fases cumuláticas, tais como clinopiroxênio e hornblenda muito ricas em Ca, mas nem tanto em Sr. Os valores dessa razão nas fácies BAMzG, ABMzG e BMzP oscilam em torno de 70, tendendo a aumentar significativamente para os leucogranitos. A proporcionalidade entre esses dois elementos está relacionada a sua afinidade que implica sua remoção simultânea do líquido magmático. O aumento da razão Ca/Sr, sugere que nos líquidos mais tardios, o empobrecimento em Sr foi mais acentuado do que o de Ca. Segundo Wedepohl (1974) em líquidos silicáticos o Sr tende a se concentrar em plagioclásios e feldspatos potássicos (principalmente nos plagioclásios). Vários autores (citados em Wedepohl 1974) mostraram que o decréscimo do componente anortita do plagioclásio é acompanhado do aumento do conteúdo de Sr, o qual se concentra preferencialmente em plagioclásio de composições intermediárias (andesina a oligoclásio cálcico). A separação de plagioclásio andesina -oligoclásio cálcio deve ter conduzido ao empobrecimento de Sr no líquido, com o qual estava em equilíbrio. A cristalização não muito tardia do feldspato potássico, mineral que também retém Sr, deve ter contribuído para acentuar essa tendência.

Wedepohl (1974) relata que a cristalização de fases ferromagnesianas aumenta o conteúdo de Sr, ao passo que a formação dos feldspatos, principalmente dos plagioclásios, reduz seu teor nos líquidos mais evoluídos. No caso do GC, cuja gênese está ligada provavelmente a processos de acumulação de fases precoces, tais como clinopiroxênio, anfibólio, biotita ± titanita, em um líquido pouco evoluído tal como aquele que deu origem à fácies BAMzG (capítulo 3), a acumulação de hornblenda e clinopiroxênio causou um forte aumento da razão Ca/Sr nessas

rochas, uma vez que estes minerais são ricos em Ca e não admitem teores expressivos de Sr em sua estrutura (Wedepohl, 1974). Além disso, suas altas concentrações modais tenderam reduzir a participação dos feldspatos nesta fácies.

Os teores de Ba diminuem de modo marcante no sentido BAMzG-ABMzG-LMzMp-BMzP-LMzG-LMzMt-LMzF, acompanhando portanto o Sr e apresentando uma tendência inversa à do Rb (Tabela 5.1). Em função disso as razões Rb/Ba crescem no sentido indicado (Figura 5.6d), ao passo que as razões Ba/Sr permanecem praticamente constantes (Figuras 5.6e, 5.7c). Wedepohl (1972) e Dall'Agnol (1984) mostraram que as razões Rb/Ba tendem a crescer paralelamente à diferenciação magmática em rochas graníticas e isso se aplica perfeitamente ao Granito Bannach. O Ba é admitido mais facilmente no feldspato potássico e nas micas, mas teores significativos podem ocorrer em plagioclásios intermediários (Wedepohl 1972). Heier & Taylor (1965) (1959) constataram que feldspatos potássicos em rochas pouco evoluídas possuem concentrações de Ba maior do que naqueles presentes em rochas evoluídas. Portanto, de um modo geral, os líquidos tardios associados a rochas graníticas tendem a empobrecer mais acentuadamente em Ba nos estágios tardios. Pode-se sugerir que no Granito Bannach a diminuição dos teores de Ba esteja ligada ao fracionamento de microclina, biotita e, provavelmente, nos BAMzG e ABMzG de andesina-oligoclásio cálcico, minerais que consumiram em diferentes proporções a maior parte do Ba existente. O fracionamento de feldspato potássico acentuou-se nos ABMzG e BMzP, de tal modo que, quando da cristalização dos leucogranitos o líquido magmático estava muito empobrecido neste elemento. Já os baixos conteúdos de Ba dos GC podem ser justificados pela menor participação dos feldspatos em sua composição modal e pelo fato de as fases cumuláticas serem pobres em Ba.

Provavelmente os feldspatos e anfibólios (principalmente nos estágios precoces) tiveram um papel importante na evolução do magma Bannach. As variações de Rb, Sr e Ba são geralmente usadas para estimar o grau de fracionamento dessas fases e especular sobre os processos petrogenéticos que controlaram a evolução magmática (Hanson 1978, 1989, Dall'Agnol et al. 1999a).

Confrontando os diagramas Rb-Sr, Sr-Ba e Rb/Sr-Sr/Ba (Figura 5.7a,b,c) podemos distinguir dois estágios de evolução magmática: O primeiro estágio, dos BAMzG para os ABMzG e BMzP, reflete a predominância do fracionamento do plagioclásio e anfibólio, com feldspato potássico subordinado. O segundo estágio corresponde ao *trend* BMzP-leucogranitos,

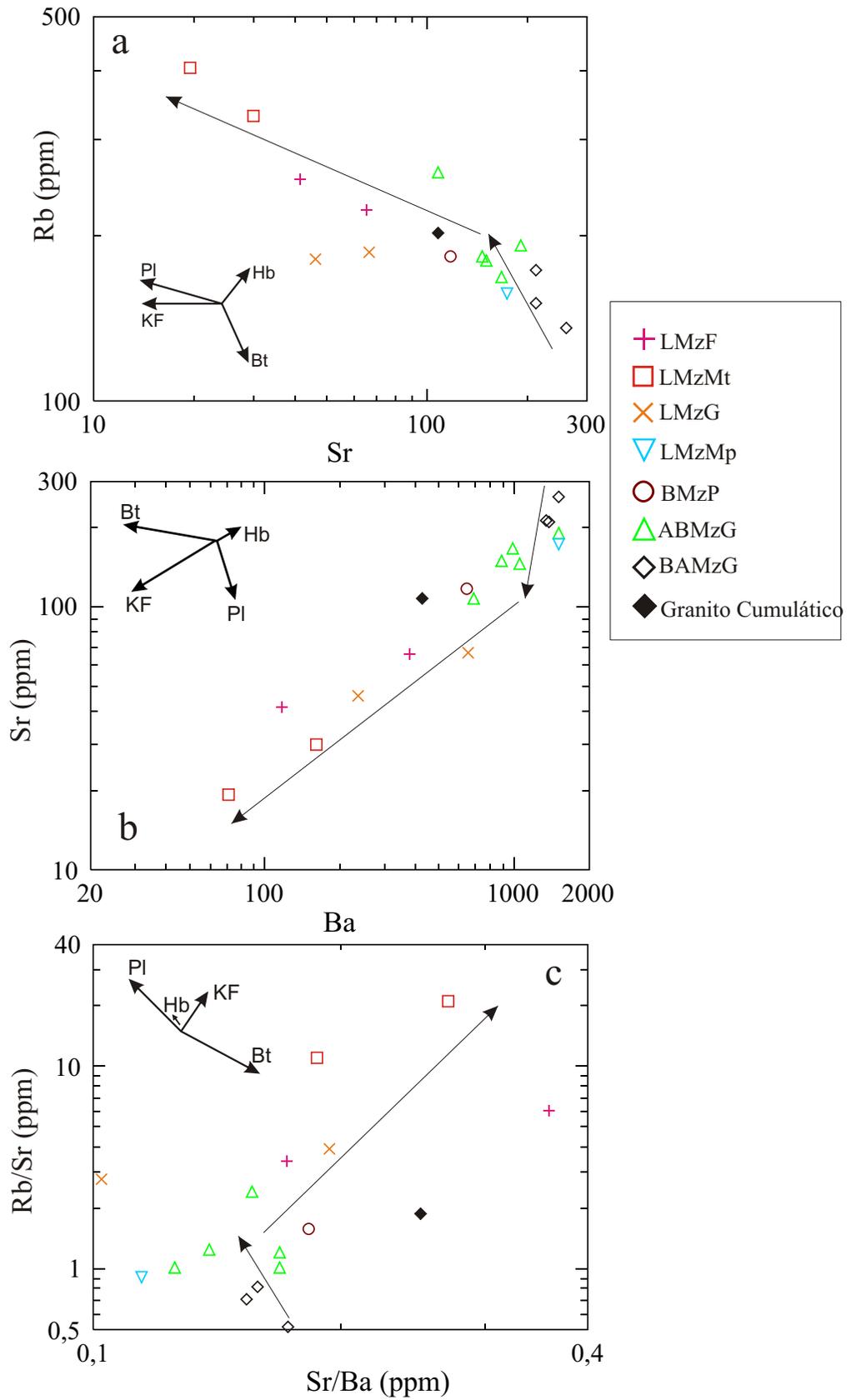


Figura 5.7 - Diagramas (a) Rb x Sr, (b) Sr x Ba e (c) Rb/Sr x Sr/Ba para as diversas fácies do Granito Bannach. Os vetores indicam o efeito do fracionamento de plagioclásio (PI), feldspato potássico (KF), Hornblenda (Hb) e biotita (Bt) na composição do líquido residual. As setas mostram os possíveis trends de cristalização fracionada.

sendo caracterizado também pelo fracionamento de plagioclásio, porém com participação dominante de feldspato potássico. O comportamento do Rb e Ba nos estágios 1 e 2 indica que os efeitos do fracionamento da biotita foram totalmente subordinados em relação ao dos feldspatos na maioria das fácies do Granito Bannach. Todavia, a fácies LMzG (75,04-76,86% de SiO₂) mostra conteúdos relativamente baixos de Rb, possivelmente devido ao efeito do fracionamento de biotita nos líquidos magmáticos mais precoces.

O Ba e o Sr, elementos que são fortemente compatíveis em sistemas graníticos, mostram uma grande variação no granito estudado (1514 a 72 ppm e 261 a 19 ppm, respectivamente). Isto indica que a cristalização fracionada foi claramente mais importante na evolução do Granito Bannach do que a fusão parcial de uma fonte homogênea (Hanson 1978). A acumulação de fases precoces (clinopiroxênio, anfibólio, biotita) nos GC inibindo a maior presença dos feldspatos nesta fácies, poderia explicar os baixos valores de Ba e Sr (Figura 5.7a,b) associados aos altos conteúdos de CaO (alta razão Ca/Sr) e Rb (justamente pela acumulação da biotita) em relação à fácies BAMzG.

5.2.2 – Comportamento dos HFSE – Zr, Nb e Y

Segundo Wedepohl (1978), o Zr se concentra em líquidos magmáticos de altas temperaturas e é geralmente incorporado pelo zircão cristalizado precocemente. Os valores de Zr no Granito Bannach decrescem no sentido de evolução de suas fácies, revelando uma correlação fortemente negativa com a sílica (Figura 5.5d). As variações nos teores médios de Zr nas diversas fácies (Tabela 5.1) e o diagrama Zr-Rb (Figura 5.6g) mostram que os primeiros decrescem com o aumento de SiO₂, ao passo que as razões Rb/Zr crescem neste sentido. Há uma nítida correlação negativa entre Rb e Zr. Os conteúdos de Zr decrescem e a razão Rb/Zr cresce regularmente dos BAMzG para os ABMzG. A fácies BMzP e os leucogranitos mostram pouca variação em termos dos conteúdos de Zr (Figura 5.6g). Portanto, deduz-se que o fracionamento de zircão foi muito importante nos líquidos menos evoluídos (BAMzG e ABMzG), o que provocou a diminuição das concentrações de Zr nos líquidos mais evoluídos (BMzP e leucomonzogranitos). Como a quase totalidade de Zr deve estar contida no zircão e como a quantidade modal desse mineral decresce juntamente com a dos demais constituintes máficos, esses *trends* refletem o fracionamento do zircão e dos minerais máficos de um modo geral. Os GC apresentam teores extremamente

elevados de Zr e baixíssimas razões Rb/Zr. Isso indica que o zircão também se inclui entre as fases cumuláticas.

Ao comparar as variações nos valores de Zr e Ti (Figura 5.6h), verifica-se que ambos mostram uma nítida correlação positiva, decrescendo das fácies menos evoluídas para os leucogranitos. Isso reflete a importância do fracionamento simultâneo de titanomagnetita, ilmenita e zircão na evolução das diferentes fácies.

O Y apresenta um comportamento mais irregular (Figuras 5.5e, f), predominando correlação negativa com SiO₂, decrescendo no sentido BAMzG-ABMzG-LMzMp. Porém, os LMzMt e uma amostra de LMzF mostram acentuado enriquecimento nesse elemento. Um comportamento distinto é mostrado pelo Nb, que varia muito pouco no conjunto das rochas estudadas. Os GC possuem teores extremamente elevados de Y e Nb, refletindo provavelmente a presença de fases acessórias cumuláticas ricas nesses elementos. Em geral esses elementos tendem a se concentrar nas variedades mais tardias. O Y, em rochas graníticas pobres em P₂O₅, como o Granito Bannach, geralmente associa-se ao Zr, sendo incorporado na estrutura dos zircões, ele também pode estar contido no anfibólio e nos minerais acessórios cálcicos (Taylor 1965). Como Y e Nb são compatíveis com hornblenda, titanita e zircão, eles poderiam estar presentes em grande parte nestes minerais, nas fácies mais ricas em ferromagnesianos. Esta explicação não é, porém, válida para alguns leucogranitos que apresentam valores de Y iguais ou superiores aos dos BAMzG e ABMzG. Nos primeiros, as fases minerais enriquecidas em Y não puderam ser identificadas. Os decréscimos regulares de Y e em parte do Nb, no sentido BAMzG - ABMzG-LMzMp devem ter sido controlados pelo fracionamento dos ferromagnesianos mencionados. O acentuado enriquecimento de Y em alguns leucogranitos (LMzMt e uma amostra de LMzF) sugere menor influência de anfibólio na evolução dos líquidos dos quais derivaram tais líquidos leucograníticos residuais.

5.2.3 – Comportamento dos Elementos Terras Raras (ETR)

Dentre as 24 amostras selecionadas para estudo geoquímico, 17 tiveram seus elementos terras raras (ETR) analisados, sendo suas concentrações e razões apresentadas na tabela 5.1. Os dados analíticos foram normalizados pelos valores condriticos de Evensen et al. (1978) e empregados na definição dos padrões de ETR (Figura 5.8).

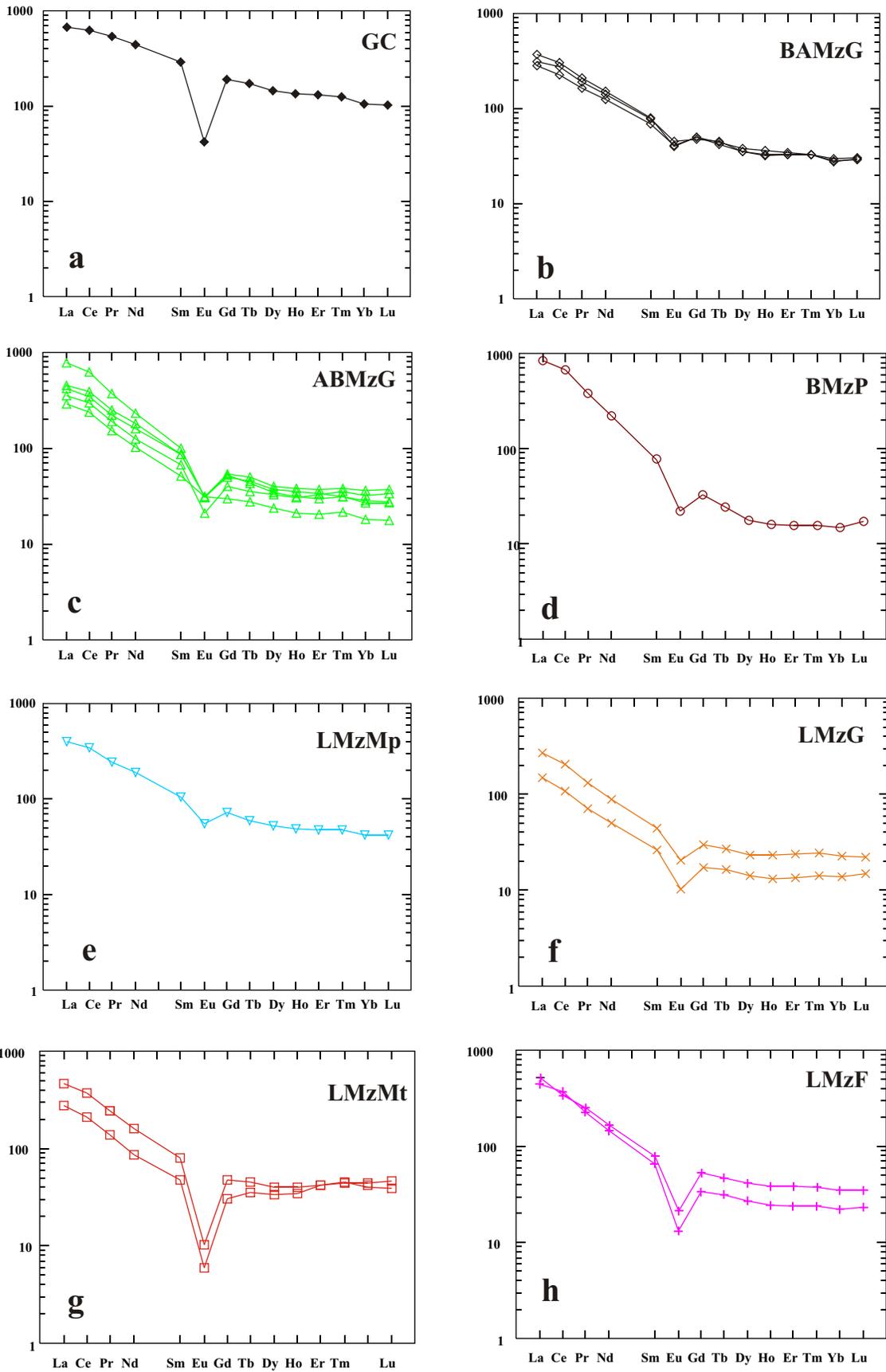


Figura 5.8 - Padrões de distribuição dos ETR normalizados pelo condrito (Evensen et al. 1978) para amostras representativas das diferentes fácies petrográficas do Granito Bannach (a até g).

A fácies GC é a que apresenta maior conteúdo de SETR (975 ppm), e menor grau de fracionamento dos ETRP $[(La/Yb)_N = 6,33]$. O seu alto conteúdo modal de anfibólio, titanita, apatita e, sobretudo, zircão pode explicar em parte a grande concentração em ETR. A pronunciada anomalia negativa de Eu ($Eu/Eu^* = 0,18$) observada nesta rocha, sugere expressivo fracionamento de plagioclásio, porém é mais provável que ele seja reflexo indireto da acumulação de fases máficas precoces tal como o anfibólio, possivelmente decorrente da atuação de processos de separação gravimétrica (capítulo 3). Isso promoveu menor participação do plagioclásio na rocha, com diluição do conteúdo original de Eu e justifica os altos valores de Sm (43,8 ppm) e Gd (39,2 ppm) encontrados nos GC, uma vez que estes elementos são fortemente compatíveis com o anfibólio ($K_d = 7 \times 10^3$ e 1×10^4 , respectivamente) (Rolinson 1993).

A hipótese dos BAMzG serem produtos de cristalização fracionada a partir dos GC não é favorecida pela acentuada anomalia negativa de Eu que os últimos apresentam, uma vez que se existisse um líquido residual proveniente da cristalização dos GC não teria as características apresentadas pelos BAMzG. A comparação visual entre os padrões de GC e BAMzG (Figura 5.8a,b) revela que os últimos derivaram de um líquido com fracionamento bem menos acentuado de plagioclásio. Essa evidência, juntamente com outras características dos GC, sugere que esta fácies teve uma evolução particular, provavelmente relacionada a processos de acumulação de cristais (anfibólio clinopiroxênio, biotita, opacos, zircão e apatita) na câmara magmática.

As concentrações de ETR nas fases minerais variam significativamente quando se comparam os dados de distintas associações granitóides ou de amostras mais ou menos diferenciadas de uma mesma unidade (Gromet & Silver 1983, Sawka et al. 1984, Sawka 1988). Isto reflete o fato que: 1) estes elementos estão concentrados em sua quase totalidade nas fases minerais varietais (biotita e anfibólio) e acessórios (principalmente titanita, allanita e zircão); 2) as partições dos ETRL, ETRM, ETRP observadas nestes minerais variam bastante em função da sua *ordem de cristalização relativa*, bem como dos minerais que *cristalizam simultaneamente*; 3) adicionalmente, os minerais acessórios são freqüentemente zonados de forma muito intensa para os ETR. Sawka (1988) constatou que em granitóides em que a hornblenda precede a titanita na ordem de cristalização, esta é mais rica em ETR e que o inverso ocorre quando a titanita é a fase precoce.

Os teores totais de ETR nos BAMzG são menores (média de 373 ppm) do que nos ABMzG (414 ppm). Os BAMzG apresentam conteúdos médios de ETRP (34,8 ppm) similares

aos dos ABMzG, porém estes são mais ricos em ETRL (433 ppm) e revelam um grau de fracionamento um pouco maior de ETRP, com razão $(La/Yb)_N$ média igual 13,8, enquanto que no BAMzG esta razão é de 11,4. O fracionamento dos ETRL no ABMzG é mais acentuado do que nos BAMzG, com razão média $(La/Sm)_N = 5,76$ para o primeiro e de 4,3 para o segundo. Em ambos, a anomalia negativa de Eu é moderada, porém nota-se que esta anomalia é menos acentuada no BAMzG ($Eu/Eu^* = 0,7$), do que nos ABMzG ($Eu/Eu^* = 0,4$).

As diferenças entre estas duas fácies quanto ao comportamento dos ETR, embora discretas, confirmam o que foi mostrado na petrografia e na discussão dos dados geoquímicos de elementos maiores e traço, ou seja, o caráter menos evoluído dos BAMzG em relação aos ABMzG.

A fácies BMzP é enriquecida em ETRL (758 ppm), mostra um forte grau de fracionamento dos ETRL com razões $(La/Sm)_N = 10,8$ e anomalias de európio semelhantes à maioria das amostras de ABMzG ($Eu/Eu^* = 0,4$). Na figura 5.8d, nota-se um padrão côncavo para os ETRP desta rocha. Esse padrão côncavo dos ETRP foi também observado nas rochas do maciço Musa (Gastal 1987) e nos leucogranitos do Maciço Redenção (Oliveira 2001) e é interpretado como sendo indicador de fracionamento do anfibólio (Dall'Agnolet al. 1999a), uma vez que os ETR são compatíveis com o mesmo em magmas félsicos e os coeficientes de partição dos ETR em anfibólio são mais altos entre Dy e Er (Rolinson 1993), justamente onde há a inflexão.

Os conteúdos e o padrão de distribuição dos ETR dos LMzMp (Tabela 5.1; Figura 5.8e) se aproximam muito daqueles dos BAMzG e ABMzG, o que reforça a ligação genética entre ambos. O fato de a anomalia de Eu do LMzMp (0,65 – Tabela 5.1) ser muito próxima daquela dos BAMzG (média de 0,70) e ser menos acentuada do que nos ABMzG (Média de 0,44) indica que os primeiros podem ter derivados diretamente dos BAMzG e não dos ABMzG.

Os LMzG apresentam os menores conteúdos totais de ETR dentre as fácies (212 ppm) do Granito Bannach, com grau de fracionamento dos ETRL [$(La/Sm)_N = 5,93$] e anomalia de európio ($Eu/Eu^* = 0,53$) muito similar aquelas da fácies ABMzG. Os baixos valores médios da razão [$(La/Yb)_N = 11,1$] indicam que não houve fracionamento muito expressivo de fases enriquecidas em ETRP, tais como anfibólio e zircão.

Os LMzMt também mostram um fracionamento pouco acentuado dos ETRP [média de $(La/Yb)_N = 8,96$], além de uma marcante anomalia negativa de európio ($Eu/Eu^* = 0,16$). A forte

anomalia negativa de Eu indica um importante fracionamento de plagioclásio e feldspato patássico. O conteúdo de ETR e o padrão de distribuição dos LMzF diferem daqueles dos LMzMt, sendo os primeiros mais enriquecidos em ETR (média de 469,67), e exibindo maior fracionamento de ETRP $[(La/Yb)_N = 17,5]$ e menor anomalia negativa de Eu ($Eu/Eu^* = 0,31$).

As diferenças nos conteúdos e na distribuição dos ETR nos leucogranitos mostram evoluções ligeiramente distintas entre estas rochas. O padrão de distribuição dos ETR da fácies LMzMp difere um pouco dos demais leucogranitos, se assemelhando com o dos BAMzG e ABMzG. As anomalias de Eu menos acentuadas que os LMzMp e LMzG exibem em relação aos LMzMt e LMzF, indicam que os mesmos foram originados a partir de líquidos um pouco menos evoluídos do que aqueles que formaram os LMzMt e LMzF. Um fracionamento mais limitado de plagioclásio nos líquidos que precederam o gerador dos LMzMp e LMzG, poderia explicar as moderadas anomalias de európio observadas nessas rochas, ao passo que os LMzMt e LMzF foram possivelmente derivados de líquidos extremamente evoluídos, precedidos em sua evolução por um fracionamento muito intenso de plagioclásio. Uma maior afinidade geoquímica entre os LMzMp, LMzG e os BAMzG e ABMzG é sugerida pela petrografia observada, uma vez que nos LMzMp e LMzG, anfibólio, titanita e allanita são acessórios comuns, ao passo que nos LMzMt e LMzF estas fases são ausentes.

5.3- ELEMENTOS-TRAÇO *VERSUS* AMBIENTE TECTÔNICO.

É muito comum o uso de elementos traços na caracterização de ambientes tectônicos de rochas granitóides. Em geral, utilizam-se apenas elementos traço (principalmente os incompatíveis), dispostos normalmente em diagramas binários. Os diagramas de Pearce et al. (1984) são muito utilizados para a discriminação de ambientes tectônicos de rochas granitóides. Estes autores subdividiram os granitóides de acordo com seus ambientes tectônicos em granitos de arco vulcânico (VAG), granitos intraplacas (WPG), granitos de cadeias oceânicas (ORG) e granitos de zona de colisão (COLG), que por sua vez, são subdivididos em sin-colisionais (Syn-COLG) e pós-colisionais (Pós-COLG). Entretanto, a utilização desses diagramas deve ser feita com as devidas precauções, uma vez que os diagramas foram idealizados para granitóides do Fanerozóico, em geral não deformados e não porfíricos. Assim sendo, não podem ser aplicados automaticamente para rochas do Pré-Cambriano, uma vez que a gênese dos seus magmas apresenta certos aspectos particulares. Além do mais, existem granitóides geoquimicamente

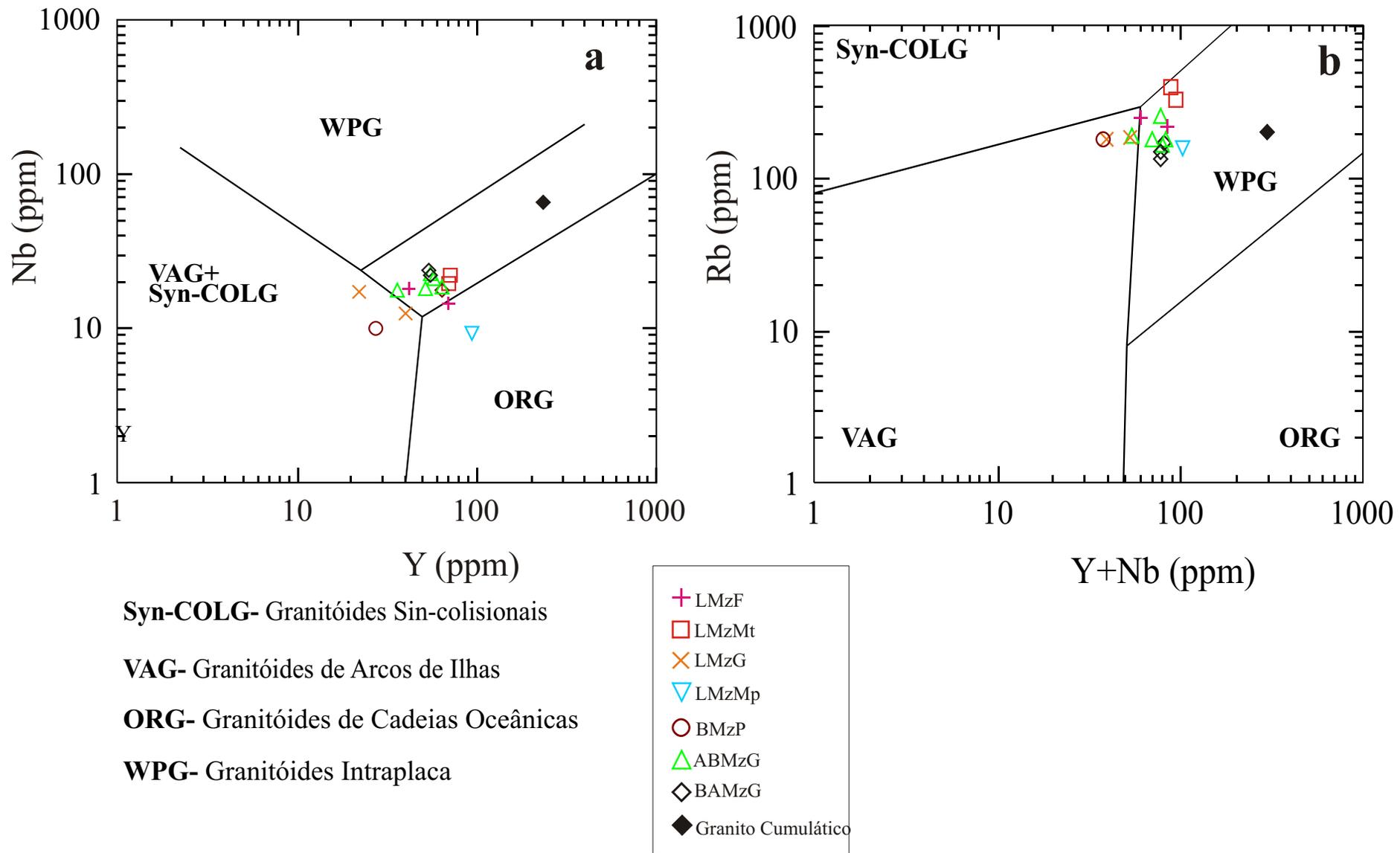


Figura 5.9- Diagramas discriminantes de ambiente tectônico (Pearce et al.,1984) para o Granito Bannach; (a) Nb versus Y e (b) Rb versus Y+Nb.

similares, formados em ambientes tectônicos distintos como os granitos tipo -A (Whalen et al. 1987, Sylvester 1989), que ora são anorogênicos ou intraplacas, ora são pós-colisionais. A simples utilização desses diagramas não permite definir com precisão o ambiente de colocação de rochas granitóides (Förster et al. 1997), porém eles auxiliam na caracterização geoquímica e permitem a eliminação de algumas hipóteses.

Nos diagramas Nb-Y (Figura 5.9a) e Rb - (Y+Nb) (Figura 5.9b), as amostras do Granito Bannach concentram-se nitidamente no campo dos granitos intraplaca (WPG), embora algumas amostras de leucogranitos plotem no campo dos granitos de arcos vulcânicos (VAG) e uma amostra de LMzMp no domínio dos granitóides de cadeia oceânica (ORG). A dispersão de valores de Nb e Y observada nos leucogranitos pode ser explicada pelo maior fracionamento e comportamento diversificado de Y e Nb nos líquidos residuais, como discutem Pearce et al. (1984). De qualquer modo, conforme os parâmetros utilizados por Pearce et al. (1984), o Granito Bannach possui afinidades geoquímicas com os granitos do Fanerozóico gerados em ambiente intraplaca.

5.4 - TIPOLOGIA DO GRANITO BANNACH.

A separação de séries granitóides em *granitos tipo I, S, A e M*, foi feita baseada na natureza das fontes de seus magmas, sendo portanto uma classificação genética. Esta classificação foi introduzida na década de 70, em estudos de granitóides de Lachlan Fold Belt (LFB) na Austrália. Chappell & White (1974) introduziram o conceito de granitos do tipo I e S para rochas derivadas de fontes ígneas e sedimentares, respectivamente. Parâmetros mineralógicos e químicos são utilizados para a separação destes dois tipos (Chappell & White 1974, 1992; Hine et al. 1978; White & Chappell 1983; Chappell et al. 1988). Posteriormente, Loiselle & Wones (1979) introduziram a terminologia de granito tipo -A, para designar granitos anorogênicos e de natureza alcalina. A seguir, White (1979) propôs a terminologia de granito tipo M para granitos de origem mantélica.

Os granitos tipo I são derivados de fusão parcial de uma fonte ígnea crustal, a qual seria parte de uma crosta primitiva profunda, que, por sua vez, seria produto da cristalização de magmas gerados por fusão parcial de material máfico a ultramáfico de origem mantélica (White 1979, White & Chappell 1983, Chappell & Stephens 1988). São granitos metaluminosos a levemente peraluminosos, tendo biotita e anfibólio como fases máficas dominantes e a magnetita

como principal mineral opaco (indicando cristalização sob alta fO_2). São também ricos em enclaves microgranitóides (tipos dioríticos). Quimicamente mostram ampla variação de SiO_2 (55 a 75%), baixas razões K_2O/Na_2O , proporções moleculares de $Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O) < 1,1$, com diopsídio ou coríndon normativo < 1 e conteúdos de Cr e Ni e valores da razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ baixos.

Os granitos do tipo S são predominantemente peraluminosos e apresentam uma mineralogia típica a base de minerais ricos em Al (biotita, granada cordierita e muscovita), tendo a ilmenita como principal mineral opaco (indicando condições redutoras durante sua cristalização). Quimicamente, SiO_2 varia em uma faixa menor do que para os granitos tipo I (65-75%), as razões K_2O/Na_2O são altas, os conteúdos de Ca e Sr baixos e as proporções moleculares de $Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O) > 1,1$ nas rochas menos evoluídas, com coríndon normativo $> 1\%$. As razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ são normalmente altas ($> 0,708$). A generalização de que todos os granitos peraluminosos seriam de fonte metassedimentar e do tipo S tornou ambígua e muitas vezes equivocada a correlação dos granitos do tipo S australianos típicos com granitos de outras regiões do mundo. White et al. (1986) mostraram que não há correspondência entre os granitos peraluminosos de Serra Nevada (Estados Unidos) e os granitos do tipo S australianos. Tais autores, concluíram que os supostos granitos do tipo S de Serra Nevada são híbridos (produtos da interação de magmas do tipo I com rochas metassedimentares).

Os granitos do tipo A são anorogênicos ou pós-tectônicos e supostamente de caráter anidro (Loiselle & Wones 1979). Collins et al. (1982), White & Chappell (1983), Clemens et al. (1986), Whalen et al. (1987) e Anderson & Bender (1989) estabeleceram as principais características geoquímicas destes granitos e discutiram a sua gênese. Esses granitos são essencialmente leuco-sienogranitos com biotita e/ou anfibólio \pm piroxênio; fluorita e topázio são os principais acessórios. A presença de cavidades miarolíticas e intercrescimento granofíricos atestam o posicionamento desses granitos em altos níveis crustais (White & Chappell 1983). Geoquimicamente, apresentam valores elevados de SiO_2 ($> 70\%$), Fe/Mg, Zr, Nb, Y, Ga, e ETR, com exceção do Eu, e baixos CaO, MgO, Ba e Sr (Whalen et al. 1987). Diagramas Ga -Al ou Ga/Al-demais elementos, funcionam, em geral, como bons discriminantes para esse tipo de granitóide, em relação aos demais (Collins et al. 1982, White & Chappell 1983, Whalen et al. 1987). Mineralizações de Mo, Sn, W, Nb e Ta têm sido encontradas associadas a esses granitos (Clemens et al. 1986).

A gênese de granitos do tipo A tem sido discutida através de três hipóteses principais: metassomatismo, cristalização fracionada de magmas basálticos alcalinos e fusão parcial de crosta profunda. Na primeira, Taylor (1965) admite uma origem metassomática para as rochas peralcalinas de Topsails, Canadá. Tal hipótese foi contestada por Whalen et al. (1987), com base na homogeneidade do Complexo de Topsails, que sugere, segundo os últimos, uma origem destas rochas a partir de um magma peralcalino primário.

A hipótese de cristalização fracionada de magmas basálticos alcalinos foi proposta por Loiselle & Wones (1979) e também assumida por Eby (1992). White & Chappell (1983) e Whalen et al. (1987) acreditam que a ocorrência restrita de gabros, assim como de rochas intermediárias associadas aos granitos do tipo-A no LFB, não favorece esta hipótese.

A terceira hipótese para explicar a origem desses granitos seria a partir da fusão parcial de crosta (Collins et al. 1982, White & Chappell 1983, Clemens et al. 1986, Whalen et al. 1987). Estes autores admitem para a geração de magma tipo A, uma fonte de natureza granulítica, correspondente ao resíduo de fusão da geração anterior de magmas do tipo I. A fusão da fonte primitiva geraria um líquido mais félsico, responsável pela formação dos granitóides tipo I, e o seu resíduo, de natureza granulítica, funcionaria como fonte para a geração posterior de magmas do tipo A (modelo de fonte granulítica residual). Anderson (1983), Creaser et al. (1991) e Dall'Agnol et al. (1994, 1999a) propuseram uma alternativa para este modelo, admitindo a derivação de granitos do tipo A, a partir de fusão de rochas metaígneas na base da crosta. Estes autores argumentam que o grande volume de magmas tipo A existente não poderia ser derivado de fontes granulíticas residuais, nem essas teriam as características geoquímicas adequadas.

Pitcher (1979, 1982, 1983 e 1987) propôs uma correlação entre tipologia e ambiente tectônico. Segundo ele, os granitos do tipo A seriam anorogênicos ou pós-tectônicos e de ambiente intraplaca; os do tipo M, de ambiente de arco de ilhas; os do tipo I são subdivididos em I-cordilheiranos, formados em ambientes de margem continental e tipicamente cálcico -alcalinos, e I-caledoniano, formados em ambientes de colisão continental, tardi a pós-tectônicos, e nem sempre cálcico-alcalinos; e, finalmente, os granitos do tipo S, seriam associados a ambientes de colisão continental, sintectônicos.

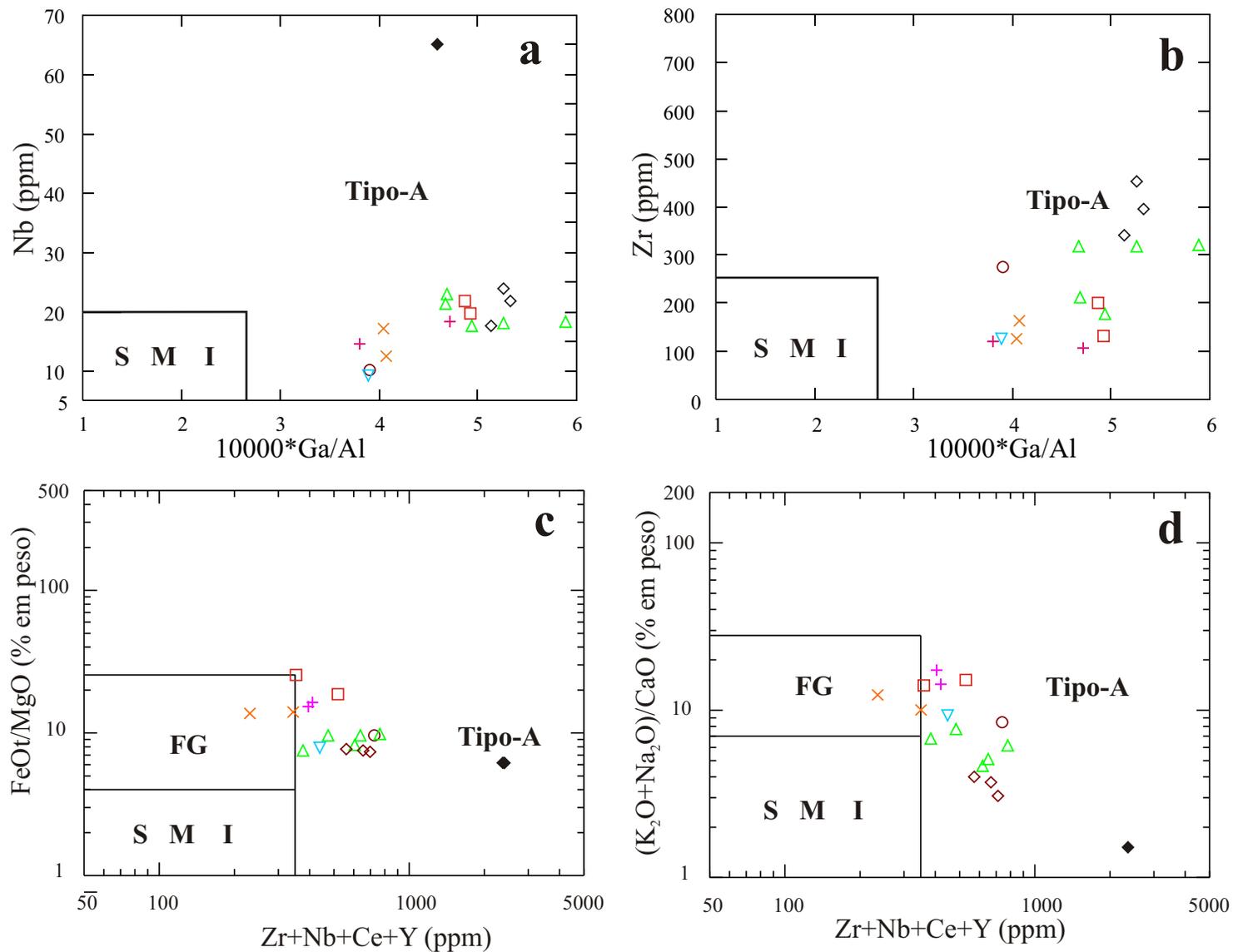
As características geológicas, mineralógicas e geoquímicas das diversas fácies presentes no Granito Bannach, não indicam que o mesmo tenha evoluído a partir de uma fonte metassedimentar. A ausência de aluminossilicatos, tais como granada, cordierita ou muscovita

primária, em sua associação mineral, não indica qualquer semelhança com os granitos do tipo S. No entanto, suas características gerais são, à primeira vista, tanto compatíveis com os granitos do tipo I quanto com os granitos do tipo A. Dentre elas destacam-se a presença de anfibólio, biotita e magnetita, sua tendência subalcalina, o caráter metaluminoso a peraluminoso, com coríndon normativo < 1 e o caráter oxidante. Por outro lado, seus altos teores de SiO_2 (69-77%), $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$, Zr, Nb, Y e Ga, suas altas razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (entre 1 e 2) e Ga/Al o aproximam mais do tipo A. Entretanto, seus teores de TiO_2 , CaO, MgO, Sr e Ba são relativamente altos, quando comparados com os granitos tipo A de LFB (Whalen et al. 1987, King et al. 1997, King et al. 2001). Outros fatores, como a escassez de enclaves máficos e o caráter anorogênico aproximam o Granito Bannach dos granitos tipo A. Tal tipologia também é assumida para os granitos Redenção, Musa e Jamon (Oliveira 2001, Dall’Agnol et al. 2005).

Collins et al (1982), White & Chappell (1983) e Whalen et al. (1987) recomendam o uso da razão Ga/Al como discriminante de granitos tipo A. Nos diagramas Nb x Ga/Al e Zr x Ga/Al (Figura 5.10a, b), propostos por Whalen et al. (1987), verifica-se que as razões Ga/Al e os conteúdos de Nb e Zr do Granito Bannach são compatíveis com aqueles dos granitos do tipo A, confirmando a sua afinidade com os mesmos. Outros diagramas (FeOt/MgO x $\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y}$) e ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ x $\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y}$) propostos pelos mesmos autores, apontam para esta mesma direção (Figura 5.10c,d). Além disso, os diagramas de Pearce et al. (1984), discutidos anteriormente (Figura 5.9a,b), demonstram que o Granito Bannach possui afinidades geoquímicas com granitos intraplaca, o que é característico de granitos do tipo A (Whalen et al. 1987).

O diagrama $\text{FeOt}/(\text{FeOt} + \text{MgO})$ versus SiO_2 foi proposto por Frost et al. (2001) (Figura 5.11a) para classificar granitóides com base nas razões $\text{FeOt}/(\text{FeOt} + \text{MgO})$, que são reflexo das condições de oxidação. As amostras do Granito Bannach incidem no campo dos granitos ferrosos, que coincidem com aquele dos granitos do tipo A.

De acordo com Eby (1992) os granitóides do tipo A podem ser divididos geoquimicamente em dois grupos. O primeiro grupo (A_1) representa os diferenciados de magmas derivados de uma fonte semelhante aos basaltos de ilhas oceânicas (OIB), mas colocado em ambiente de rift continental ou de magmatismo intraplaca (*hot spots*). O segundo grupo (A_2) representaria magmas derivados parcial ou totalmente de fontes da crosta continental que teriam atravessado um ciclo de colisão continente-continente ou de magmatismo de arco de ilha (IAB).



S M I - Média dos granitos do tipos S, M e I
 FG - Granitos félsicos fracionados

Figura 5.10 - Diagramas discriminantes para granitóides tipo A de Whalen et al (1987) para o Granito Bannach; a) Nb versus $10000 \cdot Ga/Al$, (b) Zr versus $10000 \cdot Ga/Al$, (c) FeO^*/MgO versus $Zr+Nb+Ce+Y$ e (d) $(K_2O+Na_2O)/CaO$ versus $Zr+Nb+Ce+Y$. Símbolos conforme a figura 5.9.

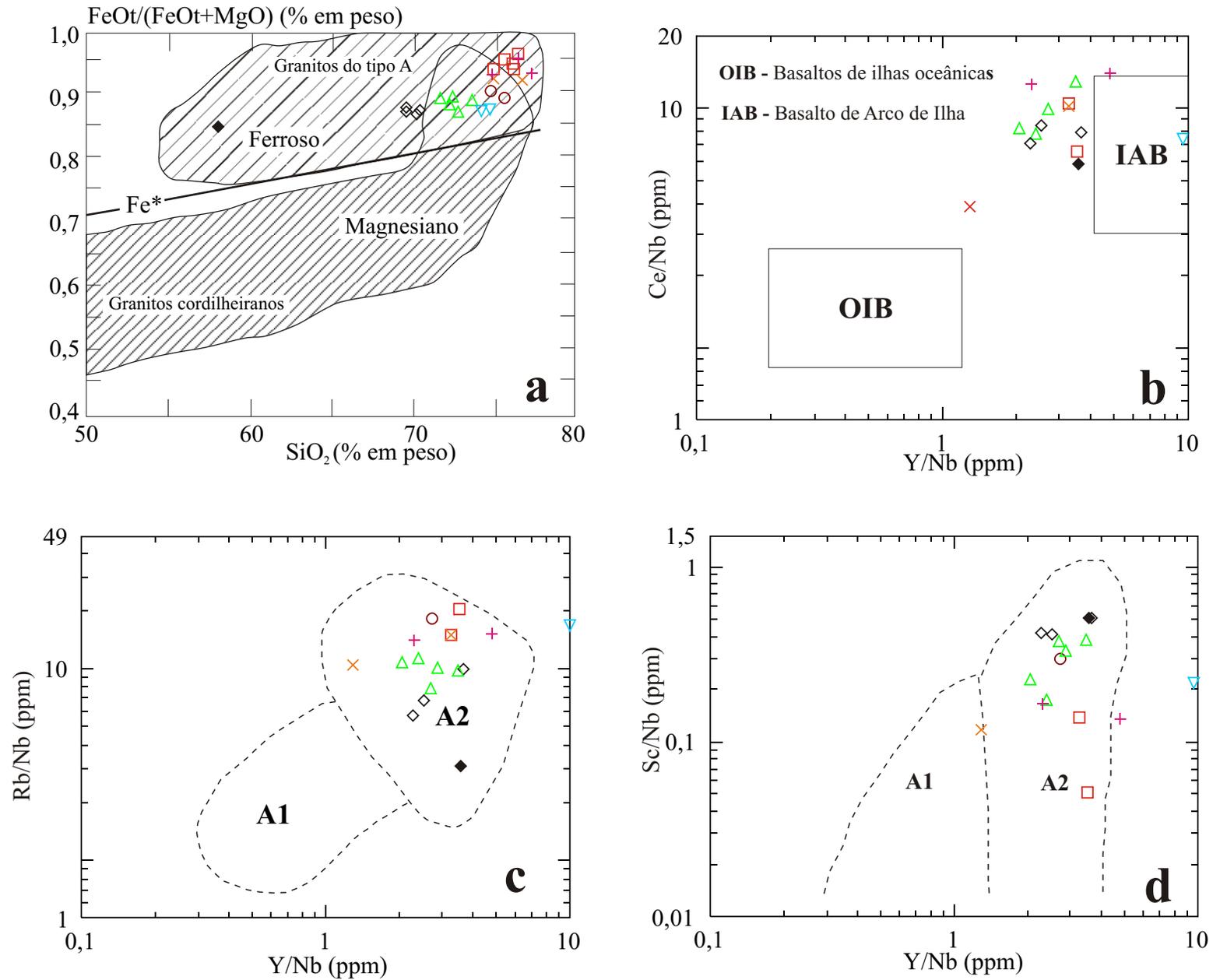


Figura 5.11 - Diagrama discriminante para granitóides do tipo-A. a) $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ versus SiO_2 (Frost et al. 2001); Diagramas (b) Ce/Nb x Y/Nb , (c) Rb/Nb x Y/Nb e d) Sc/Nb x Y/Nb de Eby (1992). Símbolos conforme a figura 5.8.

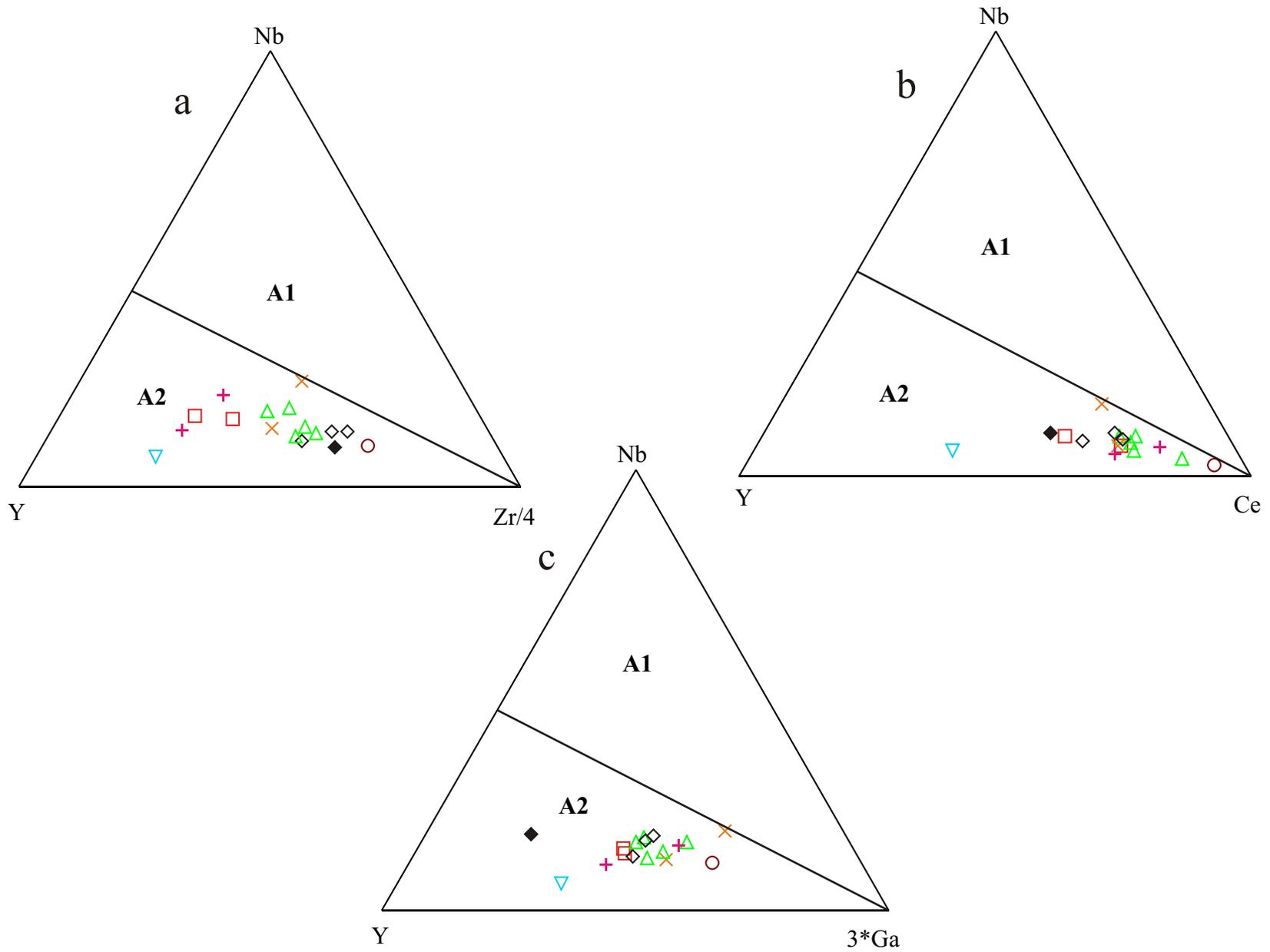


Figura 5.12 - Diagramas ternários discriminantes para granitóides A1 e A2 (Campos conforme Eby 1992), mostrando a distribuição Das amostras do Granito Bannach. a) Nb - Y - Zr/4; b) Nb - Y - Ce; c) Nb - Y - 3Ga. Símbolos conforme a figura 5.8.

Creaser et al. (1991) sugeriram que os granitos do tipo A, fossem considerados um subtipo dos granitos tipo I. Entretanto, Eby (1992) não concorda com tal proposição e propõe como principal critério geoquímico para distinguir os dois subgrupos de granitos do tipo A, as razões Y/Nb, comparativamente mais elevadas nos granitos do grupo A₂.

No diagrama Ce/Nb x Y/Nb (Figura 5.11b; Eby 1992), são situados os campos dos basaltos de ilhas oceânicas e basaltos de arco de ilha, juntamente com amostras do Granito Bannach. Estas apresentam maior afinidade geoquímica com basaltos de arco de ilha (grupo A₂).

Nos diagramas discriminantes que relacionam as razões Rb/Nb x Y/Nb e Sc/Nb x Y/Nb (Figura 5.11c,d) e triangulares Nb -Y-Ce, Nb -Y-3Ga e Nb -Y-Zr/4 (Figura 5.12a,b,c) propostos por Eby (1992), para discriminar granitóides de fonte mantélica (A₁) e de fonte crustal (A₂), o Granito Bannach situa-se no campo do subtipo A₂, sugerindo fonte crustal para o mesmo. Vale ressaltar que estes diagramas discriminantes são válidos apenas para granitóides que mostrem afinidades geoquímicas com os granitos intraplaca de Pearce et al. (1984) e com os granitos tipo A de Whalen et al. (1987), tal como é o caso do Granito Bannach.

CAPÍTULO 6 – COMPARAÇÕES ENTRE O GRANITO BANNACH E OS MACIÇOS DA SUÍTE JAMON.

Devido às similaridades marcantes entre o Granito Bannach e os granitos Jamon (Dall’Agnol 1982, Dall’Agnol et al. 1999a, b, 2005), Musa (Gastal 1987, Dall’Agnol et al. 1999a, b, 2005) e Redenção (Oliveira 2001), todos pertencentes a Suíte Jamon, torna-se importante fazer comparações entre os mesmos com base nos dados geológicos, petrográficos, geoquímicos e de suscetibilidade magnética obtidos.

6.1 - GEOLOGIA

O Granito Bannach possui dimensões superiores aos plutons da Suíte Jamon, porém está inserido no mesmo contexto geológico e apresenta modo de ocorrência muito similar a estes corpos. Sua forma grosseiramente ovalada com os contatos, ocasionalmente, em extensos segmentos retilíneos e com algumas reentrâncias angulares são similares aos demais corpos da suíte. Todos os maciços cortam discordantemente suas encaixantes arqueanas pertencentes ao TGGRM, ocasionando efeitos termais nestas rochas alcançando metamorfismo de contato na fácies hornblenda hornfels (Dall’Agnol et al. 1985, Soares 1996). É muito comum a ocorrência de enclaves angulosos de rochas encaixantes nas zonas de contato, revelando um comportamento rígido das rochas encaixantes e um elevado contraste de viscosidade entre os granitos e essas rochas. O zoneamento interno (Capítulo 2) também é observado nos maciços Redenção, Musa e Jamon (Oliveira et al. 2004), da mesma forma que ocorre no Granito Bannach. Em todos esses corpos, as fácies portadoras de anfibólio + biotita \pm clinopiroxênio, derivadas de líquidos comparativamente menos evoluídos, tendem a se concentrar nas bordas e aquelas mais evoluídas ocupam o centro dos corpos. Neste sentido os corpos Bannach e Jamon apresentam uma melhor simetria em relação aos demais, sendo suas bordas inteiramente ocupadas por rochas menos evoluídas. No Granito Redenção, as fácies mais precoces concentram -se, na porção sul do corpo, onde são as únicas fácies representadas. No Granito Musa, as fácies menos evoluídas distribuem -se de forma irregular, mas preferencialmente nas bordas.

O mapa faciológico do Granito Bannach (Figura 2.7) mostra que a fácies anfibólio-biotita-monzogranito (ABMzG) é a fácies que possui maior distribuição dentre as aquelas portadoras de anfibólio como mineral varietal, com os granitos cumuláticos (equivalentes à fácies

clinopiroxênio-biotita-anfibólio-monzogranito grosso (CBAMzG) do Granito Redenção e Musa) ocorrendo em áreas muito restritas. Este comportamento tende a se repetir nos Granitos Musa, Redenção e Jamon.

A fácies BMzP, de ocorrência mais expressiva nos maciços Bannach e Redenção, possui uma distribuição bastante típica, sempre ocorrendo ou na forma de corpos alinhados seccionando as demais fácies ou bordejando fácies mais evoluídas. Nos maciços Jamon e Musa também se observa esta tendência, mas nos mesmos as ocorrências desta fácies são muito restritas.

No domínio central dos corpos da suíte, é comum a ocorrência das rochas mais evoluídas (leucogranitos). No corpo Bannach, a fácies LMzMt ocupa porções centrais e exibe feições geomorfológicas características, apresentando morros com formas arqueadas, escarpas íngremes e padrões concêntricos entre si, formando anfiteatros. No Granito Redenção, a fácies BMzH (biotita-monzogranito heterogranular) forma um anel circundando a fácies LMzH (leucomonzogranito heterogranular) (Oliveira, 2001). No Granito Musa os leucogranitos são mais abundantes no sul do corpo. Já no maciço Jamon, este tipo de estruturação é evidenciada pela ocorrência de microgranito e granito alaskítico no centro do corpo. Finalmente, nestes granitos é muito comum a ocorrências de microgranitos, frequentemente sob a forma de diques seccionando as diversas fácies. Isto é bem marcado nos Granitos Bannach e Redenção, onde são frequentes diques de LMzF e LMzS (leucomicro -sienogranito), os quais ocorrem em todo corpo, mas com maior frequência nas imediações das principais elevações e nas zonas de contato entre fácies. No maciço Jamon, a fácies microgranito forma um corpo de orientação N-S encaixado no BMz (biotita-monzogranito).

As interpretações a partir de imagens de radar e dados radiométricos permitem supor que o corpo Bannach é formado por intrusões coalescentes alinhada na direção NW-SE. Essas observações também parecem ser válidas para o Granito Musa, onde a distribuição faciológica mais irregular implica na existência de dois centros magmáticos, localizados nas porções norte e sul do *pluton*.

6.2 - PETROGRAFIA

O Granito Bannach também é muito similar em termos de composição modal às demais granitos da Suíte Jamon (Figura 6.1). Ele apresenta composições essencialmente monzograníticas com raras amostras plotando no campo dos sienogranitos. As suas composições se sobrepõem em

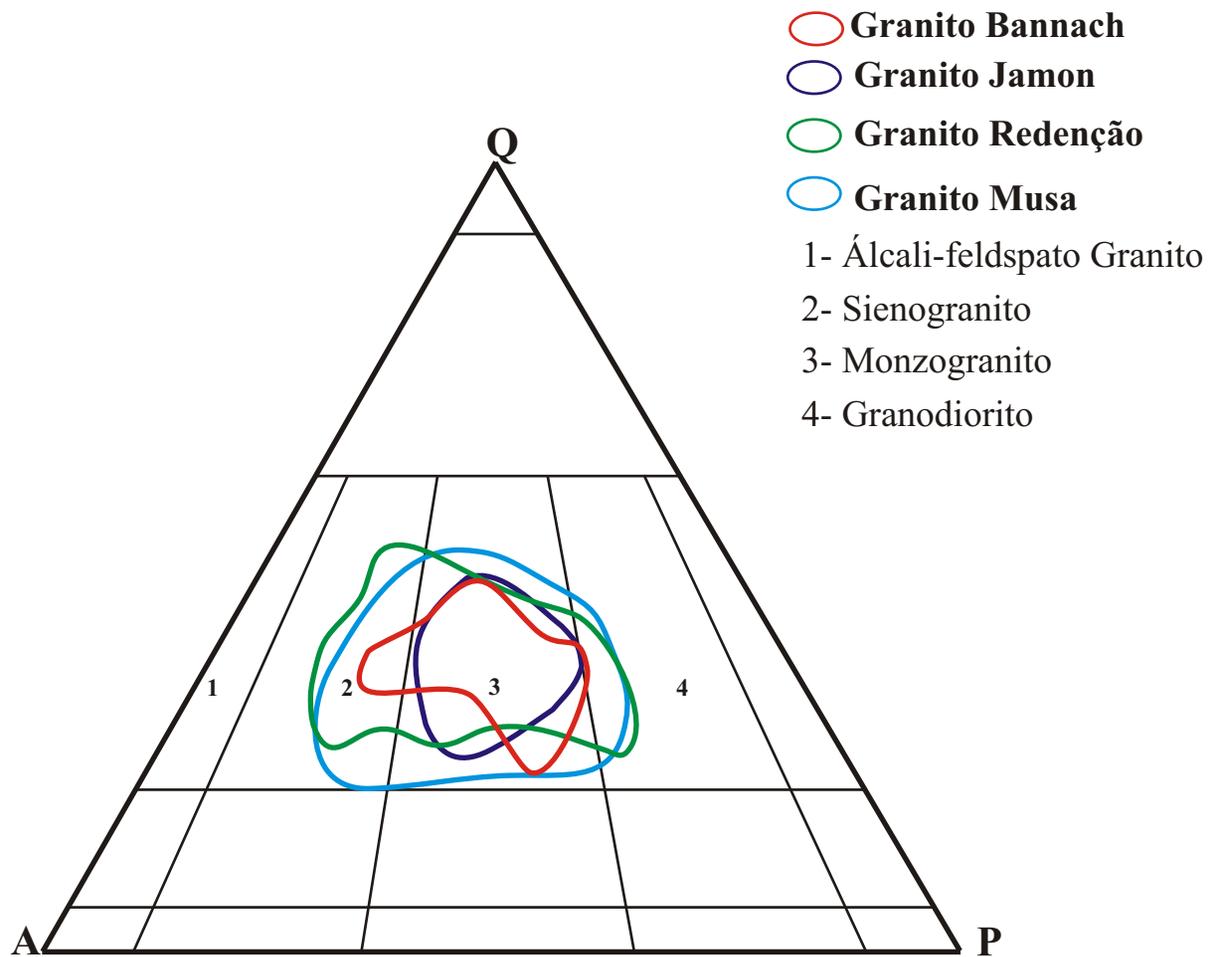


Figura 6.1 - Diagrama Q-A-P (Streckeisen 1976) mostrando as composições modais dos granitos Jamon, Musa, Redenção e Bannach

parte ou inteiramente àquelas observadas nos demais granitos. Assim como ocorre no Granito Bannach, as fácies monzograníticas dos maciços da Suíte são texturalmente bastante variadas, apresentando desde termos com granulação grossa, equigranulares ou porfíricos até heterogranulares médios a grossos ou médios a finos e equigranulares médios. Exibem, geralmente, em amostra de mão coloração rosada a acinzentada, alguns com tonalidades esbranquiçadas e outros avermelhadas, em especial, aqueles tipos mais leucocráticos. Como foi visto (Capítulo 3), a mineralogia das fácies do Granito Bannach é similar às dos granitos Redenção, Musa e Jamon, apresentando microclina, quartzo e plagioclásio como minerais essenciais; biotita \pm anfibólio e, muito raramente, clinopiroxênio, como varietais; titanita, allanita, apatita e zircão como acessórios primários; clorita, sericita - muscovita \pm fluorita como fases secundárias. As composições modais médias das diversas fácies do Granito Bannach (Tabela 3.1), podem ser confrontadas com as dos granitos Jamon, Musa e Redenção, apresentadas na tabela 6.1.

O GC do Granito Bannach ocorre de forma muito restrita, porém possui um conteúdo de máficos muito maior do que as fácies mais precoces dos corpos da Suíte Jamon, o que pode ser reflexo da atuação de processos cumuláticos na gênese desta rocha. Outra diferença muito significativa é a ausência no Granito Bannach da fácies BMzG (biotita - monzogranito grosso), muito abundante nos plútons Redenção e Musa. Constatam-se também que as fácies BAMzG e ABMzG dos corpos Bannach e Redenção são mais máficas que as suas equivalentes dos maciços Musa e Jamon. Já entre as fácies de leucogranitos dos quatro corpos há uma boa correspondência (Tabela 6.1). Os BMzP dos maciços Bannach e Redenção são muito semelhantes composicionalmente.

O Granito Bannach apresenta melhor correspondência em termos de variedades texturais com o Granito Redenção. No entanto, as rochas heterogranulares (BMzH e LMzH) que ocorrem predominantemente na parte central do maciço Redenção são extremamente restritas no corpo Bannach, não sendo possível sua individualização em mapa. As fácies do Granito Musa também aproximam-se bastante em termos texturais daquelas do corpo Bannach, principalmente os monzogranitos menos evoluídos (BAMzG e ABMzG). As fácies do maciço Jamon apresentam, por sua vez, algumas particularidades notáveis em relação às dos demais corpos: (1) as fácies com granulação grossa, de ampla distribuição nos demais corpos, não foram identificadas no Jamon; (2) A fácies ABMzG, a menos evoluída do corpo Jamon, apresenta uma típica textura

Tabela 6.1 - Média das composições modais das diferentes fácies dos granitos da Suíte Jamon

Fácies	Granito Jamon ^a				Granito Musa ^b						
	Mineral	ABMz {13}	BMz {9}	BMc {4}	LMz {1}	CBAMzG {4}	BAMzG {3}	ABMzG {15}	BMzG {13}	LMzH {9}	McS {6}
Quartzo	31.9	31	32	30.1	24.3	31	29.5	29.5	32	32.9	33.2
K-feldspato	29.4	33.4	35.1	32.5	22.1	27.6	31.5	34.6	39.5	47.4	46.6
Plagioclásio	30	28.6	35.9	30.1	38.4	30.9	31.1	28.4	26	18.4	18.2
Biotita	4.6	4.5	0.9	0.2	2.1	3.2	3.8	5.1	0.6	0.5	0.3
Anfibólio	1.7	0.1	-	<0,1	8.7	4	1.7	0.2	Tr	-	-
Clinopiroxênio	<0,1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Opacos	0.8	0.8	0.6	0.7	1.7	1.7	0.8	0.6	0,5	0.4	0.4
Titanita	0.5	0.3	0.1	0.4	1.6	0.6	0.8	0.7	0.4	Tr	0.1
Allanita	-	-	-	-	Tr	0.1	0.1	0.1	0.1	-	Tr
Clorita	0.3	0.5	1.5	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	0.8	0.2	1
Muscovita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorita	-	-	-	-	Tr	Tr	Tr	Tr	0.1	0.1	0.1
Acessórios ^(Apatita+Zircão)	0.4	0.5	0.5	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1
Félsicos	91.5	93	96.4	98.5	84.8	89.6	92.1	92.5	97.5	98.7	98
Máficos	8.4	6.9	3.6	1.5	15.3	10.4	7.7	7.1	2.6	1.3	2

Fácies	Granito Redenção ^c									
	Mineral	CBAMzG {4}	BAMzG {6}	ABMzG {10}	BMzG {10}	BMzH {7}	BMzP {8}	LMzH {10}	LMzE {3}	LMcS {7}
Quartzo	21.5	25.8	29.2	30.4	32.7	31.8	33.6	30.5	32.5	
K-feldspato	20.3	25.9	30.5	33.7	29.8	34	39	40	42.7	
Plagioclásio	33	33	29.3	29	31.4	27.8	24.7	27.8	21.8	
Biotita	7.9	5.9	5.6	4.4	4.1	3	1	0.6	1.3	
Anfibólio	11.2	6.2	2.5	0.3	<0,1	0.3	-	-	-	
Clinopiroxênio	1.4	Tr	-	-	-	-	-	-	-	
Opacos	3.5	2.1	1.8	1.1	0.8	0.8	0.6	0.4	0.6	
Titanita	1.1	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	<0,1	Tr	0.2	
Allanita	0.1	-	<0,1	0.1	<0,1	0.3	-	-	-	
Clorita	-	0.1	0.2	0.4	0.7	1.3	0.4	0.6	0.7	
Muscovita	-	-	-	-	-	-	0.4	Tr	<0,1	
Fluorita	-	-	-	-	-	Tr	<0,1	0.7	<0,1	
Acessórios ^(Apatita+Zircão)	0.2	0.1	0.1	<0,1	<0,1	0.1	0.1	0.1	<0,1	
Félsicos	74.8	84.7	89.1	93	93.8	93.6	97.3	98.3	97	
Máficos	25.5	15.1	11.1	6.9	6.3	6.2	2.6	1.7	2.8	

Fontes dos dados:

^a Dall'Agnol et al. (1999a)

^b Gastal (1987) e Oliveira (2003)

^c Oliveira (2001)

Abreviações: C - clinopiroxênio; B - biotita; A - anfibólio; Mz - monzogranito; G - grosso; H - heterogranular; P - porfirítico; L - leuco; E - equigranular; Mc - microgranito; S - sienogranito; {6} - número de amostras analisadas

equigranular média; (3) A única fácies francamente porfirítica do corpo Jamon é o BMc (Tabela 6.1) com fenocristais esparsos de granulação média em matriz fina; (4) As texturas rapakivi localizadas, comuns nos demais corpos, são ausentes ou muito raras no corpo Jamon.

6.3 - GEOQUÍMICA

Em termos geoquímicos, o Granito Bannach, assim como os demais, varia de metaluminoso a moderadamente peraluminoso (Figura 6.2a), com as fácies menos evoluídas se concentrando no campo metaluminoso e as mais evoluídas no peraluminoso. A ausência de rochas peralcalinas é uma característica comum a todos os maciços anorogênicos da Amazônia oriental (Dall'Agnol et al. 1999b).

As composições médias das fácies do Granito Bannach são muito semelhantes às das variedades análogas dos maciços Redenção (Oliveira 2001), Musa (Gastal 1987) e Jamon (Dall'Agnol 1980), da suíte Jamon, confirmando a analogia entre esses quatro corpos graníticos. A fácies mais precoce do Granito Redenção (CBAMzG) apresenta, assim como os GC, uma descontinuidade composicional com as demais variedades, porém exibem valores de SiO_2 muito superiores aos do GC. A fácies biotita-anfibólio-monzogranito grosso, anfibólio-biotita monzogranito grosso (ambas pertencentes ao plutón Redenção), hornblenda-biotita-monzogranito equigranular médio (maciços Jamon e Musa) são muito semelhantes geoquimicamente à fácies BAMzG do Granito Bannach, enquanto que os biotita-monzogranitos dos maciços Redenção, Jamon e Musa mostram analogias com os ABMzG. Os biotita-granitos porfiríticos do corpo Redenção assemelham-se quimicamente com os BMzP, ao passo que os leucomonzogranitos dos corpos Redenção, Jamon e Musa têm composições bem próximas dos LMzG e LMzMt. Os diques de microgranitos do plutón Redenção possuem características petrográficas e geoquímicas muito semelhantes às da fácies LMzF do Granito Bannach. As semelhanças observadas sugerem evoluções petrológicas similares para os granitos da Suíte Jamon e o Granito Bannach, sendo as diferenças sutis constatadas, explicáveis, talvez, pelos critérios subjetivos utilizados para a caracterização das fácies em cada maciço ou por pequenas diferenças na evolução dos quatro corpos graníticos.

O diagrama K_2O versus Na_2O (Figura 6.2b) mostra que as razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ do Granito Bannach se superpõem àquelas dos demais granitos da Suíte Jamon, com valores entre 1 e 2. Em todos estes granitos, as razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ tendem a aumentar com a diferenciação magmática,

tendendo a se aproximar de 2 nas variedades mais evoluídas. Razões K_2O/Na_2O elevadas são típicas dos granitos rapakivíticos proterozóicos (Rämö & Haapala 1995) e muito comuns naqueles da Amazônia (Dall'Agnol et al. 2005).

A razão $FeOt/(FeOt+MgO)$ pode ser utilizada como parâmetro indicador da afinidade geoquímica entre rochas granitóides, pelo fato de refletir as condições de fugacidade de oxigênio dominantes durante a formação dessas rochas (Anderson & Smith 1995, Dall'Agnol et al. 1997a). Granitos tipo A geralmente apresentam valores elevados para tais razões, de modo contrário ao observado naqueles de afinidade cálcio-alcálica, que exibem valores comparativamente mais baixos (Frost & Frost 1997, Frost et al. 2001). O diagrama $FeOt/(FeOt+MgO)$ versus SiO_2 (Figura 6.2c), mostra que a distribuição das rochas do Granito Bannach coincide com aquelas dos granitos da Suíte Jamon. O corpo Bannach juntamente com os granitos Musa, Jamon e Redenção são do tipo ferroso de Frost et al. (2001) e revelam comportamento similar aos dos granitos tipo A oxidados (Dall'Agnol et al. 2005). Os mesmos revelam altas razões $FeOt/(FeOt+MgO)$ (>0.8), as quais exibem tendência a aumentar nas variedades mais ricas em sílica, refletindo o decréscimo mais acentuado de MgO do que de $FeOt$ com a evolução das fácies.

No diagrama Nb versus Y , proposto por Pearce et al. (1984) para a caracterização de ambientes tectônicos de granitos fanerozóicos, os granitos da Suíte Jamon situam-se no campo dos granitos intraplaca (Figura 6.3a), com exceção de algumas amostras mais evoluídas, sobretudo dos maciços Musa, Bannach e, subordinadamente Jamon, devido ao acentuado fracionamento de Nb e Y durante a diferenciação magmática (Dall'Agnol et al. 1999a). O Y mostra algumas diferenças entre os maciços graníticos, quanto ao seu comportamento, nos maciços Bannach, Redenção e Jamon, exibem um aumento acentuado nos leucogranitos, contrariamente ao observado no maciço Musa (Dall'Agnol et al. 1999a).

O diagrama discriminante $FeOt/MgO - Zr+Nb+Ce+Y$ (Figura 6.3b) mostra a afinidade do Granito Bannach e dos demais granitos da Suíte Jamon com os granitos tipo A. Já no diagrama $Nb-Y-Zr/4$, mostrando os domínios dos granitos A_1 e A_2 , definidos por Eby (1992) e discutidos anteriormente (Capítulo 4), os campos dos granitos Bannach, Redenção, Musa, Jamon (Figura 6.3c) incidem no domínio dos granitos do subtipo A_2 , o que pode ser visto como uma forte evidência da derivação crustal de seus magmas (Dall'Agnol et al. 1994, 1999a). Há analogias evidentes em termos de comportamento nestes diagramas entre os granitos da Suíte Jamon e

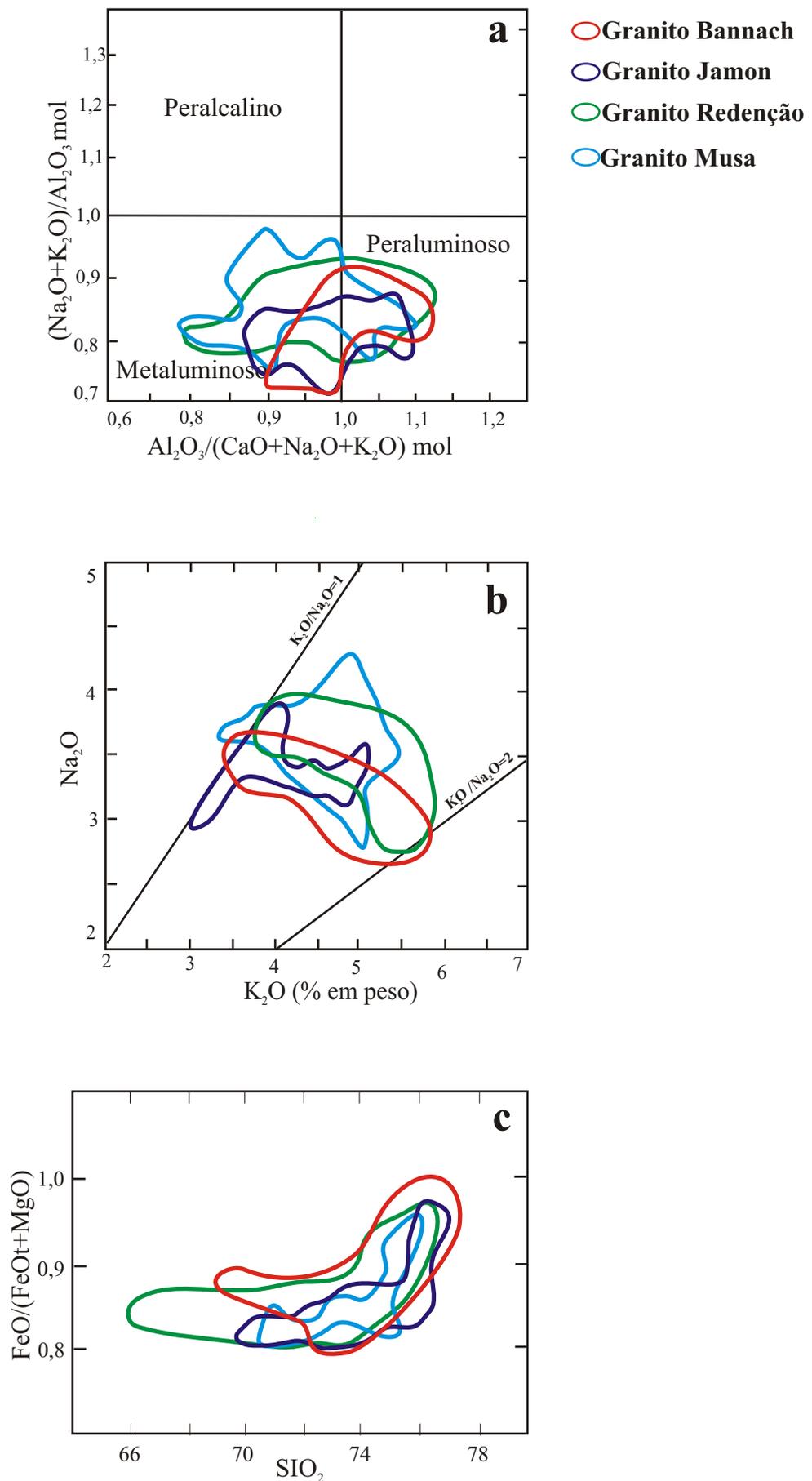


Figura 6.2 - a) Diagrama NK/A versus A/CNK baseado nos parâmetros de Shand (óxidos em proporções moleculares), comparando o maciço Bannach com os granitos da Suíte Jamon. Óxidos em proporções moleculares
 b) Diagrama Na_2O versus K_2O , comparando os granitos Jamon, Musa, Redenção e Bannach. Óxidos em % em peso;
 c) Diagrama $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ versus SiO_2 comparando o Granito Bannach com os granitos Jamon, Musa, Redenção. Óxidos em percentagem em peso.

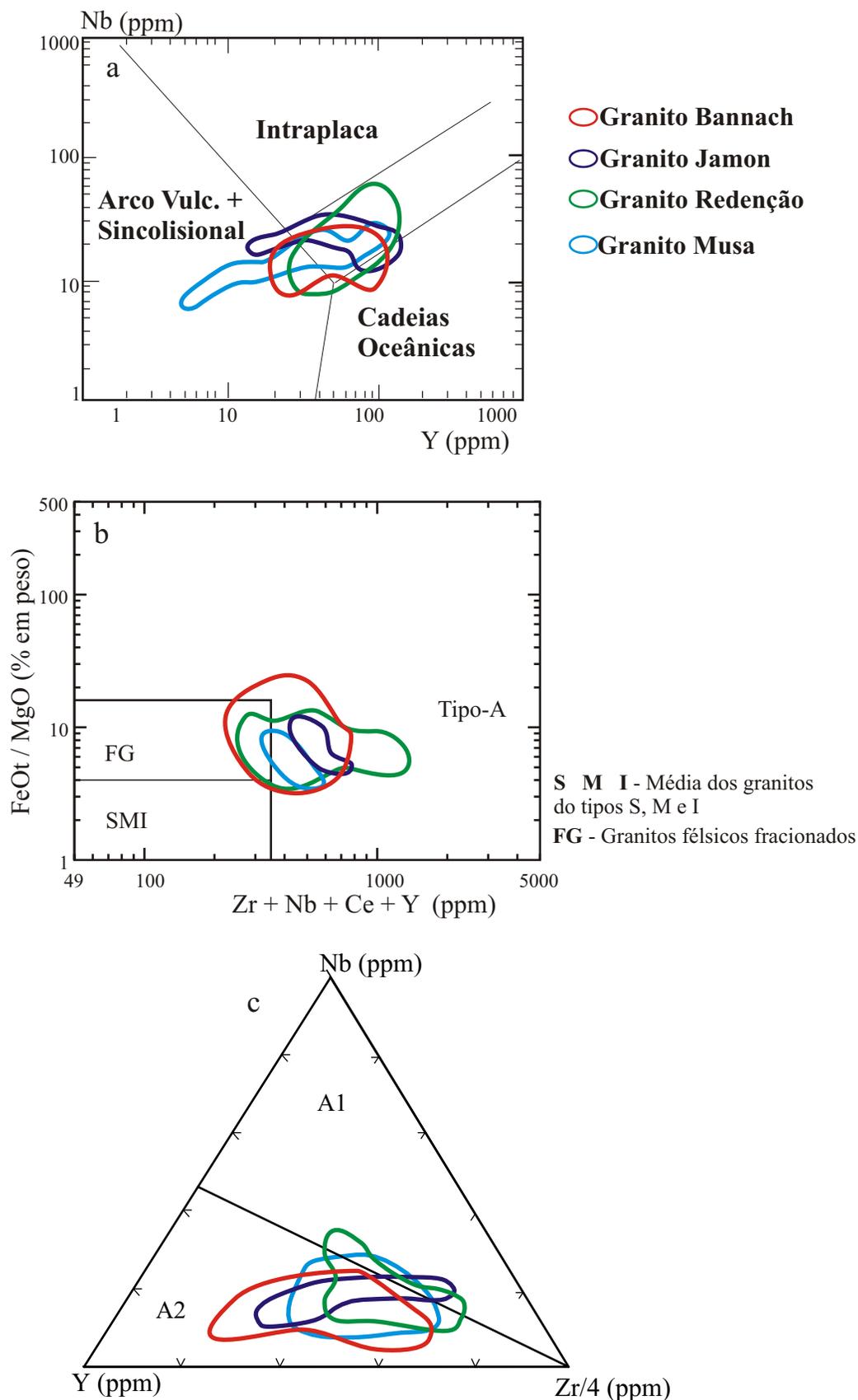


Figura 6.3 - Diagramas discriminantes comparando o Granito Bannach com os corpos que formam a Suíte Jamon (Jamon, Musa, Redenção); a) Diagrama Nb versus Y (campos conforme Pearce et al. 1984); b) Diagrama FeOt/MgO versus Zr+Nb+Ce+Y de Whalen et al (1987); c) Diagrama triangular discriminante para granitóides dos subtipos A1 e A2 (campos conforme Eby 1992).

aqueles tipo A australianos (King et al. 1997), granitos rapakivis da Finlândia (Rämo & Haapala 1995) e os granitos proterozóicos do tipo A das regiões central e SW dos Estados Unidos (Anderson & Bender 1989), entre outros.

Nos padrões de ETR normalizados pelos valores condriticos de Evensen et al. (1978) dos granitos da Suíte Jamon (Figura 6.4), fica bastante evidente a existência de notáveis analogias entre as fácies afins presentes nestes granitos e no Granito Bannach, confirmando o que foi sugerida pelos dados petrográficos e geoquímicas de elementos maiores. Dentre as principais semelhanças destacam-se: 1) A presença constante de anomalia negativa de Eu, a qual aumenta das fácies menos evoluídas para aquelas mais evoluídas e 2) os padrões de distribuição dos ETR com maior concentração de ETRL e fracionamento pouco expressivo dos ETRP, exibindo, ainda, maior fracionamento interno de ETRL em relação aos ETRP, originando um *trend* inclinado nos primeiros e subhorizontal nos segundos.

Desse modo, conclui-se que o Granito Bannach mostra claramente afinidades geoquímicas com granitos tipo A e nítidas semelhanças com os granitos que compõem a Suíte Jamon, confirmando, portanto, a existência de afinidades petrográficas e geoquímicas entre os granitos anorogênicos do Terreno Granito -Greenstone de Rio Maria (Suíte Jamon) e o Granito Bannach.

6.4 - SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SM)

De modo geral, o comportamento magnético dos granitos Bannach, Redenção, Musa e Jamon são muito semelhantes (Figura 6.9), existindo uma grande coincidência entre os seus valores de SM (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Comparações entre características magnéticas dos granitos Bannach, Redenção, Musa e Jamon

GRANITÓIDES CARACTERÍSTICAS	GRANITO BANNACH ⁽¹⁾	GRANITO REDENÇÃO ⁽²⁾	GRANITO MUSA ⁽³⁾	GRANITO JAMON ⁽³⁾
Intervalo de SM (x 10 ⁻³ SI)	1,0780 a 72,748	1,0454 a 54,7298	1,2570 a 32,156	2,2556 a 23,221
Média de SM (x 10 ⁻³ SI)	9,2650	11,5536	13,2950	13,0710
Populações Magnéticas (x 10 ⁻³ SI)	A: 1,0780 a 3,5813 B: 4,4135 a 8,0512 C: 8,1593 a 15,754 D: 18,637 a 27,432 E: 48,705 a 72,748	A: 1,0454 a 3,0789 B: 3,9710 a 9,7335 C: 9,8189 a 18,761 D: 19,434 a 20,359 E: 21,675 a 54,729	A: 1,2570 a 7,0500 B: 7,1380 a 17,731 C: 17,945 a 32,156	A: 2,2556 a 3,9257 B: 4,3542 a 16,916 C: 18,986 a 23,221

Fonte dos dados: ⁽¹⁾ - Guimarães & Dall'Agnol (2004) et al. 2004; ⁽²⁾ - Oliveira 1998; Oliveira et al. 2002; ⁽³⁾ - Magalhães (1991); Magalhães & Dall'Agnol (1992).

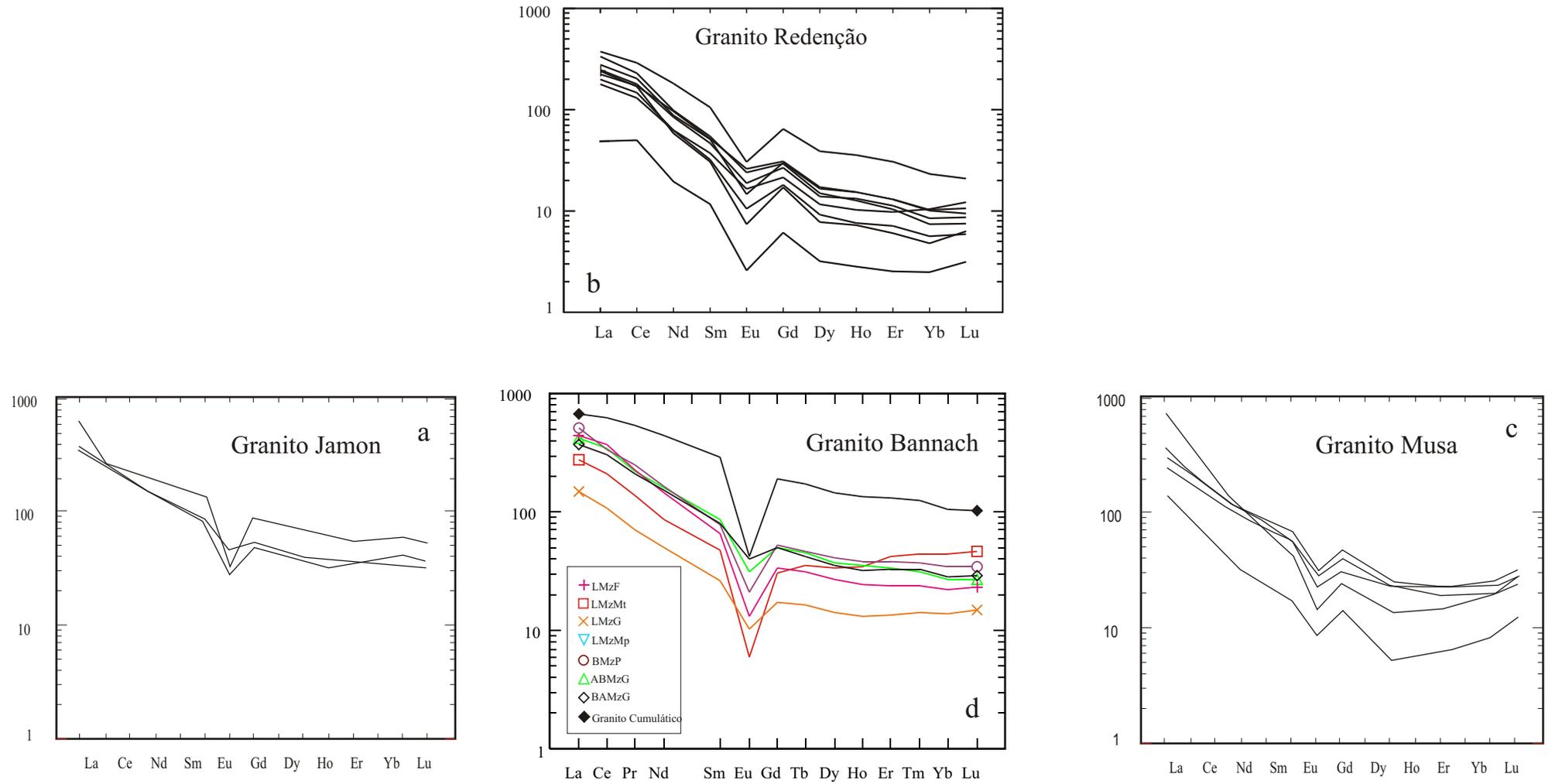


Figura 6.4 - Padrões de elementos terras raras normalizados em relação aos condritos (Evensen et al. 1978) dos granitos que formam a Suíte Jamon. a) Granito Jamon (Dall’Agnol et al. 1999a); b) Granito Redenção (Oliveira 2001); c) Granito Musa (Dall’Agnol et al. 1999a); d) Granito Bannach (este trabalho).

A análise dos dados de SM, através de populações magnéticas, mostrou uma boa correlação com a evolução magmática dos corpos. Constatou -se que os valores mais altos de SM estão relacionados com as fácies mais ricas em minerais máficos e anfibólio, que correspondem às menos evoluídas em termos de um processo simples de diferenciação magmática, enquanto que os valores mais baixos de SM são, em geral, apresentados pelas fácies leucograníticas. A correlação negativa entre SM e $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ nos granitos Bannach e Redenção, mostra que as amostras com razões $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ mais baixas apresentam valores de SM mais elevados.

O conteúdo expressivo de minerais opacos (Tabela 6.1), altos valores de SM e presença marcante da paragênese magnetita-titanita-quartzo, características presentes nos granitos Bannach, Redenção Musa e Jamon, similares àquelas apresentadas pelos granitos da série magnetita (Ishirara, 1977, 1981) (Figura 6.5), formados em condições de fugacidade de oxigênio ($f\text{O}_2$) próximas daquelas dos tampões NNO e HITMQ (Wones 1989, Dall’Agnol et al. 1997a). Estas semelhanças em termos mineralógicos e de comportamento magnético dos granitos Bannach, Redenção, Musa e Jamon, fortalecem as afinidades existentes entre eles, tanto em termos de comportamento magnético, quanto de tipologia e geoquímica. Todos estes granitos são classificados como tipo A, correspondendo à variedade subalcalina (Montalvão et al. 1982; Magalhães & Dall’Agnol 1992; Dall’Agnol et al. 1999a; Oliveira 2001; cf. Capítulo 5, este trabalho), formada em condições oxidantes (Dall’Agnol et al. 2005).

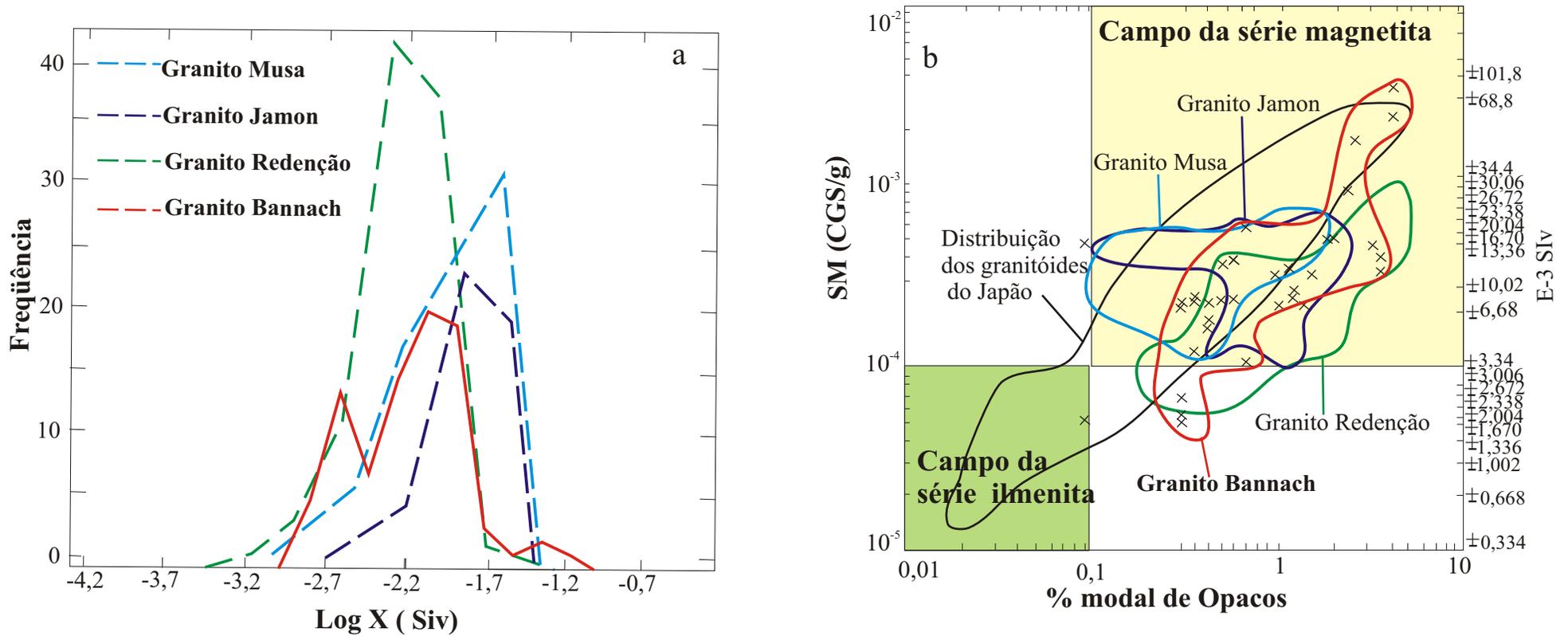


Figura 6.5- a) Polígonos de frequência referentes aos dados de suscetibilidade magnética (X) dos Granitos Jamon, Musa e Redenção comparados com o do Granito Bannach; b) Relação entre o conteúdo modal de opacos e suscetibilidade magnética dos granitos Bannach, Jamon, Musa e Redenção, mostrando que estes granitos incidem no campo dos granitos da série a magnetita (Ishirara 1981)

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES.

- O Granito Bannach é um corpo alongado na direção NNW com dimensões batolíticas intrusivo em unidades arqueanas, correlacionadas com Tonalito Arco Verde, Thondhjemitó Mogno, Granodiorito Rio Maria, Supergrupo Andorinhas e Leucogranitos Potássicos do tipo Mata Surrão. O contato discordante do maciço Bannach com essas rochas arqueanas e o fato de seccionar claramente a foliação regional E-W marcante nessas rochas, além de englobar *enclaves* angulosos das mesmas, demonstram a existência de um alto contraste de viscosidade entre as unidades arqueanas e o magma formador do Granito Bannach. O magma Bannach foi colocado quando dispunha de uma fração líquida elevada, em temperatura e viscosidade muito contrastante com aquelas das suas encaixantes, mais frias. A existência de auréolas de metamorfismo de contato e a presença de cavidades mirolíticas, juntamente com a ocorrência de inúmeros diques cogenéticos (LMzF e BMzP) que cortam o Granito Bannach reforçam a hipótese que o mesmo foi colocado em ambiente epizonal.

- O maciço granítico Bannach é formado essencialmente por rochas monzograníticas isotrópicas, que exibem variações mineralógicas e texturais que permitiram distinguir três grandes grupos petrográficos principais: a) Rochas portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio, representadas pelas fácies GC, BAMzG e ABMzG; b) fácies portadora de biotita que mostra uma textura porfírica (BMzP); c) fácies compostas por leucogranitos, as quais mostram ampla variação textural com termos grossos (LMzG), médios (LMzMp e LMzMt) e finos (LMzF). As diversas fácies do Granito Bannach são do tipo subsolvus, com duas fases feldspáticas distintas.

- A distribuição espacial das fácies do Granito Bannach mostra que as fácies portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio ocupam as porções de borda, ao passo que os leucogranitos ocorrem nas porções centrais do batólito, indicando que o Granito Bannach é zonado composicionalmente.

- Os dados de análises modais das diversas fácies do Granito Bannach indicam a existência de passagens graduais entre os grupos de fácies. A transição entre as várias fácies é comandada pelos seguintes fatores: (1) variações acentuadas no conteúdo de ferromagnesianos; (2) variações marcantes nas quantidades de quartzo; (3) variações moderadas nas razões plagioclásio/microclina e anfibólio/biotita. Muito provavelmente, essas variações foram também

acompanhadas pelo decréscimo do teor de anortita do plagioclásio. Em linhas gerais, as razões PI/Mc e os valores de M tendem a exibir valores decrescentes no sentido das fácies portadoras de anfibólio + biotita \pm clinopiroxênio passando pelas rochas porfiríticas (BMzP) até os leucogranitos.

- As feições texturais sugerem que o conjunto GC -BAMzG-ABMzG-LMzG evoluiu em condições que permitiram variações de temperatura lentas e regulares. Tal evolução foi provavelmente independente das de outras fácies. Os LMzMp e LMzMt são produtos de líquidos bastante evoluídos que cristalizaram com taxas relativamente moderadas de resfriamento. Os primeiros ocorrem de modo restrito no corpo, sempre como enclaves nos ABMzG. Já os LMzMt constituem as estruturas concêntricas do Granito Bannach, representando intrusões independentes. Os BMzP e LMzF são corpos tardios que foram colocados em baixa profundidade na crosta evoluindo com altas taxas de resfriamento. A maior abundância da clorita e fluorita nos leucogranitos, sugere uma maior importância dos voláteis durante o final da cristalização.

- O tratamento dos dados de SM possibilitou a caracterização de cinco populações denominadas de A, B, C, D, E, as quais mostram diferentes comportamentos magnéticos. A população A é a menos magnética sendo formada principalmente pelos leucogranitos (LMzMp, LMzG, LMzMt e LMzF). A população B engloba as amostras com valores intermediários de SM, sendo bastante heterogênea em termos de litotipos, composta por BMzP, ABMzG, e, subordinadamente, pelos leucogranitos. A população C apresenta uma variação de SM um pouco mais ampla e é constituída principalmente por BAMzG. A população D é formada principalmente por GC, BMzP e ABMzG. A população E é a mais magnética, sendo composta unicamente pelas fácies que apresentam maior conteúdo de minerais máficos (GC e BAMzG).

- Existe uma forte correlação positiva entre SM e os conteúdos modais de minerais opacos e total de máficos. As fácies mais ricas em máficos (GC, BAMzG) apresentam os valores mais elevados de SM. As demais fácies tendem a tornar -se gradualmente menos magnéticas à medida que diminuem os conteúdos modais de máficos e o anfibólio é substituído pela biotita como máfico dominante, atingindo os valores mais baixos de SM nas fácies hololeucocráticas (GC? BAMzG? ABMzG? BMzP? LMzG+LMzMp+LMzMt+LMzF). Isso reflete o caráter precoce e afinidade dos minerais opacos e dos máficos em geral.

- Os dados de SM revelam que os maiores valores de SM são fornecidos por rochas das bordas do corpo e os menores por aquelas provenientes da porção central do mesmo, resultando

um zoneamento aproximadamente simétrico em termos de SM do Granito Bannach, com decréscimo da periferia em direção ao centro do corpo. Os domínios de mais alta SM são espacialmente coincidentes com os das fácies portadoras de anfibólio+biotita±clinopiroxênio (GC, BAMzG e ABMzG) e os de mais baixa SM com os leucogranitos (principalmente LMzG e LMzMt).

- As rochas do Granito Bannach mostram uma correlação positiva entre os valores de SM e os conteúdos dos óxidos Fe_2O_3 , FeO, MgO, CaO, TiO_2 e P_2O_5 , observando-se aumento gradual da SM, paralelamente ao do conteúdo destes óxidos, concentrados nos minerais máficos. As fácies mais ricas nestes óxidos são mais precoces e possuem SM mais elevada do que as fácies mais evoluídas (BMzP e leucogranitos). Portanto, o decréscimo de SM deu -se paralelamente à diferenciação magmática do corpo.

- O conteúdo expressivo de minerais opacos, altos valores de SM e a presença marcante da paragênese magnetita-titanita-quartzo que o Granito Bannach apresenta, são características similares àquelas apresentadas pelos granitos da série magnetita (Ishihara 1977, 1981), formados em condições de fugacidade de oxigênio (fO_2) próximas daquelas dos tampões NNO e HITMQ (Wones 1989, Dall'Agnol et al. 1997a). Com o avanço da diferenciação magmática, crescimento do teor de H_2O no líquido e o aumento relativo de fO_2 , os valores de SM tendem ser mais baixos, haja vista o conteúdo mais reduzido de opacos e a transformação mais acentuada da magnetita para hematita, em função da maior intensidade das transformações pós-magmáticas.

- O Granito Bannach possui característica metaluminosa a peraluminosa e natureza subalcalina. As razões K_2O/Na_2O (entre 1 e 2) e $FeOt/(FeOt+MgO)$ (0,86 a 0,97) são relativamente altas, e tendem aumentar gradualmente com a diferenciação magmática. Mostra afinidades com os granitos do tipo ferroso (Frost et al. 2001) e tipo -A (Whalen et al. 1987) incidindo exclusivamente no campo dos granitos do subtipo A2, conforme definidos por Eby (1992), o que sugere fonte crustal para o mesmo.

- O conteúdo de SiO_2 das diferentes fácies do Granito Bannach mostra, excetuando -se a fácies GC (58,1%), uma variação restrita (69,7 a 77%).

- O dados geoquímicos são coerentes com as variações mineralógicas observadas entre as diferentes fácies petrográficas, indicando *trends* de evolução por processos de diferenciação magmática no sentido da fácies BAMzG para os leucogranitos. Verifica-se paralelamente ao aumento de SiO_2 , neste mesmo sentido, uma nítida diminuição dos teores de TiO_2 , MgO, Fe_2O_3t ,

CaO, P₂O₅, Ba, Sr e Zr e um aumento dos teores de K₂O e Rb. Como o aumento do Rb é mais acentuado, do que o de K₂O, há uma diminuição em paralelo da razão K/Rb.

-Através da relação dos elementos litófilos (Rb, Sr e Ba) e ETR foram possíveis distinguir dois estágios de evolução magmática: O primeiro estágio, dos BAMzG para os ABMzG e BMzP, reflete a predominância do fracionamento do plagioclásio, e anfibólio, com feldspato potássico subordinado. O segundo estágio corresponde ao *trend* BMzP-leucogranitos, sendo caracterizado também pelo fracionamento de plagioclásio, porém com participação dominante de feldspato potássico. O aumento da anomalia de európio no sentido BAMzG-leucogranitos reforça que o fracionamento de plagioclásio foi muito importante ao longo da evolução das diferentes fácies. O comportamento do Rb e Ba nos dois estágios indica que os efeitos do fracionamento da biotita foram totalmente subordinados em relação ao dos feldspatos na maioria das fácies do Granito Bannach. O comportamento destes elementos indica que a cristalização fracionada foi mais importante na evolução do Granito Bannach do que a fusão parcial de uma fonte homogênea (Hanson 1978). Porém a hipótese de cristalização fracionada não permite explicar a gênese dos GC. A acentuada anomalia negativa de Eu dos GC, indica que se existisse um líquido residual proveniente da cristalização dessas rochas, não seria capaz de originar os BAMzG por simples processos de cristalização, uma vez que os últimos derivaram de um líquido com fracionamento bem menos acentuado de plagioclásio. Esse fato, juntamente com outras características particulares dos GC, sugere que sua formação está ligada provavelmente a processos de acumulação de fases precoces, tais como clinopiroxênio, anfibólio, biotita e minerais acessórios, em um líquido pouco evoluído tal como aquele que deu origem à fácies BAMzG. Isso pode explicar os altos conteúdos de CaO (alta razão Ca/Sr) e Rb (justamente pela acumulação da biotita) que estas rochas apresentam em relação à fácies BAMzG.

- As comparações feitas em termos petrográficos, geoquímicos e de petrologia magnética, juntamente com as relações de campo, permitem que o Granito Bannach seja enquadrado dentro da Suíte Jamon, uma vez que apresenta notáveis similaridades com os corpos que compõem a mesma (Jamon, Musa e Redenção).

- A utilização e integração de várias ferramentas de estudos (geologia, petrografia, suscetibilidade magnética, geoquímica e interpretações de imagens aerogeofísicas) permitiu a caracterização do Granito Bannach e uma melhor compreensão da sua evolução magmática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F.A.M. & RAMOS, C.R. 1974. Estanho do sul do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 28., Porto Alegre, 1974. *Anais...* SBG. v.1, p.11-24.
- ALTHOFF, F.J., BARBEY, P., BOULLIER, A.M. 2000. 2.8 -3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, **104**:187-206.
- ALTHOFF, F.J., DALL'AGNOL, R., SOUZA, Z.S. 1991. Região de Marajoara - SE do Pará: prolongamento dos terrenos arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento ? In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. *Anais...* SBG, p. 130 - 141.
- ANDERSON, J.L. 1983. Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America. In: MEDARIS, L.G., MICKELSON, D.M., BYERS, C.W. AND SHANKS, W.C. (Eds). *Proterozoic Geology. Geol. Soc. Am. Mem.*, Vol. 161, pp. 133-154.
- ANDERSON, J.L. & BENDER, E.E. 1989. Nature and origin of Proterozoic A -Type granitic magmatism in the southwestern United States of America. *Lithos*, **23**:19-52.
- ANDERSON, J.L. & SMITH, D.R. 1995. The effect of temperature and fO_2 on the Al in hornblende barometer. *American Mineralogist*, **80**: 549-559.
- ARAÚJO, O.J.B., MACAMBIRA, E.M.B., VALE, A.G., OLIVEIRA, J.R., SILVA NETO, C.S, COSTA, E.J.S., SANTOS, A., PENA FILHO, J.J.C., NEVES, A.P., JORGE JOÃO, X.S., COSTA, J.B.S. 1994. Primeira integração das investigações geológicas do Programa Grande Carajás na região SSE do Estado do Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4., Belém, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*. SBG, p. 299-301.
- ATHERTON, M.P., MCCOURT, W.J., SANDERSON, L.M., TAYLOR, W.P. 1979. The geochemical character of the segmented Peruvian Coastal Batholith and Associated Volcanics. In: ATHERTON, M. P. & TARNEY, J. (Editors). *Origin of Granite Batholiths: Geochemical Evidence*. Orpington, Shiva Publish. p. 45-64.
- AVELAR, V.G. 1996. *Geocrologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão, do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental*. 199p. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia, Belém. (Dissertação de Mestrado).

- BARBOSA, A.A., LAFON, J.M., NEVES, A.P., VALE, A.G. 1994. O Granito Redenção (sul do Pará): novos dados geocronológicos Pb -Pb e Rb-Sr. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4, Belém, 1994. *Anais...* SBG, p. 302-306.
- BARKER, F., ARTH, J.G., MILLARD, H.J. 1979. Archean thondjemites of the southwestern Big Horn Mountain, Wyoming: a preliminary report. In BARKER, F. (editor) *.Thondjemites, Dacites, and Rocks Related. Amsterdam. Elsevier*, pp. 401-414.
- BATEMAN, P.C. & CHAPPELL, B.W. 1979. Crystallization, fractionation and solidification of the Toulumne Intrusive Series, Yosemite National Park, California. *Geol. Soc. Am. Bull.* **90**: 465-482.
- BETTENCOURT, J.S. & DALL'AGNOL, R. 1987. The Rondonian Tin-bearing anorogenic granites and associated mineralization. In: INTER. SYMP. GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, Salvador, 1987. *Excursion Guides...* Salvador, SGRM, p. 49-87.
- BETTENCOURT, J.S., TOSDAL, R.M., LEITE, W.B. Jr., PAYOLLA, B.L., 1999. Mesoproterozoic rapakivi granites of Rodônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian craton, Brazil. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research.* **95**: 41-67.
- BOWDEN, P. & KINNAIRD, J.A. 1984. Geology and mineralization of the Nigerian anorogenic ring complexes. *Geol. Jahrb.*, **B56**:3-65
- CHAPPELL, B.W. & STEPHENS, W.E. 1988. Origin of infracrustal (I -type) granite magmas I *Trans. Royal Soc. Edinburg*, **79**: 71-86.
- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J.R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, **8**:173-174.
- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J.R. 1992. I-and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Trans. Royal Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, **83**: 1-26.
- CHAPPELL, B.W., WHITE, A.J.R., HINE, R. 1988. Granite provinces and basement terranes in the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. *Austr. Jour. Earth Sci.*, **35**: 505-521.
- CHAYES, F. 1956. *Petrographic modal analysis*. New York, John Wiley & Sons. 113p.
- CLEMENS, J.D., HOLLOWAY, J.R., WHITE, A.J.R. 1986. Origin of an A-type granite: Experimental constraints. *American Mineralogist*, **71**: 317-324.

- COBBING, E.J. 1990. A comparison of granites and their tectonic settings from the South American Andes and the Southeast Asian tin belt. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* **241**: 193-204.
- COLLINS, W.J., BEAMS, S. D., WHITE, A. J. R., CHAPPELL, B. W. 1982. Nature and Origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **80**: 189-200.
- COSTA, J.B.S., ARAÚJO, O.J.B., SANTOS, A., JORGE JOÃO, X.S., MACAMBIRA, M.J.B., LAFON, J.M. 1995. A Província Mineral de Carajás: Aspectos Tectono-Estruturais, Estratigráficos e Geocronológicos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **7**: 199-235.
- COSTA, J.B.S.; TEIXEIRA, N.P.; PINHEIRO, R.V.L.; BEMERGUY, R.L. 1990. Os sistemas estruturais transcorrentes do Cinturão Itacaiúnas na região de Curionópolis, leste do Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 36, Natal, 1990. *Anais... SBG*, v.5, p.2345-2357.
- CPRM 2000. *Programa de levantamentos geológicos básico do Brasil, Folha Xinguara (SB -22-Z-C), Estado do Pará*. 120p (relatório técnico).
- CREASER, R.A., PRICE, R.C., WORMALD, R.J., 1991. A-type granites revisited: assessment of a residual-source model. *Geology*, **19**: 163-166.
- DALL'AGNOL, R. 1980. *Etudes sur des granites du type "Rondonian" en Amazonie Orientale et leurs transformations tardi-magmatiques*. 348p. Toulouse, Univ. Paul Sabatier, Labor. Géol. Petrol., (Tese de Doutorado).
- DALL'AGNOL, R. 1982. Maçoço Jamon: Evolução Petrológica de um granito da Amazônia Oriental. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 1., Belém, 1982. *Anais... SBG*. v-2, p. 139-161.
- DALL'AGNOL, R., SCHUCKMANN, W.K., BASEI, M.A.S., SCHELLER, T. 1984. Novos dados geocronológicos e estudo de elementos traços de maciços graníticos anorogênicos da Amazônia Oriental, Estado do Pará (Brasil). In: SYMPOSIUM DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, **2.**, Manaus, 1984. *Anais*. Manaus, DNPM. P. 59-74.
- DALL'AGNOL, R., BETTENCOURT, J.S., JORGE JOÃO, X.S., MEDEIROS, H., COSTI, H.T., MACAMBIRA, M.J.B. 1987. Granitogenesis in northern Brazilian region: a review. *Revista Brasileira de Geociências*, **17** (4): 382-403.
- DALL'AGNOL, R., COSTI, H.T., LEITE, A.A.S., MAGALHÃES, M.S., TEIXEIRA, N.P. 1999b. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research* **95**: 9-39.

- DALL'AGNOL, R., LAFON, J.M., MACAMBIRA, M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province, Amazonian Craton. Geochronological, Petrological and Geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, **50**:113-138.
- DALL'AGNOL, R., MAGALHÃES, M.S., BARROS, C.E.M. 1993. The anorogenic magnetite - bearing granites of the eastern Amazonian craton: implicações for the genesis of A -Type Proterozoic granites. In: IN. GEOL. CORREL. PROGRAME. Project 315, Rolla. Abstracts with programs. Rolla, University of Missouri, *The Geol. Soc. Amer.* pp. 15.
- DALL'AGNOL, R., OLIVEIRA, D.C., MACAMBIRA, M.J.B., LAMARÃO, C.N. 2002. Diques proterozóicos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria: A descoberta de diques compostos e novos dados geocronológicos. In: SIMP. VULC. AMB. ASSOC, 2., Belém. *Boletim de resumos e roteiros da excursão* . Belém, UFPA. Núcleo PRONEX do Centro de Geociências, p.13.
- DALL'AGNOL, R., PICHAVANT, M., CHAMPENOIS, M. 1997a. 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*. **69** (3): 325-347.
- DALL'AGNOL, R., RAMÕ, O.T., MAGALHÃES, M.S., MACAMBIRA, M.J.B. 1999a. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites. *Lithos*. **46**: 431-462.
- DALL'AGNOL, R., SAUCK, W.A., GONÇALEZ, M.G.B. 1988. Suscetibilidade magnética em granitóides da Amazônia: Um estudo preliminar. In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. *Anais...* SBG. v. 3, p. 1664-1173.
- DALL'AGNOL, R., SCAILLET, B., PICHAVANT, M. 1999c. Evolution of A-type granite magmas: an experimental study of the Lower Proterozoic Jamon Granite, eastern Amazonian craton, Brazil. *Journal of Petrology*. **40** (11): 1673-1698.
- DALL'AGNOL, R., SCHENATO, C.A., CORDEIRO, A.A.C., SCHELLER, T. 1985. Efeitos de contato do maciço granítico Jamon na seqüência Lagoa Seca (sudeste do Pará). In: SIMP. GEOL. AMAZ., 2., Belém, 1985. *Anais...* Belém, SBG. p 33-52

- DALL'AGNOL, R. SOUZA, Z.S., ALTHOFF, F.J., BARROS, C.E.M., LEITE, A.A.S., JORGE JOÃO, X.S. 1997b. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. In: INTERN. SYMP. ON GRAN. AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2. Salvador. *Excursions guide*. Salvador, CBPM, SGM. pp. 135-161.
- DALL'AGNOL, R., TEIXEIRA, N.P., RÄMÖ, O.T., MOURA, C.A.V., MACAMBIRA, M.J.B., OLIVEIRA, D. C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic Rapakivi A -type granite of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos*. **80**: 101-129.
- DEBON, F. & LE FORT, P. 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. *Bull. Mineral.* **111**: 493-510.
- DOCEGEO (Rio Doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia) 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém. *Anexos*. Belém, SBG. Vol. Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais. p. 11-54.
- DOWTY, E. 1980. Synneusis reconsidered. *Contrib. Mineral. Petrol.* **74**: 75-84.
- DUARTE, K.D. 1992. *Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria -PA): um exemplo de granito "stricto sensu" Arqueano*. 217 p. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).
- EBY, G.N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, **26**: 115-134. Special Issue.
- EBY, G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, **20**: 641-644
- EMSLIE, R., 1991. Granitoids of rapakivi granite-anorthosite and related associations. *Precambrian Res.*, **51**: 173-192. Special Issue.
- EVENSEN, N.M., HAMILTON, P.J., O'NIONS, R.K. 1978. Rare earth abundance in chondritic meteorites. *Geochimica Cosmochimica Acta*, **42**: 1199-1212.
- FIGUEIREDO, M.A.B.M. 1999. *Minerais óxidos de Fe e Ti e suscetibilidade magnética em vulcânicas e granitóides proterozóicos da Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós*. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).

- FIGUEIREDO, M.A.B.M., DALL'AGNOL, R., LAMARÃO, C.N, OLIVEIRA, D.C. 2003. Petrologia magnética do granito São Jorge Antigo, Província Aurífera do Tapajós. *Revista Brasileira de Geociências*, **33** (2):149-158.
- FÖRSTER, H.J., TISCHENDORF, G., TRUMBULL, R.B. 1997. An evaluation of the Rb vs. (Y+ Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks. *Lithos* **40**: 261-293.
- FROST, B.R, BARNES, C.G., COLLINS, W.J., ARCULUS, R.J, ELLIS, D.J, FROST, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* **40**: 261-293.
- FROST, C.D. & FROST, B.R. 1997. Reduced rapakivi -type granites: the tholeiite connection. *Geology* **25**: 647-650.
- GASTAL, M.C.P. 1987. *Petrologia do Maciço Granítico Musa, Sudeste do Pará*. 316 p. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós -Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).
- GASTAL, M.C.P. 1988. Magmatismo ácido -intermediário do Proterozóico Médio da região de Rio Maria, SE do Pará: discussão quanto à tipologia. In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. *Anais...* SBG. v. 3, p. 1147-1163.
- GROMET, L.P. & SILVER, L.T. 1983. Rare earth element distribution among minerals in a granodiorite and their petrogenetic implications. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**: 925-939.
- GROVES, D.I. & McCARTHY, T.S. 1978. Fractional crystallization and origin of tin deposits in granitoid. *Miner. Depos.*, **13**: 11-26.
- GUIMARÃES, F.V & DALL'AGNOL, R. 2004. Comportamento Magnético do Granito Paleoproterozóico Bannach, Província Mineral de Carajás-Pá. In: XV Seminário de Iniciação Científica da UFPa, Belém, 2004. *Boletim de Resumos*. p. 82-83.
- HAAPALA, I. & RÄMÖ, O.T. 1990. Petrogenesis of the Proterozoic rapakivi granites of Finland. In: H.J. STEIN & J.L. HANNAH (Editors), *Ore-bearing granite systems; Petrogenesis and mineralizing processes*. Geol. Soc. Am. pp. 275-286. (*Spec. Pap.*, 246).
- HALL, A. 1966. A petrogenetic study of Rosses Granite Complex, Donegal. *Journal Petrology*, **7**:202-220.
- HANSON, G.N. 1978. The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth and Planetary Science Letters*, **38**: 26-43.

- HANSON, G.N. 1989. An Approach to Trace Element Modeling Using a Simple Igneous System as an Example. In: B.R. LIPIN & G.A. McKAY (Editors), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. Washington, D.C., Mineralogical Society of America, pp. 79 -97. (*Reviews in Mineralogy*, **21**).
- HART, S.R., & ALDRICH, L.T. 1967. Fractionation of potassium/rubidium by amphiboles: Implications regarding mantle composition. *Science* **155**: 325-327.
- HENDERSON, P. 1984. *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, 510 p.
- HERTER, K.S., TAYLOR, S.R. 1959. Distribution of Ca, Sr and Ba in southern Norwegian Precambrian alkali feldspars. *Geochim. Cosmochim Acta* **17**: 286.
- HIBBARD, M.J. 1995. Mixed magma rocks. In: PETROGRAPHY to petrogenesis. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. p. 242-260.
- HINE, R., WILLIAMS, I.S., CHAPPELL, B.W., WHITE, A.J.R. 1978. Contrasts between I - and S-type granitoids of the Kosciusko batholith. *J. Geol. Soc. Australia*, **25**(4): 219-234.
- HIRATA, W.K., RIGON, J.C., KADEKARU, K., CORDEIRO, A.A.C., MEIRELES, E.A. 1982. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ. Belém, 1982, *anais...* SBG, v.1, p. 100-110.
- HORBE, M.A., HORBE, A.C., COSTI, H.T., TEIXEIRA, J.T. 1991. Geochemical characteristics of cryolite-tin-bearing granites from Pitinga Mine, northwestern Brazil - a review. *Journal of Geochemical Exploration*, **40**: 227-249.
- HORBE, M.A., HORBE, A.C., TEIXEIRA, J.T., COSTI, H.T. - 1985 - Granito Madeira: petrografia, petroquímica e mineralizações. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 2, Belém, 1985. *Anais...* Belém, SBG, v.3, p. 284 - 320.
- HUHN, S.R.B., SANTOS, A.B.S., AMARAL, A.F., LEDSHAM, E.J., GOUVEIA, J.L., MARTINS, L.B.P., MONTALVÃO, R.M.G., COSTA, V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL, 35, Belém. *Anais...* SBG. v. 3, p. 1438-1453.
- ISHIHARA, S. 1977. The magnetite -series and ilmenite -series granitic rocks. *Mining Geology*, **27**: 293-305.
- ISHIHARA, S. 1981. The granitoid series and mineralization. In: SKINNER, B. J. (ed.) *Economic Geology*, 75th anniversary volume, p.458-484.

- ISSLER, R.S. & LIMA, M.I.C. 1987. Amazonian Craton (Brazil): granitogenesis and its relation to geotectonic units. *Revista Brasileira de Geociências*, **17**: 426-441.
- JUNG, J. & BROUSSE, R. 1959. *Classification modale des roches éruptives*: utilisant les données fournies par le ordinateur de points. Paris, Masson & Cie. 122p.
- KING, P.L., CHAPPELL, B.W., ALLEN, C.M., WHITE, A.J.R. 2001. Are A-type granite the high-temperature felsic granite? Evidence from fractionated granite of the Wangrah Suite. *Australian Journal of Earth Science*, **48**: 501-514.
- KING, P.L., WHITE, A.J.R., CHAPPELL, B.W., ALLEN, C.M. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. *Journal of Petrology*, **38**: 371-391.
- LAFON, J.M., RODRIGUES, E., DUARTE, K.D. 1994. Le Granite Mata Surrão: Um magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes, de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). *Comptes Rendues de la Academie de Sciences de Paris*, **318**: 642-649. Serie 2.
- LA ROCHE, H., LETERRIER, J., GRANDCLAUDE, P., MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plútonic rocks using R1 R2- diagram and major-element analyses - its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.* **29**: 183-210.
- LEITE, A.A.S. 1995. *Geologia e geoquímica do maciço granítico Arqueano Xinguara – sudeste do Estado do Pará*. 201p. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).
- LEITE, A.A.S. 2001. *Geoquímica, petrogênese e evolução Estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. 330p. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Tese de Doutorado).
- LEITE, A.A.S., DALL'AGNOL, R., MACAMBIRA, M.J.B., ALTHOFF, F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34** (4): 447-458.

- LE MAITRE, R.W. 2002. *A classification of igneous rocks and glossary of terms* . 2nd Edition , London, 193 p.
- LOISELLE, M.C. & WONES, D.R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol. Soc. Am. Abstr. Prog.*, **11**: 468.
- MACAMBIRA, M.J.B. 1992. *Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans l'Amazonie du sud -est; exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajas, Brésil*. 212 p. Montpellier, Université Montpellier II, France. (Tese de Doutorado).
- MACHADO, N., LINDENMAYER, Z., KROGH, T.E., LINDENMAYER, D. 1991. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**: 329-354.
- MAGALHÃES, M.S. 1991. *Minerais opacos e suscetibilidade magnética de granitóides da Amazônia Oriental: Implicações Petrológicas*. 274 p. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Pós -Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).
- MAGALHÃES, M.S & DALL'AGNOL, R. 1992. Estudos de minerais opacos e suscetibilidade magnética nos Granitos Musa e Jamon (Região de Rio Maria - SE do Pará) e suas implicações petrológicas. *Rev. Bras. Geoc.*, **22**: 184-197.
- MARRE, J. 1982. *Methodes d'analyse structural des granitoids*. Bureau dès Recherches Géologiques et Minières, 128p.(Manuels & Methodes, 3)
- MARRE, J. - 1986- *The Structural Analysis of Granitic Rocks*. Amsterdam. Elsevier,123p.
- MEDEIROS, H., GASTAL, M.C.P., DALL'AGNOL, R., SOUZA, Z.S. 1987. *Petrologia da Porção leste do Maciço Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará*. Belém. 110 p. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Pós -Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).
- MONTALVÃO, R.M.G., BEZERRA, P.E. L., PRADO, P., FERNANDES, C.A.C., SILVA, G.H., BRIM, R.J.P. 1982. Características petrográficas e geoquímicas do Granito Redenção e suas possibilidades metalogenéticas. In: CONG. BRAS. GEOL., 32, Salvador, 1982, *anais...* SBG, vol. 2, p. 520 - 548.

- NEVES, S.P. & MARIANO, G. 1997. High - K Calc- Alkalic Plútons in Northeast Brazil: Origin of the Biotite Diorite/ Quartz Monzonite to Granite Association and Implications for the Evolution of the Borborema Province. *International geology Review* **39**: 621-638.
- OLIVEIRA, D.C. 1998. *Petrografia, suscetibilidade magnética e minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Redenção, sudeste do Estado do Pará*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 68p. (Trabalho de Conclusão de Curso)
- OLIVEIRA, D.C. 2001. *Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. 207 p. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).
- OLIVEIRA, D.C. 2003. *Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia (Exame de qualificação).
- OLIVEIRA, D.C., DALL'AGNOL. R., ALMEIDA. J.A.C. 2004. Zoneamento dos Corpos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., Araxá, 2004. *Anais*. SBG. CD-ROM.
- OLIVEIRA, D.C., DALL'AGNOL. R., BARROS. C.E.M, FIGUEIREDO. M.A.B.M. 2002. Petrologia magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. In: KLEIN, E. L., VASQUES, M. L., ROSA-COSTA, L. T. (Eds.) *Contribuições Geologia da Amazônia, Belém*, SBG-NO. v. **3**, p. 115-132.
- OLIVERA, M.A. 2005. *Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Sanukitóide Arqueano Rio Maria e Rochas Máfica Associadas, Leste de Bannach*. 144 p. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).
- PEARCE, J.A, HARRIS, N.B.W, TINDLE, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrology*, **25**: 956-983.
- PIMENTEL, M.M. & MACHADO, N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 38, Camboriú, 1998. *Boletim de Resumos Expandidos*. SBG. p. 390-391.
- PITCHER, W.S. 1979. The nature, ascent and emplacement of granitic magmas. *Jour. Soc. London*, **136**: 627-662.

- PITCHER, W.S. 1982. Granite type and tectonic environment. In: HSU, K. Ed. *Mountain Building Processes*. London, Academic Press, 19-40.
- PITCHER, W.S. 1983. Granite: typology, geological environment and melting relationships. In: ATHERTON, M. P. & GRIBBLE, C. D. (Ed). *Migmatites, Melting and Metamorphism*. Cheshire, Shiva Publishing Ltd. P. 19-40.
- PITCHER, W.S. 1987. Granites and yet more granites forty years on. *Geol. Rundsch*, **76**: 51-79.
- PITCHER, W.S. & BERGER, A.R. 1972. The controls of contact metamorphism. In: W.S. PITCHER & A.R. BEGER (Editors), *The geology of Donegal: a study of granite emplacement and unroofing*. New York, John Wiley & Sons. pp. 302-327.
- RAGLAND, P.C., 1989. *Basic analytical Petrology*. **2**. New York, Oxford University Press.
- RAJESH, H.M. 2000. Characterization and origin of a compositionally zoned aluminous A -type granite from South India. *Geol. Mag.* **137** (3): 291-318.
- RÄMÖ, O.T. 1991. Petrogenesis of the proterozoic rapakivi granites and related basic rocks of southeastern Fennoscandia: Nd and Pb isotopic and general geochemical constraints. *Geological Survey of Finland* **355**: 161.
- RÄMÖ, O.T. & HAAPALA, I. 1995. One hundred years of rapakivi granite. *Mineralium Petrology*, **52**: 129-185.
- RHODES, J.M. 1969. On the chemistry of potassium feldspars in granite rocks. *Chemical Geol.* **4**: 373.
- RIVALENTI, G., MAZZUCHELLI, M., GIRARDI, V.A.V., CAVAZZINI, G., FINATTI, C., BARBIERI, M.A., TEIXEIRA, W. 1998. Petrogenesis of the Paleoproterozoic basaltic-andesite-rhyolite dyke association in the Carajás region, Amazonian craton. *Lithos* **43**: 235-265.
- RODRIGUES, E.M.S., LAFON, J.M., SCHELLER, T. 1992. Geocronologia Pb -Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. In: CONG. BRAS. GEOL., 37., São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos*. SBG. v. 2, p. 183-184.
- ROLANDO, A.A.P. & MACAMBIRA, M.J.B. 2002. Geocronologia dos granitóides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 41., João Pessoa, 2002. *anais...* SBG. p. 525.

- ROLANDO, A.P. & MACAMBIRA, M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4, Salvador. *Expanded Abstracts*, Salvador: CD-ROM.
- ROLLINSON, H., 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*, Zimbabwe, pp. 1-344.
- SAWKA, W.N. 1988. REE and trace element variations in accessory minerals and hornblende from the strongly zoned McMurry Meadows pluton, California. *Trans. Royal. Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, **79**: 157-168.
- SAWKA, W.N., CHAPPELL, B.W., NORRISH, K. 1984. Light -rare-earth zoning in sphene and allanite during granitoid fractionation. *Geology*, **12**: 131-134.
- SEN, N., NOCKOLDS, S.R., ALLEN, R. 1959. Trace elements in minerals from rocks of the southern Californian batholith. *Contrib. Mineral. Petrol., Acta*, **16**: 58-78.
- SHAND, S.J. - 1951 - *Eruptive Rocks*. New York, John Wiley & Sons. 488p.
- SHAW, D.M. 1970. Trace element fractionation during anatexis. *Geochemical et Cosmochemica Acta*, **34**: 237-243.
- SILVA, G.G., LIMA, M.I.C., ANDRADE, A.R.F., ISSLER, R.S., GUIMARÃES, G. 1974. Folhas SB-22 Araguaia e parte da SC -22 Tocantins. Geologia. In: BRASIL -MME. Projeto RADAMBRASIL. *Folhas SC-22-Tocantins*. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, DNPM., p. 1-143 (Lev. Rec. Nat. 4).
- SILVA Jr., R. O. 1996. *Geologia, petrografia e geoquímica dos diques da região de Rio Maria, SE-PA*. 123p. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA Jr, R.O., DALL'AGNOL, R., OLIVEIRA, E.P. 1996. Geologia, geoquímica e geocronologia K -Ar dos diques da região de Rio Maria. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5, Belém. *Boletim de Resumos Expandidos...* SBG. p. 384-387.
- SMITH, J.V. 1974. *Feldspar Minerals*. New York, Springer Verlag, v. 2: Chemical and textural properties
- SMITH, J.V. & BROWN, W.L. 1988. *Feldspar Minerals*. 1. Berlin-Heidel-berg, Springer-Verlag. 828 p

- SOARES, C.M. 1996. *Estudo das relações de contato do granodiorito Rio Maria com os granitos Jamon e Musa e com diques do proterozóico*. 165p. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Dissertação de Mestrado).
- SOUZA, Z.S. 1994. *Geologia e petrogênese do "Greenstone Belt" Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-"greenstone" de Rio Maria, SE do Pará*. 624p. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. (Tese de Doutorado).
- SOUZA, Z.S., MEDEIROS, H., ALTHOFF, F.J., DALL'AGNOL, R. 1990. Geologia do terreno granito-greenstone Arqueano da região de Rio Maria, Sudeste do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 36., Natal, 1990. *Anais.. SBG*. v. 6, p. 2913-2928.
- STEPHENS, W. E. & HALLIDAY, A. N. 1979. Compositional variation in the Galaway plúton. In: ATHERTON, M. P. & TARNEY, J. (eds.): *Origin of Granite Batholiths: Geochemical Evidence*. Orpington, Shiva Publish. p. 9 - 17.
- STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth sci. Rev.*, **12**: 1-13.
- SWANSON, S.E. 1977. Relation of nucleation and crystal growth rates to the development of granitic textures. *Amer. Mineral.* **62** (9 e 10): 966-978.
- SYLVESTER, P.J. 1989. Post-collisional alkaline granites. *J. Geol.* **97**, 261-280.
- TAYLOR, S.R., 1965. The application of trace element data to problems in petrology. In: L.H. AHRENS, K. RANKAMA, S.K. RUNCON (Editors), *Physics and Chemistry of the Earth*. London. Pergamon Press. pp. v. 6, 133-213.
- TEIXEIRA, N.P. & DALL'AGNOL, R. 1991. Geologia e petrografia do maciço granítico Antonio Vicente, região de São Félix do Xingu/PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **3**: 45-73.
- TEIXEIRA, N.P., BETTENCOURT, J.S., MOURA, C.A.V., DALL'AGNOL, R., MACAMBIRA, E.M.B., 2002. Archean crustal source for Paleoproterozoic tin -mineralized granites in the Carajás province, SSE Pará, Brazil: Pb -Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. *Precambrian Research*. **119**: 257-275.

- TEIXEIRA, N.P., DALL'AGNOL, R., MAGALHÃES, M.S., 1994. Complexo granítico anorogênico Antonio Vicente: feições características de um granito especializado em estanho. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4. Belém, 1994, *Boletim de resumos expandidos*. pp. 391-393.
- TURNER, D.C. 1963. Ring-structures in the Sara-Fier Younger Granite complex, Northern Nigeria. *Jorn. Geol. Soc. Lond.* **119**: 345-366.
- TUTTLE, O.F. & BOWEN, N.L. 1958. *Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi₃O₈-KAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O*. [S. 1 : s.n.]. 153p. (Geological Society of America Memoir, **74**).
- VALE, A.G. & NEVES, P.N. 1994. O Granito Redenção: Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 38, Balneário Camboriú-SC. *Boletim de resumos expandidos*, SBG, vol. 1, p. 149 - 150.
- VANCE, J.A. 1965. Zoning in igneous plagioclase: patchy zoning. *J. Geol.* **73**: 636-651.
- VANCE, J. A. 1969. On Synneusis. *Contr. Mineral. Petrol.*, **24**: 7-29.
- WEDEPOHL, K.H., 1970. *Rubidium, Handbook of geochemistry*. Berlin, Springer -Verlag, pp. 37-B - 37-N.
- WEDEPOHL, K.H., 1972. *Barium, Handbook of geochemistry*. Berlin, Springer -Verlag, pp. 56-D - 56-N.
- WEDEPOHL, K.H., 1974. *Strontium, Handbook of geochemistry*. Berlin, Springer -Verlag, pp. 38-A - 38-N.
- WEDEPOHL, K.H., 1978. *Zirconium, Handbook of geochemistry*. Berlin, Springer -Verlag, pp. 40-E - 40-O.
- WERNICK, E. 2004. *Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica*. São Paulo-Unesp. 655p.
- WHALEN, J.W., CURRIE, K.L., CHAPPEL, B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.* **95**: 407-419.
- WHITE, A.J.R. 1979. Sources of granitic magmas. *Geol. Soc. Am. Abst.* **11**:539
- WHITE, A.J.R. & CHAPPELL, B.W. 1983. Granitoid types and their distribution in the Lachlan Fold, southeastern Australia. *Geol. Soc. Am. Memoir*, **159**: 21-34.

- WHITE, A.J.R., CLEMENS, J.D., HOLLOWAY, J.R., SILVER, L.T., CHAPPELL, B.W., WALL, V.J. 1986. S-type granites and their probable absence in southwestern North America. *Geology* **14**: 115-118.
- WINKLER, H.G.F. 1979. *Anatexis, formation of migmatites, and origin of granitic magmas, Petrogenesis of metamorphic rocks*. New York, Springer Verlag, pp. 283-339.
- WONES, D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, **74**: 744-749.

ANEXOS

Tabela An1- Composições modais das diferentes fácies do Granito Bannach

(Continua)

Fácies Mineral(%)	GC				BAMzG											
	ADR-136I	ADR-136H	ADR-237D	Média	ADR-26	ADR-74E	ADR-136C	ADR-78A	ADR-218	ADR-60B	ADR-21A	ADR-55H	ADR-67	ADR-23A	ADR-21B	Média
Quartzo	23.2	24.2	30.4	26.0	29.2	27.4	28.8	28.6	32.7	29.5	31.1	25.5	30.0	25.9	30.2	29.0
K-feldspato	13.2	16.0	24.3	17.8	20.8	22.0	24.8	24.6	20.3	26.5	22.0	28.6	23.7	28.7	25.5	24.2
Plagioclásio	23.3	25.8	30.0	26.4	32.9	36.7	32.4	34.0	35.1	31.8	35.4	33.6	35.6	36.4	38.1	34.5
Biotita	13.2	3.4	6.0	7.5	2.9	5.5	3.5	2.4	3.4	1.2	1.5	4.2	2.6	1.0	1.5	2.7
Anfíbólio	19.9	23.6	5.6	16.4	9.2	4.4	6.1	6.2	4.6	6.3	7.1	3.3	4.4	4.1	3.0	5.3
Clinopiroxênio	2.3	0.5	-	0.9	0.3	0.3	0.6	1.0	0.2	0.6	0.7	0.2	0.3	0.1	0.2	0.4
Opacos	4.0	5.1	2.4	3.8	3.2	1.9	3.5	1.3	2.7	3.5	1.6	0.9	1.1	0.5	0.6	1.9
Titanita	0.3	0.3	0.5	0.4	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	-	0.1	-	0.1
Allanita	0.2	0.2	0.3	0.2	0.5	1.1	-	0.3	0.8	-	-	-	-	-	-	0.2
Clorita	-	0.2	-	0.1	0.8	0.1	-	0.9	-	-	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3
Muscovita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorita	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
Albita intergranular	-	-	-	-	0.1	-	0.1	-	-	0.4	0.3	3.4	2.1	2.9	0.2	1.0
Acessórios (Ap+Zr)	0.4	0.5	0.5	0.5	-	0.1	0.0	0.4	-	-	0.1	-	0.2	0.1	0.3	0.1
Félsicos	59.7	66.0	84.7	70.2	83.0	86.1	86.1	87.2	88.1	88.2	88.8	91.1	91.4	93.9	94.1	88.7
Máficos	40.3	34.0	15.3	29.8	17.0	13.9	13.9	12.8	11.9	11.8	11.2	8.9	8.6	6.2	5.9	11.3
Fk + Pl	36.5	41.8	54.3	44.2	53.7	58.7	57.2	58.6	55.4	58.3	57.4	62.2	59.3	65.1	63.7	58.7
Q + Fk	36.4	40.2	54.7	43.8	50.0	49.4	53.6	53.2	53.0	56.0	53.1	54.1	53.7	54.6	55.8	53.2
Biotita + Clorita	13.2	3.6	6.0	7.6	3.7	5.6	0.0	3.3	0.0	0.0	1.6	4.4	2.8	1.3	1.9	3.0
Anfíbólio/Biotita	1.5	6.9	0.9	2.2	3.2	0.8	1.7	2.6	1.4	5.3	4.7	0.8	1.7	4.1	2.0	2.0
À 100%																
Quartzo	38.9	36.7	35.9	37.0	35.2	31.8	33.5	32.8	37.1	33.6	35.1	29.1	33.6	28.5	32.2	33.1
K-feldspato	22.1	24.2	28.7	25.4	25.1	25.6	28.8	28.2	23.0	30.2	24.9	32.6	26.5	31.5	27.2	27.6
Plagioclásio	39.0	39.1	35.4	37.6	39.7	42.6	37.7	39.0	39.8	36.2	40.0	38.3	39.9	40.0	40.6	39.3
Pl/Fk	1.8	1.6	1.2	1.5	1.6	1.7	1.3	1.4	1.7	1.2	1.6	1.2	1.5	1.3	1.5	1.4
Nº de pontos	2000	2000	3000	2333	2325	2050	1110	1897	2000	1200	1500	2600	2125	2125	2425	1942

Siglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfíbólio-monozogranito equigranular grosso; ABMzG – anfíbólio-biotita-monozogranito equigranular grosso;

BMzP – biotita-monozogranito porfirítico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoce;

LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fino.

Abreviações: Ap = Apatita, Zr = zircão, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Q = quartzo.

Tabela An1

(Continua)

Fácies	ABMzG										BMzP				
	ADR-55A	ADR-110A	ADR-98A	ADR-58	ADR-241	ADR-41B	ADR-55B	ADR-100A	ADR-136A	Média	ADR-45B	ADR-14E	ADR-41A	ADR-61	Média
Mineral(%)															
Quartzo	34.6	30.5	28.0	27.8	29.5	30.0	23.4	37.4	32.4	30.4	36.6	39.9	33.3	36.6	36.6
K-feldspato	22.8	25.1	27.4	29.5	30.8	31.5	32.7	24.9	33.4	28.7	31.8	28.6	26.3	33.6	30.1
Plagioclásio	29.8	32.8	36.1	32.9	33.7	33.7	39.7	33.6	31.2	33.6	22.3	21.8	33.6	26.6	26.1
Biotita	7.3	5.9	5.8	4.3	1.3	4.1	2.0	2.6	0.7	3.8	4.5	1.8	3.9	1.4	2.9
Anfibólio	1.3	2.8	0.8	2.1	2.6	Tr	1.4	Tr	1.6	1.4	-	-	-	-	-
Clinopiroxênio	Tr	Tr	0.3	-	Tr	Tr	Tr	Tr	-	Tr	-	-	-	-	-
Opacos	1.0	0.7	1.3	1.2	0.4	0.2	0.4	0.5	0.3	0.7	2.0	3.2	0.6	-	1.4
Titanita	1.7	-	0.1	-	-	-	-	0.1	-	0.2	0.2	1.5	0.6	-	0.6
Allanita	-	1.4	-	-	1.3	-	-	-	-	0.3	-	0.7	-	-	0.2
Clorita	0.3	0.1	0.2	-	0.3	0.3	0.4	0.8	0.1	0.3	2.2	1.5	0.6	1.7	1.5
Muscovita	0.0	0.5	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-
Fluorita	0.0	0.0	Tr	-	-	Tr	-	0.2	-	-	-	-	-	0.1	0.1
Albita intergranular	1.0	0.2	-	2.0	0.1	-	-	-	0.2	0.4	0.4	0.4	1.2	-	0.5
Acessórios (Ap+Zr)	0.2	0.0	0.1	0.3	-	-	-	-	-	0.1	-	0.4	-	-	<0,1
Félsicos	88.3	88.6	91.5	92.2	94.1	95.2	95.8	95.9	97.2	93.1	91.1	90.7	94.4	96.8	93.3
Máficos	11.7	10.9	8.6	7.8	5.9	4.6	4.2	4.1	2.7	6.9	8.9	9.3	5.6	3.1	6.7
Fk+ Pl	52.7	57.9	63.5	62.4	64.5	65.2	72.4	58.5	64.6	62.3	54.1	50.4	59.9	60.2	56.1
Q + Fk	57.4	55.6	55.4	57.3	60.3	61.5	56.1	62.3	65.8	59.1	68.4	68.5	59.6	70.2	66.7
Biotita + Clorita	7.6	6.0	6.0	4.3	1.6	4.4	2.4	3.4	0.8	4.0	6.7	3.3	4.5	3.1	4.4
Anfibólio/Biotita	0.2	0.5	0.1	0.5	2.0	-	0.7	-	2.3	0.4	-	-	-	-	-
À 100%															
Quartzo	39.6	34.5	30.6	30.8	31.4	31.5	24.4	39.0	33.4	32.8	40.4	44.2	35.7	37.8	39.5
K-feldspato	26.2	28.4	30.0	32.7	32.8	33.1	34.1	26.0	34.4	30.9	35.1	31.7	28.2	34.7	32.4
Plagioclásio	34.2	37.1	39.4	36.5	35.8	35.4	41.4	35.0	32.2	36.2	24.6	24.1	36.0	27.5	28.1
Pl/Fk	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	0.9	1.2	0.7	0.8	1.3	0.8	0.9
Nº de pontos	2125	3100	2275	2125	2225	1500	1500	2050	1500	2044	1500	1712	1925	2225	1841

Síglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso; ABMzG – anfibólio-biotita-monzogranito equigranular grosso;

BMzP – biotita-monzogranito porfirítico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoce;

LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fino.

Abreviações: Ap = Apatita, Zr = zircão, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Q = quartzo.

Tabela An1

(Continua)

Fácies Mineral(%)	LMzMp				LMzG					LMzF					
	ADR-68B	ADR-19C	ADR-27C	Média	ADR-28B	ADR-32B	ADR-18	ADR-27D	Média	ADR-69	ADR-59c	ADR-37	ADR-35B	ADR-35a	Média
Quartzo	36.2	37.5	32.1	35.2	32.2	22.0	35.8	33.8	31.0	40.1	44.1	41.1	40.5	41.5	41.5
K-feldspato	29.3	36.5	42.0	35.6	32.4	34.7	41.2	36.9	36.3	31.9	28.4	28.1	28.4	32.8	29.9
Plagioclásio	29.5	22.8	23.5	25.2	32.5	42.0	20.5	28.0	30.8	22.8	22.3	27.0	27.3	22.3	24.3
Biotita	1.2	1.0	1.2	1.1	0.8	0.1	-	0.5	0.3	2.0	1.1	2.4	0.3	0.1	1.2
Anfíbólio	1.5	1.0	0.5	1.0	0.8	0.1	-	-	0.2	-	0.1	-	-	-	-
Clinopiroxênio	0.6	Tr	-	0.2	Tr	Tr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Opacos	0.7	0.2	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3	-	0.2	-	-	-	-	0.2	<0,1
Titanita	0.1	0.2	-	0.1	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Allanita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorita	0.1	0.3	1.5	0.6	1.1	0.7	1.0	-	0.7	3.0	3.5	0.8	3.3	1.9	2.5
Muscovita	-	0.1	-	0.1	-	-	-	-	-	-	0.5	0.2	-	-	0.1
Fluorita	Tr	Tr	Tr	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
Albita intergranular	0.3	0.4	0.5	0.4	-	-	1.2	0.7	0.5	0.2	-	0.4	0.4	1.2	0.5
Acessórios (Ap+Zr)	-	0.1	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	<0,1
Félsicos	95.3	97.2	98.1	96.4	97.1	98.7	98.7	99.4	98.5	95.0	94.8	96.6	96.6	97.8	96.3
Máficos	4.7	2.8	1.9	3.6	2.9	1.3	1.3	0.5	1.5	5.0	5.2	3.4	3.4	2.2	3.7
Fk + Pl	58.8	59.3	65.5	60.8	64.9	76.7	61.7	64.9	67.0	54.7	50.7	55.1	55.7	55.1	54.3
Q + Fk	65.5	74.0	74.1	70.8	64.6	56.7	77.0	70.7	67.3	72.0	72.5	69.2	68.8	74.3	71.4
Biotita + Clorita	1.3	1.2	1.7	1.7	1.9	0.8	-	-	1.3	5.0	4.6	3.2	3.6	2.0	3.7
Anfíbólio/Biotita	-	2.0	-	0.9	1.0	1.0	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-
À 100%															
Quartzo	38.1	38.7	32.9	36.7	33.2	22.3	36.7	34.2	31.6	42.3	46.5	42.7	42.1	43.0	43.3
K-feldspato	30.8	37.7	43.0	37.2	33.4	35.1	42.3	37.4	37.0	33.6	30.0	29.2	29.5	34.0	31.3
Plagioclásio	31.1	23.6	24.1	26.1	33.5	42.6	21.0	28.4	31.4	24.1	23.5	28.1	28.4	23.1	25.4
Pl/Fk	1.0	0.6	0.6	0.7	1.0	1.2	0.5	0.8	0.8	0.7	0.8	1.0	1.0	0.7	0.8
Nº de pontos	2000	1500	1500	1667	1500	2075	1200	2000	1694	1500	1500	1500	2625	1500	1725

Siglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfíbólio-monozogranito equigranular grosso; ABMzG – anfíbólio-biotita-monozogranito equigranular grosso;

BMzP – biotita-monozogranito porfirítico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoce;

LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fino.

Abreviações: Ap = Apatita, Zr = zircão, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Q = quartzo.

Tabela An1

(Conclusão)

Fácies Mineral(%)	LMzMt														
	ADR-54	ADR-12	ADR-46	ADR-154	ADR-119	ADR-23B	ADR-52	ADR-130A	ADR-140	ADR-15	ADR-63	ADR-143	ADR-103	ADR-205	Média
Quartzo	30.4	37.0	34.1	37.3	33.4	35.8	34.0	34.6	37.4	35.7	34.0	37.1	35.6	34.0	35.1
K-feldspato	43.9	32.1	37.0	31.4	33.0	34.0	41.8	31.1	36.0	34.6	38.0	27.5	29.1	31.1	34.6
Plagioclásio	16.7	23.0	22.6	25.8	29.7	27.0	19.6	30.3	22.7	26.9	24.7	32.2	32.7	30.9	25.7
Biotita	3.1	2.9	4.0	2.6	1.8	0.6	1.6	2.9	1.2	1.7	1.8	-	0.8	-	1.8
Anfibólio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clinopiroxênio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Opacos	0.4	0.1	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Titanita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Allanita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorita	0.6	1.3	0.2	1.0	0.9	2.6	1.5	-	1.5	0.8	0.4	2.2	1.4	1.6	1.1
Muscovita	-	0.7	0.3	0.9	0.3	-	-	0.5	0.2	-	-	1.0	0.1	1.9	0.4
Fluorita	Tr	0.1	0.2	0.2	-	-	Tr	-	0.2	-	0.1	-	0.2	0.2	0.1
Albita intergranular	4.6	2.8	1.6	1.0	-	-	1.5	0.4	0.8	-	1.0	-	0.1	0.3	1.0
Acessórios (Ap+Zr)	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Félsicos	95.6	94.9	95.3	95.5	96.1	96.8	96.9	96.1	96.9	97.2	97.7	96.8	97.5	96.3	96.4
Máficos	4.4	5.1	4.7	4.5	3.9	3.2	3.1	3.9	3.1	2.8	2.3	3.2	2.5	3.7	3.6
Fk+ Pl	60.6	55.1	59.6	57.2	62.7	61.0	61.4	61.4	58.7	61.5	62.7	59.3	61.6	61.9	60.3
Q + Fk	74.3	69.1	71.1	68.7	66.4	69.8	75.8	65.7	73.4	70.3	72.0	64.2	64.5	65.0	69.6
Biot ita+ Clorita	3.7	4.2	4.2	3.6	2.7	3.2	3.1	2.9	2.7	2.5	2.2	2.2	2.2	1.6	2.9
Anfibólio/Biotita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
À 100%															
Quartzo	33.4	40.2	36.4	39.5	34.8	37.0	35.6	36.0	38.9	36.7	35.2	38.5	36.6	35.5	36.8
K-feldspato	48.2	34.9	39.5	33.2	34.3	35.1	43.8	32.4	37.5	35.6	39.3	28.1	29.7	32.3	36.2
Plagioclásio	18.4	25.0	24.1	27.3	30.9	27.9	20.5	31.6	23.6	27.7	25.5	33.4	33.6	32.2	27.0
Pl/Fk	0.4	0.7	0.6	0.8	0.9	0.8	0.5	1.0	0.6	0.8	0.7	1.2	1.1	1.0	0.7
Nº de pontos	1500	1500	1500	1500	1500	1500	2500	1500	1500	1500	2000	1500	1500	1500	1607

Siglas: GC – Granito Cumulático; BAMzG - biotita-anfibólio-monozogranito equigranular grosso; ABMzG – anfibólio-biotita-monozogranito equigranular grosso;

BMzP – biotita-monozogranito porfirítico; LMzG – leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp – leucomonzogranito equigranular médio precoce;

LMzMt – leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF – leucomonzogranito equigranular fino.

Abreviações: Ap = Apatita, Zr = zircão, Fk = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Q = quartzo.