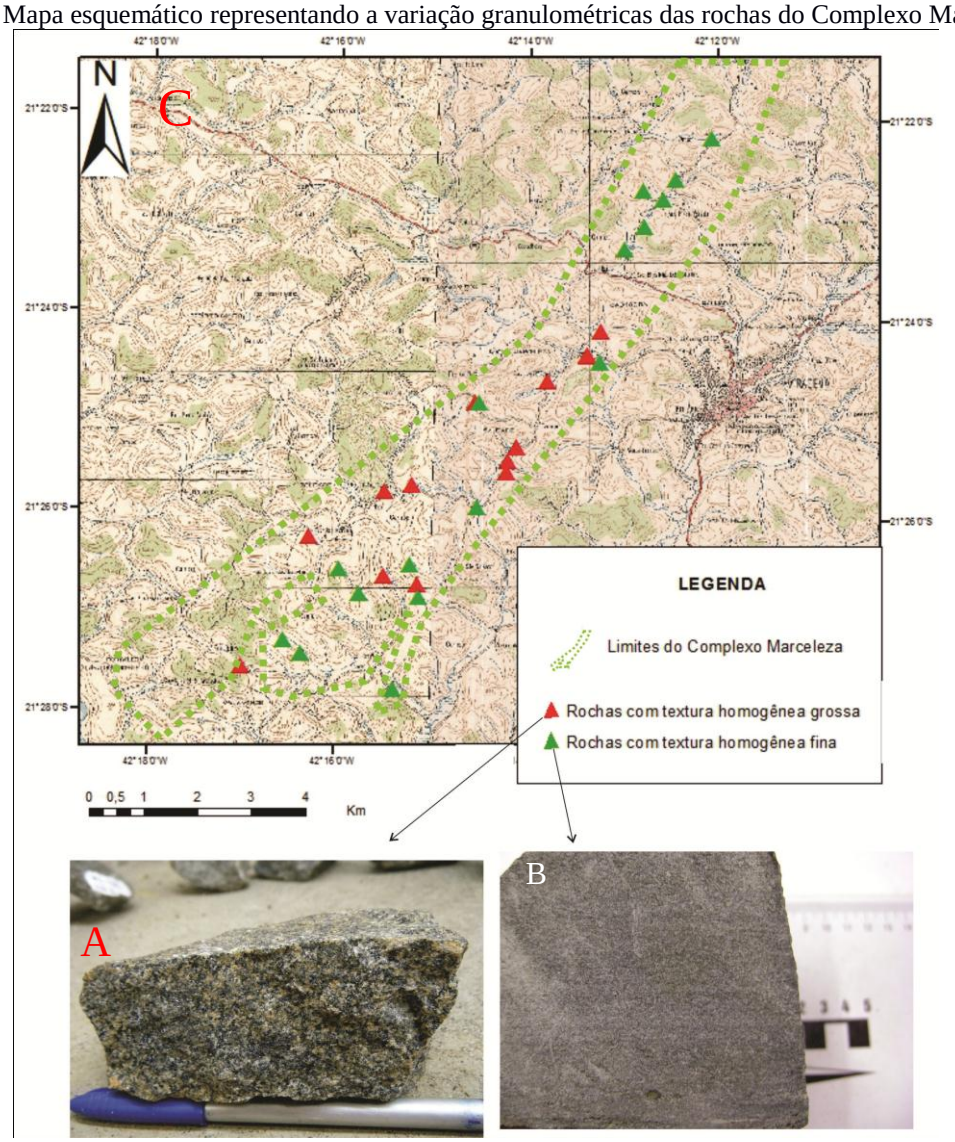
As rochas desta unidade apresentam coloração cinza escuro a verde, granulação fina a média, texturas homogêneas, predominantemente equigranulares, de aspecto maciço com foliação ausente ou fracamente desenvolvida. Geograficamente as rochas mais finas ocorrem na porção norte e sul do corpo, com aumento na granulometria em direção a parte leste e central do corpo mapeado, figura 4.2.2.2.4.

A composição mineralógica destas rochas é dada por alternadas proporções de plagioclásio, ortopiroxênio, hornblenda, ± clinopiroxênio, biotita, quartzo e raros grãos de k-feldspato. Localmente ocorrem cristais tabulares (de até 4 cm) de k-feldspato e plagioclásio, disseminados na rocha, frequentemente associados à ocorrência dos bolsões e injeções graníticas (Figura 4.2.2.2.3). Como minerais acessórios são descritos zircão, apatita e opacos.

Figura 4.5 - Mapa esquemático representando a variação granulométricas das rochas do Complexo Marceleza

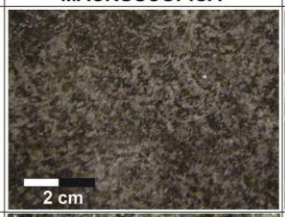
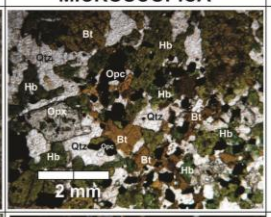
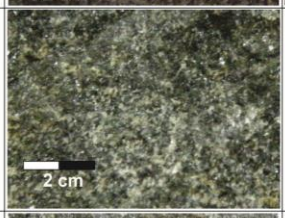
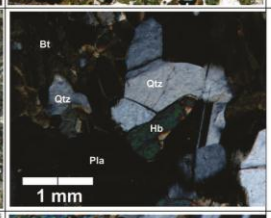
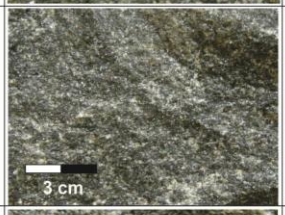
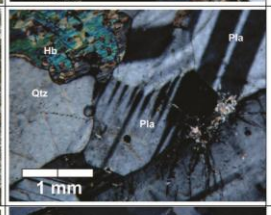
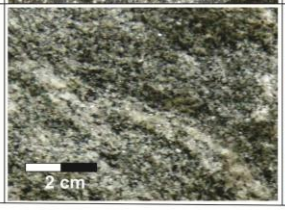
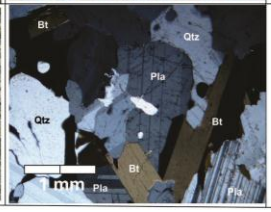


Legenda : A) Rocha de textura grossa, B) Rocha de textura fina; C) Mapa esquemático da variação granulométrica.
Fonte : O AUTOR, 2015.

Através destas análises modais, as rochas do Complexo Marceleza foram classificadas como básicas e intermediárias, distribuídas por uma ampla variação composicional desde metagabros, metagabrodioriticos, tonalito-enderbíticos à rochas deficitárias em sílica, como metamonzonitos e seus variantes gabróicos e dioríticos. Estas classificações são corroboradas pelos dados litogeoquímicos que serão detalhados no capítulo seguinte (Capítulo 5).

Estes litotipos foram ainda subdivididos em quatro grupos segundo os de teores de K_2O *versus* sílica, no diagrama de Peccerillo & Taylor, (1976) (figura 4.2.2.2.5). O Complexo Marceleza é representado por um grupo de rochas de médio potássio - MK, dois grupos de rochas de alto potássio - AK1 e AK2 e o último grupo mais enriquecido em álcalis, denominado transicional shoshonítico - SH.

Figura 4.6 - Ilustração esquemática da distribuição dos grupos geoquímicos por Peccerillo & Taylor, 1976, classificação geoquímica segundo Cox et al., 1979; Middlemost 1974, 1985, fotos macroscópicas e microscópicas e classificação petrográfica modal (Streckeisen, 1976)

GRUPO GEOQUÍMICO* (Peccerillo & Taylor, 1976)	CLASSIFICAÇÃO DA ROCHA* (Cox et al., 1979; Middlemost, 1974, 1985)	AMOSTRA MACROSCÓPICA	AMOSTRA MICROSCÓPICA	PARAGÊNESE PETROGRÁFICA / MODAL (STRECKEISEN, 1987)
Cálcio-alcalino de médio Potássio (MK)	Gabro			**Gabros:** Plagioclásio 39%; Hiperistênio 21%; Biotita 13%; Hornblenda 12%; Diopsídio 6%; Quartzo 4%; Opacos e acessórios 3%;
Cálcio-alcalino de alto Potássio (AK1)	Gabro-diorito			**Gabros-dioritos** Plagioclásio 35%; Hiperistênio 17%; Biotita 14%; Hornblenda 13%; Diopsídio 11%; Quartzo 5%; K-feldspato 3%; Opacos e acessórios 2%;
Cálcio-alcalino de alto Potássio (AK2)	Monzodiorito			**Monzodioritos** Plagioclásio 29%; Hiperistênio 15%; Hornblenda 15%; Biotita 13%; K-feldspato 11%; Diopsídio 6%; Quartzo 6%; Opacos e acessórios 5%;
Shoshonítico (SH)	Tonalito			**Tonalitos** Plagioclásio 36%; Quartzo 21%; Hornblenda 12%; Biotita 11%; Hiperistênio 8%; Diopsídio 6%; K-feldspato 4%; Opacos e acessórios 2%;

Fonte : O AUTOR, 2015.

Analisando microscopicamente as rochas de cada subdivisão proposta, é observado um pequeno incremento na quantidade de minerais máficos nos grupos MK e AK1. Também nota-se a ausência de K-feldspato nas rochas do grupo MK, assim como a maior proporção deste mesmo mineral nas rochas do grupo AK2.

Plagioclásio, hiperstênio, hornblenda e quartzo são minerais comuns a todos os grupos, estando o clinopiroxênio ausente em algumas rochas dos grupos AK1 e Ak2. Texturalmente as rochas são granoblásticas, com granulometria variando entre fina e média nos grupos mais básicos MK e AK1 e média à grossa para os grupos intermediários AK2 e SH.

As rochas do grupo MK correspondem unicamente a termos gabróicos. Microscopicamente apresentam texturas granoblásticas heterogranulares, granulação variando entre fina e média e mineralogia principal composta em média por ~39% de plagioclásio, ~21% de hiperstênio, ~12% de hornblenda, ~12% de biotita, ~6% de diopsídio e ~4% de quartzo. O plagioclásio apresenta majoritariamente formas tabulares subédricas com comprimento de até 0,6 mm. Quando esta compõem a matriz da rocha, os grãos possuem tamanhos inferiores a 0,15 mm com formas anedrais.

A hornblenda possui coloração verde oliva e formas xenomórficas, aparentando ser minerais da fase primária devido ao estado de equilibro com os piroxênios. Quando alteradas mostram nucleação de biotita.

O diopsídio possui formas anedrais e comumente estão associados à hornblenda. Já o hiperstênio ocorre em formas anedrais e subédricas, com tamanhos médios de 0,20 mm. Os cristais de biotita apresentam coloração amarelada a castanho, com formatos anedrais e raros grãos de formas lamelares, com tamanhos não superiores a 0,25 mm. Com frequência esses minerais são encontrados como alterações dentro da hornblenda.

O quartzo por sua vez ocorre em formatos anédricos, com extinção ondulante e tamanhos inferiores a 0,10 mm. Os minerais acessórios presentes na rocha são representados por zircão, apatita e opacos (com frequência crescendo no interior dos grãos de hornblenda) em proporções inferiores a 2%.

O grupo AK1 é composto por gabros, dioritos, gabrodioritos e monzogabros. Apresentam texturas granoblásticas e granulação média à grossa. As rochas são compostas por proporções variáveis de ~35% plagioclásio com formas anédricas à subédricas, presença de geminações calsbar e Polissintática estando localmente alterado para sericita em suas bordas.

O hiperstênio ocorre em média com uma quantidade de ~17%, possuem comprimentos de até 0,4 mm com formas subédricas e tamanhos inferiores a 0,15 mm compõem a matriz destas rochas em formas anédricas. A hornblenda ocorre em uma proporção de ~13%, são comumente encontradas substituindo os cristais de piroxênio ou associadas a biotita. A biotita aparece em média de ~13%, possuem coloração castanho escuro, formatos lamelares e foliação incipiente. São encontradas junto a hornblenda e como alterações coroníticas no piroxênio.

O diopsídio não é comum a todos os termos descritos e quando presente ocorre em média com uma proporção de ~11%, estando frequentemente bordejado por hornblenda e biotita. O quartzo ocorre em quantidade de aproximadamente 5%, são majoritariamente anedrais compondo a matriz da rocha.

Já o K-feldspato (majoritariamente pertítico) representam ~3%. da rocha, estando presente apenas nos termos intermediários do grupo (monzogabros). Grãos de zircão, apatita e opacos ocorrem em proporções inferiores a 2% e representam os minerais acessórios.

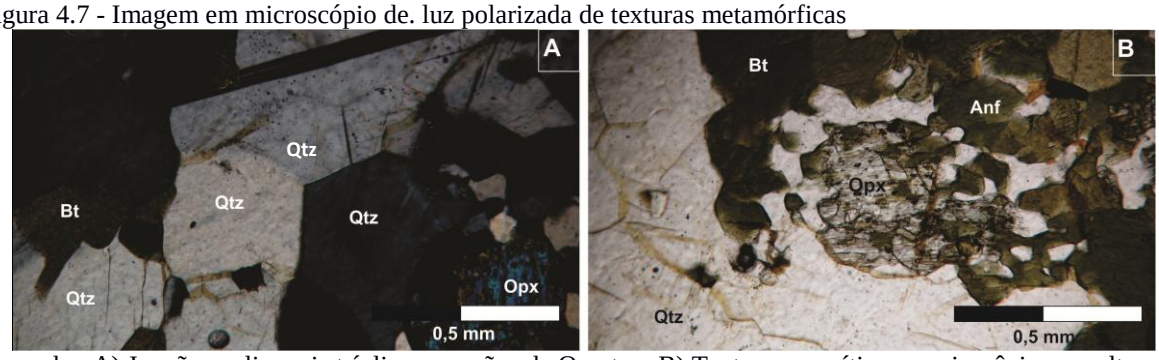
As análises microscópicas do grupo AK2 (gabros, dioritos, monzodioritos e monzonitos) mostram que estas rochas são granoblásticas, de granulação média com composição média ~35% de plagioclásio, ~15% de hiperstênio, ~15% de hornblenda, ~13% de biotita, ~11% de K-feldspato, ~08% de quartzo e ~06% de diopsídio.

O plagioclásio ocorre em formas subédricas à anédricas, com tamanhos variando de 0,4 a 0,8 mm e geminações polissintéticas. O K-feldspato apresenta mesmo tamanho e forma, com geminações do tipo calsbar. Hornblenda ocorre em tamanhos de 0,5 a 0,7 mm, com forma anedral à lamelar.

Os orto e clino piroxênios ocorrem como grãos fragmentados de formato anedral, com tamanhos inferiores a 0,4 mm, com bordas sendo transformadas em hornblenda e biotita (figura 4.2.2.2.6).

O Quartzo possui tamanhos que variam de 0,1 à 0,5 mm em formas anedrais, sugerindo relação com a última fase de cristalização da rocha. Este mineral apresenta frequentes fraturas e indícios de metamorfismo, marcado pela presença de extinção ondulante e junções poligonais tríplice nos grãos (figura 4.2.2.2.6). Biotita ocorre na cor marrom escuro, em forma lamelar. Zircão e minerais opacos ocorrem como acessórios.

Figura 4.7 - Imagem em microscópio de. luz polarizada de texturas metamórficas



Legenda : A) Junções poligonais tríplice nos grãos de Quartzo; B) Textura coronítica nos piroxênios envoltos por cristais de hornblenda estes por sua vez alterando para biotita.

Fonte : O AUTOR, 2015.

O grupo SH, formado por monzodioritos e tonalitos enderbíticos, apresenta composição média de ~36% plagioclásio, ~21% quartzo, ~12% hornblenda, ~11% biotita, ~08% hiperstênio, ~06% diopsídio e ~4% K-feldspato pertítico. Ao microscópico a rocha apresenta granulação média à grossa com grãos equigranulares de dimensões entre 0,1 a 2 mm.

O plagioclásio ocorre de forma subédrica a anédrica, com geminações polissintéticas. Já o K-feldspato é raro e ocorre como pertita. O quartzo foi formado no final da cristalização, ocorrendo majoritariamente na forma anedral.

O hiperstênio e o diopsídio são majoritariamente anedrais mostram bordas de alteração marcadas pelo crescimento de hornblenda e biotita. Estes minerais (hornblenda e biotita) também ocorrem disseminados na rocha aparentando formação primária.A biotita apresenta coloração castanha escura com formas lamelares. Zircão e opacos ocorrem como minerais acessórios disseminados na rocha.

A textura coronítica presente nos piroxênios (figura 4.2.2.2.6), envoltos por cristais de hornblenda e a subsequente alteração da mesma hornblenda por biotita sugerem envolvimento de processos retrometamórficos.

Já a paragênese principal desta unidade é dada pela coexistência plagioclásio + piroxênios (orto e ± clino) + Hornblenda + Quartzo ± K-feldspato, indicando pico metamórfico para fácies granulito, sob condições mínimas de temperatura entre 700 a 800ºC

.

5 GEOQUÍMICA

5.1 Introdução

Durante o desenvolvimento da pesquisa foram realizadas análises litogeoquímicas em rocha total dos granitóides e metabasitos do Complexo Marceleza visando a identificação de distintos grupos e/ou Suítes magmáticas, bem como a realização de estudos de caracterização de ambientação tectônica destes grupos geoquímicos.

Os dados geoquímicos apresentados reportam análises de 37 amostras selecionadas através do mapeamento geológico detalhado e da petrografia, incluindo rochas gabro-dioríticas com ortopiroxênio e clinopiroxênio (noríticas) a rochas enderbíticas-charnockíticas, distribuídas ao longo da faixa onde aflora o denominado Complexo Marceleza (figura 5.1.1).

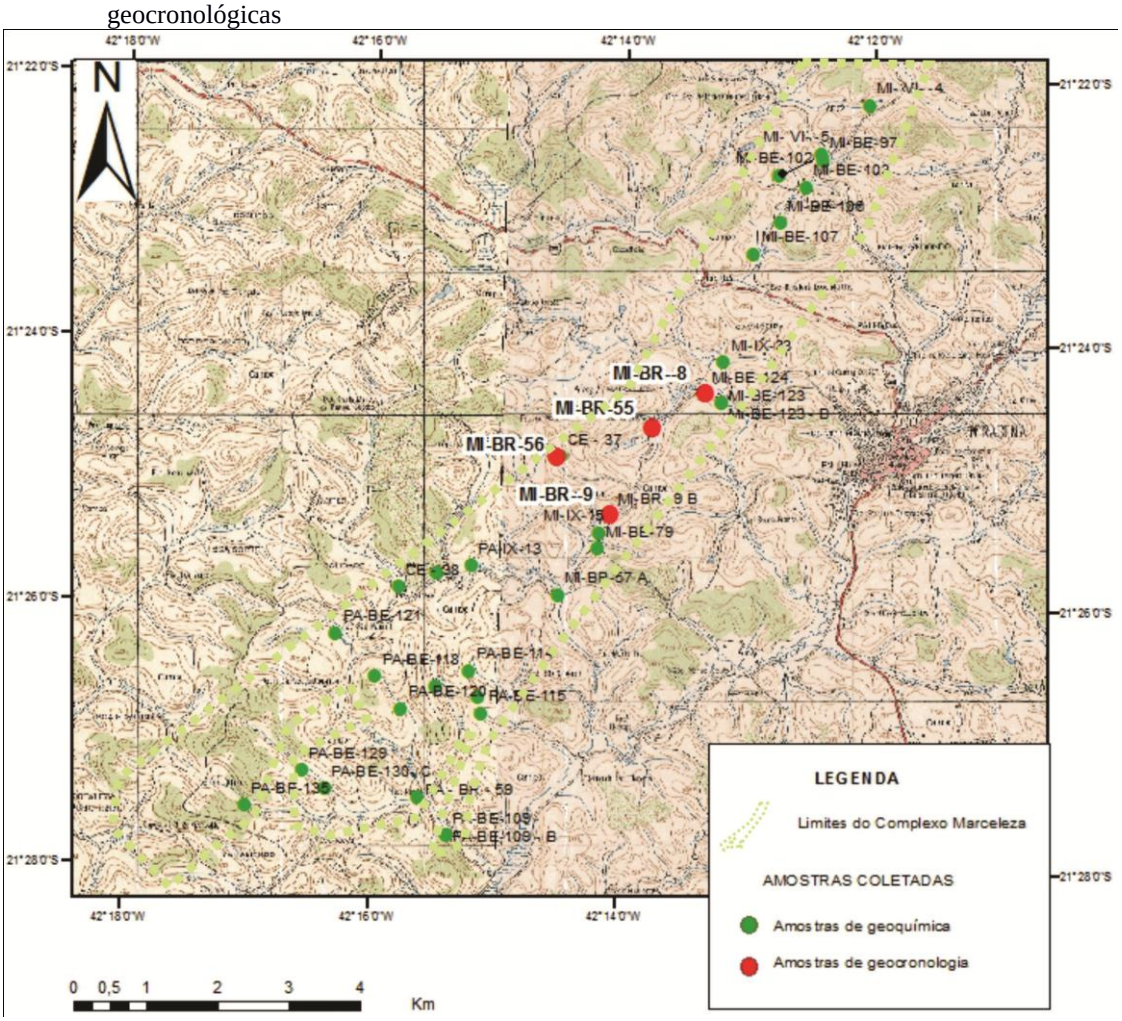
As amostras coletadas foram analisadas pelo método de ICP-MS de rocha total (código Litho4, laboratório ActLabs, canadense). Maiores detalhes metodológicos foram apresentados no item 2.1 do capítulo 2 da dissertação.

Os dados litoquímicos dos grupos de rochas do Complexo foram analisados comparativamente em diagramas classificatórios, em diagramas binários do Tipo Harker a partir do comportamento dos elementos maiores, traços, incluindo os elementos terras raras (ETR), em aranhogramas incluindo os elementos terras raras normalizados por condrito e finalmente em diagramas tectônicos.

Com base neste estudo apresentado foi sugerida uma proposta de subdivisão das rochas analisadas em quatro grupos (Suítes) geoquímicos, detalhados a seguir.

Diversos diagramas litogeoquímicos, além dos diagramas binários do tipo Harker foram utilizados para separar os grupos geoquímicos propostos. A seguir alguns exemplos que melhor caracterizam esta proposta.

Figura 5.1 - Mapa de distribuição das rochas do Complexo Marceleza coletadas para análises geoquímicas e geocronológicas

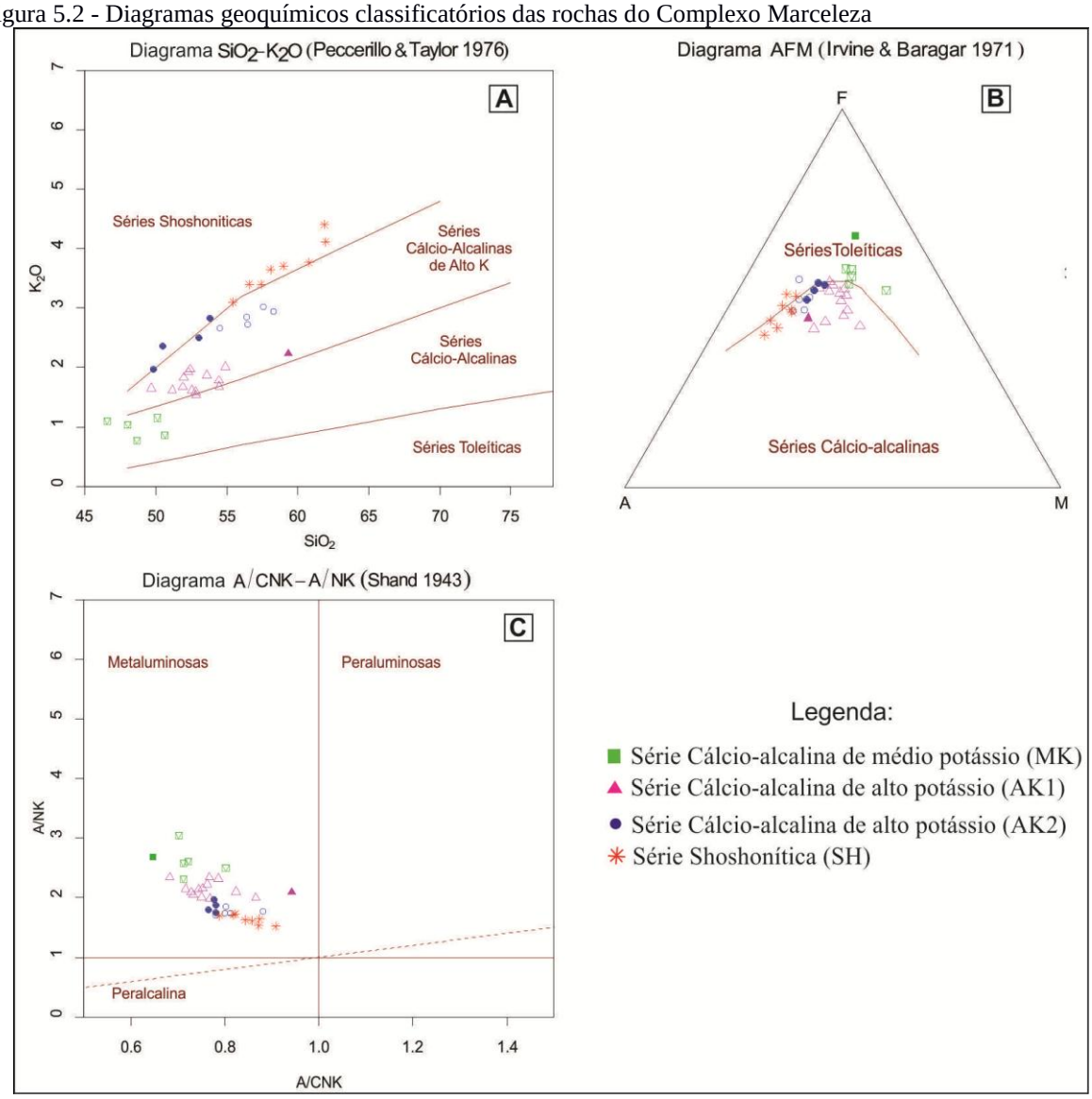


Fonte: O AUTOR, 2015.

5.2 Classificação litogeoquímica

No diagrama K_2O *versus* sílica (PECCERILLO & TAYLOR, 1976), bem como nos outros subsequentes foram identificados, à princípio, quatro grupos geoquímicos dentre as amostras analisadas: três grupos de rochas com características da série cálcio-alcalina e um grupo com características transicionais à alcalinas (figura 5.2.1).

Figura 5.2 - Diagramas geoquímicos classificatórios das rochas do Complexo Marceleza



Legenda : (A) - álcalis *versus* sílica (Peccerillo & Taylor, 1976); (B) - AFM (Irvine & Baragar, 1971); (C) - TAS (Cox et al., 1979).
Fonte: O AUTOR, 2015.

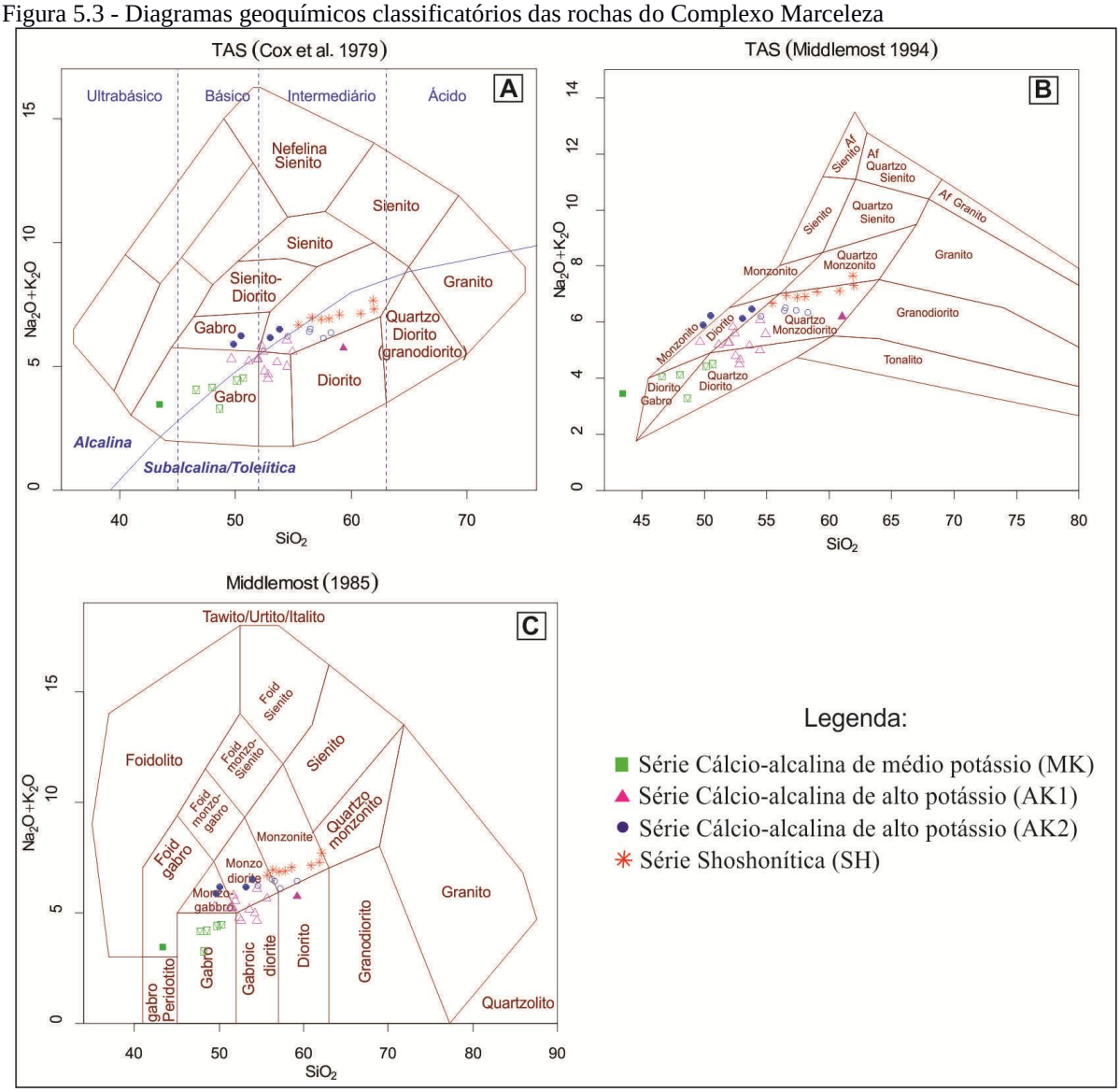
Os agrupamentos da série cálcio-alcalina estão representados pelos grupos: sendo um cálcio-alcalino de médio potássio (MK), dois grupos cálcio-alcalinos de alto potássio (AK1, AK2) e um grupo com características transicionais para a série shoshonítica (SH).

De forma a facilitar a apresentação dos dados, todos os diagramas apresentam a mesma simbologia, sendo: quadrados verdes representativo do grupo de médio potássio (MK), triângulos rosa para o grupo de alto potássio (AK1), círculos azuis para outro grupo de alto potássio (AK2) e asterisco vermelho representando as rochas do grupo shoshonítico (SH). Todos os grupos apresentam claro aumento progressivo dos álcalis em relação à sílica, especialmente para o K_2O, decorrente dos processos de diferenciação magmática.

No diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971), os grupos distribuem-se no campo cálcio-alcalino como esperado, a exceção do grupo MK, representado pelas rochas gabróicas e dioríticas (figura 5.2.1), cujas amostras evoluem em um *trend* suave, no limite entre os campos cálcio-alcalino e toleítico destes autores.

Em relação ao índice de saturação em alumina, A/CNK- A/NK (SHAND, 1943), todas as rochas possuem características metaluminosas, com aumento progressivo da alkalinidade, enquanto há um decréscimo da peraluminosidade, com valores entre 0,65 a 0,95 (figura 5.2.1).

Figura 5.3 - Diagramas geoquímicos classificatórios das rochas do Complexo Marceleza



Legenda : (A) - TAS (Cox et al, 1979); (B) - $Na_2O + K_2O$ *versus* SiO_2 (Middlemost 1994); (C) Na_2O+K_2O *versus* SiO_2 (Middlemost 1985).

Fonte: O AUTOR, 2015.

Os diagramas de classificação geoquímica (TAS, COX et al., 1979, Na_2O +K_2O *versus* SiO_2 MIDDLEMOST 1994 e Na_2O + K_2O *versus* SiO_2, MIDDLEMOST 1985) foram utilizados, para reforçar os dados petrográficos e classificar os litotipos dos diferentes grupos magmáticos identificados.

A série cálcio-alcalina de médio potássio (MK) é representada por rochas gabróicas e gabrodioríticas; a série cálcio-alcalina de alto potássio (AK1) é composta por gabros, dioritos, gabrodioríticos, monzogabros e monzodioritos; a série cálcio-alcalina de alto potássio (AK2) é formada por gabros, gabrodioríticos, monzogabros, monzodioritos e monzonitos; e a série shoshonítica (SH) compreende monzodioritos, monzonitos e quartzomonzonitos. (figura 5.2.1 e quadro 5.2.1).

Quadro 5.2.1 - Quadro demonstrativo da divisão dos grupos geoquímicos, dos teores de K_2O % e SiO_2 % para cada grupo e seus respectivos litotipos

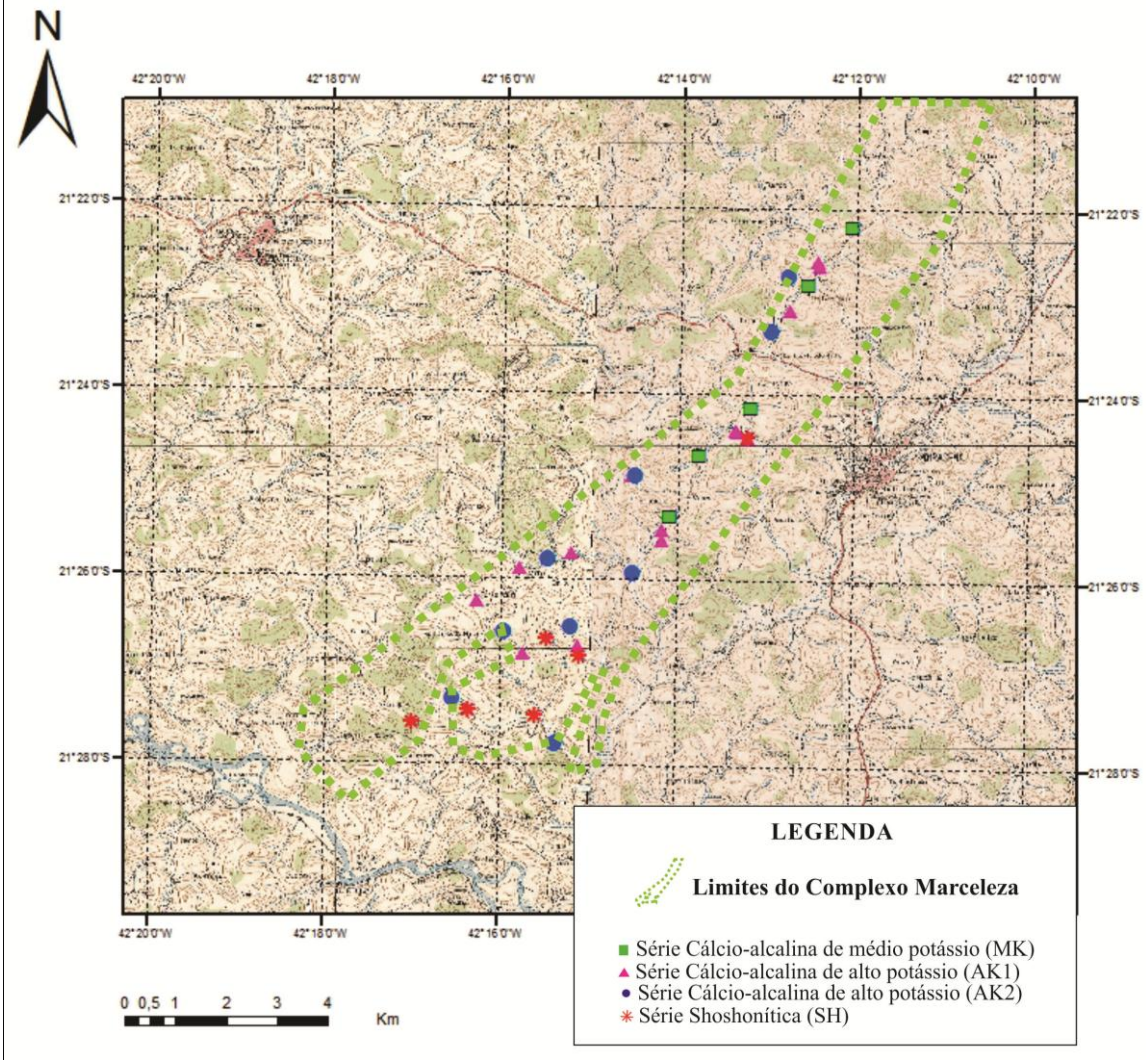
Grupos Geoquímicos	Valores de K_2O%	Valores de SiO_2%	tipos litológicos
cálcio-alcalina de médio potássio (MK)	0,55 - 1,15	43,44 - 50,64	gabros e gabrodioritos
cálcio- alcalina de alto potássio (AK1)	1,53 - 2,24	49,66 - 59,30	gabros, dioritos, gabrodioritos, monzogabros e monzodioritos
cálcio- alcalina de alto potássio (AK2)	1,98 - 3,03	49,84 - 58,27	gabros, gabrodioritos, monzogabros, monzodioritos e monzonitos
série shoshonítica (SH)	3,10 - 4,41	55,44 - 61,97	monzodioritos, monzonitos e quartzomonzonitos

Fonte: O AUTOR, 2015.

Na tentativa de identificar um possível padrão de distribuição geográfica/espacial das análises geoquímica dos grupos propostos para as rochas do Complexo Marceleza foi confeccionado um mapa tectono-geoquímico com os dados geoquímicos dos grupos supracitados (figura 5.2.3).

A distribuição dos grupos ocorre de forma bastante dispersa, não sendo possível delinear uma clara polaridade magmática, entretanto as rochas mais básicas, pertencentes aos grupos MK e AK1, ocupam majoritariamente o setor norte e as porções mais centrais da área mapeada. Já as rochas de composição mais intermediária, referente aos grupos AK2 e SH, estão mais presentes na parte sul do mapa, área de contato entre as rochas do Complexo Marceleza e da Suite Bonfim.

Figura 5.4 - Mapa de distribuição espacial das series geoquímicas das rochas do Complexo Marceleza



Fonte: O AUTOR, 2015.

5.3 Diagramas de Harker

5.3.1 Elementos Maiores

Os resultados geoquímicos, das 37 amostras, obtidos para os elementos maiores (quadro 5.3.1) nas rochas do Complexo Marceleza, foram plotados nos diagramas da figura 5.3.1.1, com o intuito de confirmar o agrupamento proposto.

Quadro 5.3.1.1 - Quadro de análises geoquímicas de elementos maiores para os grupos geoquímicos propostos para as rochas do Complexo Marceleza

Elementos Maiores	Grupo Cálcio Alcalino Médio Potassío (MK)			Grupo Cálcio Alcalino Alto Potassío (AK1)			Grupo Cálcio Alcalino Alto Potassío (AK2)			Grupo Transicional Soshoítico (SH)		
	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo
SiO2 %	6	43,440	50,640	14	49,660	59,330	9	49,840	58,270	8	55,440	61,970
Al2O3 %	6	14,430	17,320	14	15,050	17,910	9	14,610	16,990	8	14,870	16,470
Fe2O3(T) %	6	12,400	18,540	14	7,960	12,430	9	8,630	13,130	8	7,190	10,670
MnO %	6	0,187	0,250	14	0,122	0,228	9	0,125	0,248	8	0,107	0,178
MgO %	6	4,740	8,030	14	3,200	6,390	9	2,380	4,140	8	1,880	2,770
CaO %	6	8,070	9,310	14	5,490	9,350	9	4,860	7,320	8	3,740	5,840
Na2O %	6	2,510	3,640	14	2,900	4,280	9	3,090	3,920	8	3,180	3,570
K2O %	6	0,550	1,150	14	1,530	2,240	9	1,980	3,030	8	3,100	4,410
TiO2 %	6	2,097	4,213	14	0,902	2,431	9	1,608	2,618	8	1,306	2,057
P2O5 %	6	0,140	1,680	14	0,260	1,080	9	0,470	0,680	8	0,420	0,650
LOI %	6	-0,190	1,150	14	-0,130	1,490	9	-0,040	0,810	8	0,110	0,850

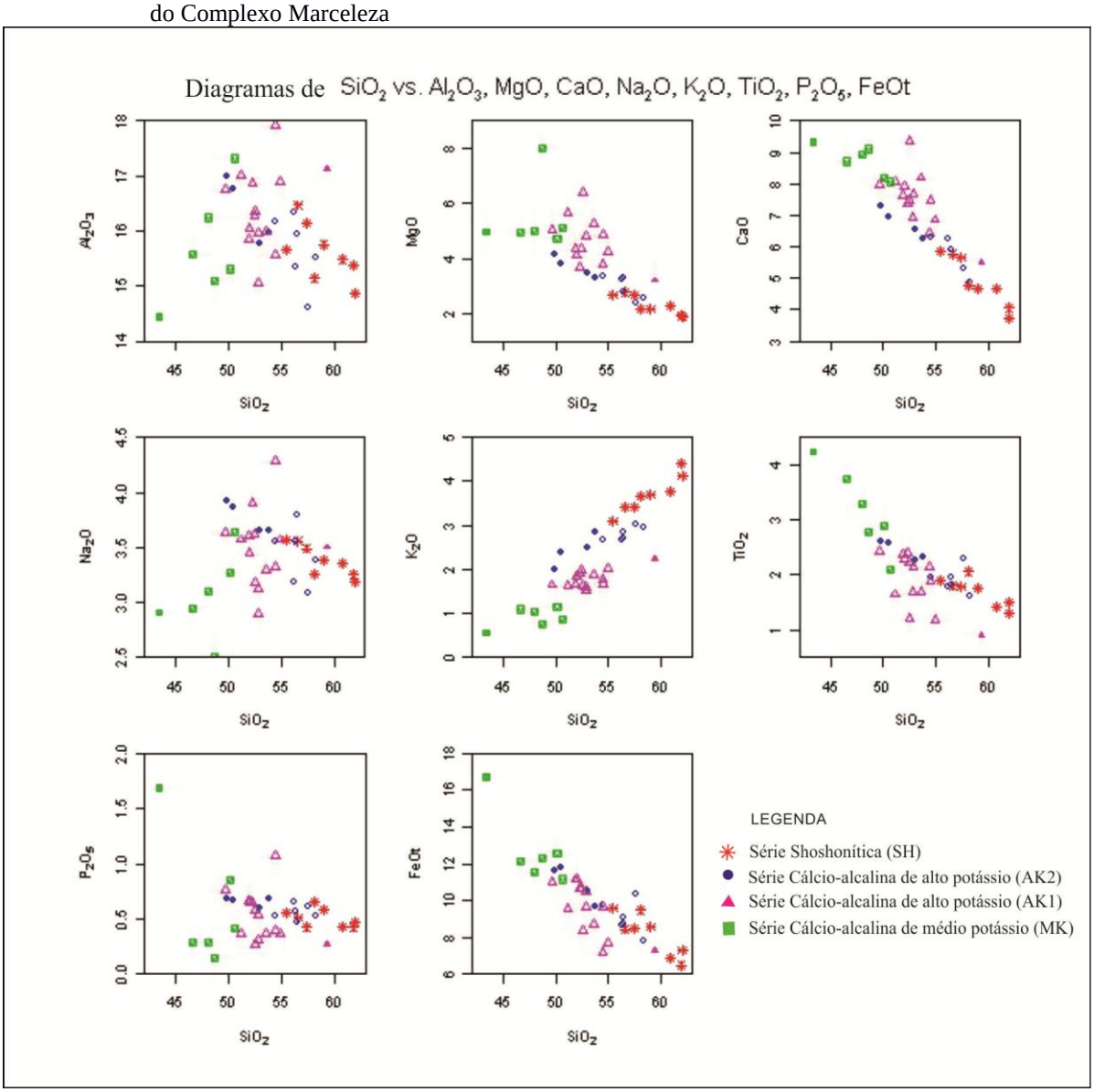
Fonte: O AUTOR, 2015.

Estes dados foram analisados através da separação em grupos propostos nos diagramas de classificação geoquímica (TAS, Cox et al., 1979; R_1-R_2 *plot*, Na_2O + K_2O *versus* SiO_2 MIDDLEMOST, 1994 e Na_2O+K_2O *versus* SiO_2, MIDDLEMOST, 1985 - figura 5.2.1). Sendo assim, o grupo MK é composto por seis amostras de rochas básicas, com elevados teores de CaO e MgO (variando entre 8,07 a 9,31 wt% e 4,74 a 8,03 wt% respectivamente) e baixos valores para K_2O e SiO_2 (0,55 a 1,15 wt% e 43,44 a 50,64 wt%). As rochas deste grupo podem ser classificadas como de alto TiO_2 com valores variando entre 2,09 a 4,21 wt%.

O conjunto de rochas com mais representatividade é o grupo AK1, composto 14 amostras de rochas básicas à intermediárias, com valores de SiO_2 entre 49,66 a 59,33 wt% e valores moderados de K_2O e de Al_2O_3 entre 1,15 a 2,24 wt% e 15,05 a 17,91 wt%, respectivamente. Similar ao grupo MK este grupo apresenta teores elevados de CaO, MgO e Na_2O com valores mínimos e máximos entre 5,49 a 9,35 wt% para CaO, 3,20 a 6,39 wt% para o MgO e 2,90 a 4,28 wt% para o Na_2O. A grande amplitude na variação dos teores de TiO_2, 0,90 a 2,43 wt% para este grupo mostra a presença de rochas classificadas como de baixo TiO_2 e alto TiO_2.

Os grupos AK2 (9 amostras) e SH (8 amostras) apresentam padrões similares, com enriquecimento progressivo em álcalis e sílica (49,84 a 58,27 wt% para o grupo AK2 e 55,44 a 61,97 wt% para o grupo SH), e baixos teores de elementos ferromagnesianos. Destaque para os elevados teores de K_2O, 1,98 a 3,03 wt% (AK2) e 3,10 a 4,41 wt% (SH) e os baixos teores de MgO (2,38 a 4,14 wt%, AK2 e 1,88 a 2,77 wt%, SH e de Na_2O 3,09 a 3,92 wt% para o grupo AK2 e 3,18 a 3,57 wt% para o grupo SH. Os valores de TiO_2 para estas rochas indicam teores variando entre 1,60 a 2,61 wt% e 1,30 a 2,05 wt% para os grupos AK2 e SH respectivamente, a exceção da amostra PA-BR-130 que anomalamente possui valores muito baixos de TiO_2.

Figura 5.5 - Diagramas multielementares binários de Harker (1909), SiO_2 *versus* elementos maiores, das rochas do Complexo Marceleza



Fonte: O AUTOR, 2015.

A distribuição das amostras nos diagramas binários multielementares de Haker (1909), que utilizam SiO_2 como índice de diferenciação (figura 5.3.1.1), mostraram uma correlação positiva com o K_2O e correlações negativas para MgO, CaO, FeOt e TiO_2, para todas as séries apresentadas (MK, AK1,AK2 e SH).

Através de alguns elementos maiores, como P_2O_5 e Na_2O foi testada a subdivisão dos quatro grupos propostos, sendo possível diferenciar os grupos MK e AK1 que apresentam uma correlação positiva, enquanto que os grupos cálcio-alcalino alto potássio (AK2) e shoshonítico (SH) apresentam uma correlação negativa com estes elementos. Com os valores de Al_2O_3 é possível fazer a separação dos grupos, marcado por uma correlação positiva dos grupo MK e AK1 e de uma possível correlação negativa para os grupos AK2 e SH.

5.3.2 Elementos Menores e Traços

Comparando as análises de elementos traço entre as séries geoquímicas do Complexo Marceleza (quadro 5.3.2.1), os grupos compostos de rochas mais básicas (MK e AK1) apresentam altos teores de V e Ni, (221,4 e 233,0 ppm e 50 e 80 ppm respectivamente), além do pico de Cr em 140 ppm (amostra MI-XI-51). O Nb mostra um aumento progressivo de teores para os grupos MK, AK1, AK2 e SH nesta ordem, com valores entre 10 a 20 ppm, 6 a 22 ppm, 20 a 34 ppm e 76 a 140 ppm respectivamente.

Já as variações de Co e Sr indicam uma correlação negativa nos teores destes elementos entre os grupos MK e AK1 (24 a 61 ppm de Co e 445 a 890 ppm de Sr) e os grupos AK2 e SH (14 a 36 ppm de Co e 325 a 578 ppm de Sr).

Quadro 5.3.2.1 - Quadro de análises geoquímicas de elementos menores para os grupos geoquímicos propostos para as rochas do Complexo Marceleza

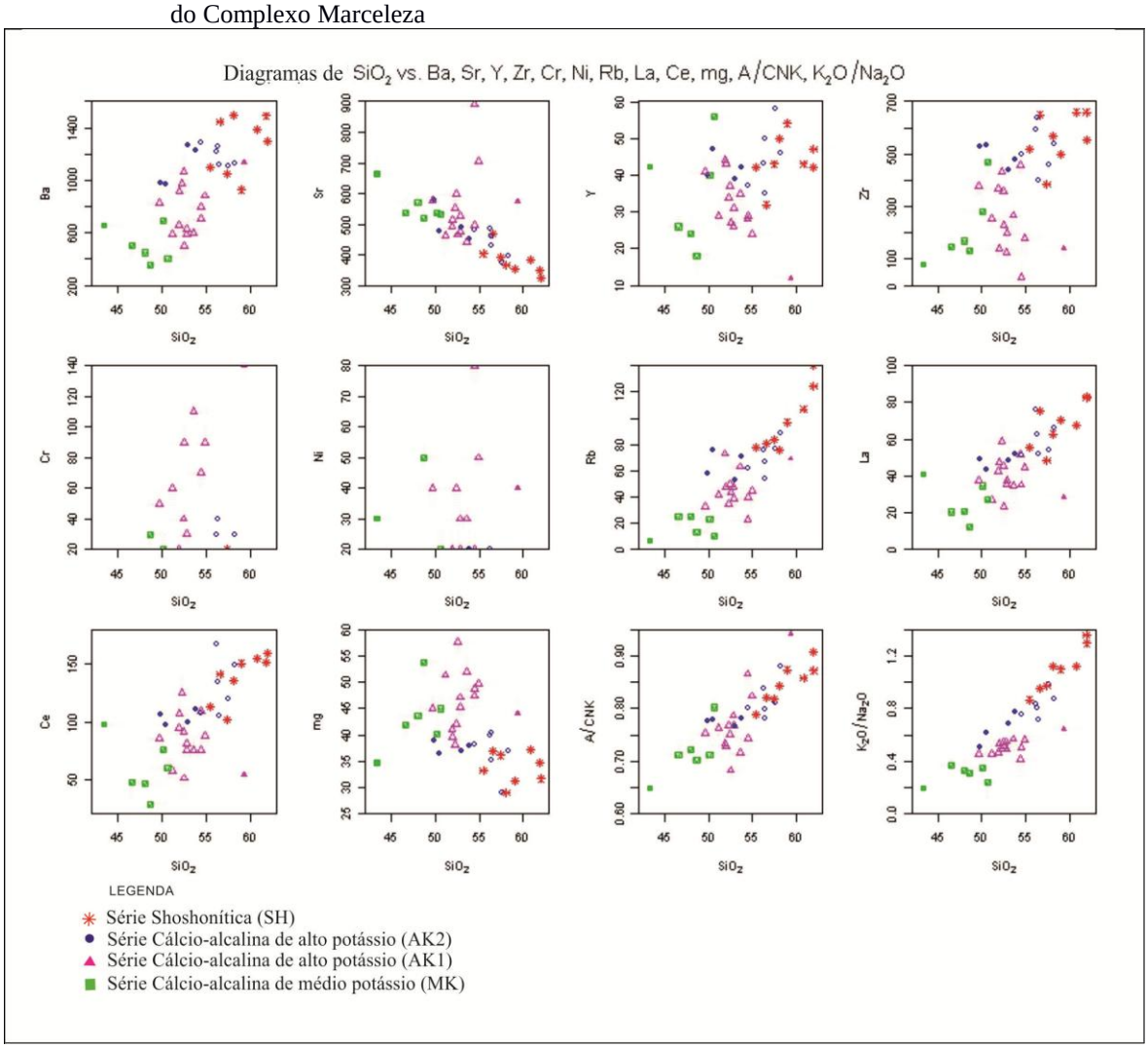
Elementos Traço	Grupo Cálcio Alcalino Médio Potassío (MK)			Grupo Cálcio Alcalino Alto Potassío (AK1)			Grupo Cálcio Alcalino Alto Potassío(AK2)			Grupo Transicional Soshoítico (SH)		
	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo
Sc ppm	6	27,000	37,000	14	10,000	33,000	9	18,000	28,000	8	15,000	23,000
Be ppm	6	1,000	3,000	14	1,000	3,000	9	2,000	3,000	8	2,000	3,000
V ppm	6	221,000	463,000	14	142,000	233,000	9	137,000	239,000	8	117,000	181,000
Ba ppm	6	355,000	692,000	14	504,000	1139,000	9	967,000	1283,000	8	926,000	1493,000
Sr ppm	6	519,000	662,000	14	443,000	890,000	9	375,000	578,000	8	325,000	469,000
Y ppm	6	18,000	56,000	14	12,000	44,000	9	35,000	58,000	8	32,000	54,000
Zr ppm	6	78,000	470,000	14	32,000	457,000	9	399,000	640,000	8	385,000	660,000
Cr ppm	6	20,000	30,000	14	20,000	140,000	9	20,000	40,000	8	20,000	20,000
Co ppm	6	38,000	61,000	14	24,000	48,000	9	20,000	36,000	8	14,000	23,000
Ni ppm	6	20,000	50,000	14	20,000	80,000	9	20,000	20,000	8	20,000	20,000
Cu ppm	6	20,000	50,000	14	10,000	80,000	9	10,000	30,000	8	10,000	20,000
Zn ppm	6	100,000	180,000	14	80,000	140,000	9	100,000	150,000	8	80,000	120,000
Ga ppm	6	17,000	23,000	14	18,000	24,000	9	20,000	26,000	8	22,000	25,000
Ge ppm	6	1,000	2,000	14	1,000	2,000	9	1,000	2,000	8	1,000	2,000
Rb ppm	6	6,000	25,000	14	23,000	73,000	9	53,000	89,000	8	5,000	5,000
Nb ppm	6	10,000	20,000	14	6,000	22,000	9	20,000	34,000	8	76,000	140,000
Mo ppm	6	2,000	2,000	14	2,000	12,000	9	2,000	2,000	8	14,000	26,000
Ag ppm	6	0,500	1,200	14	0,500	1,800	9	1,000	2,100	8	2,000	4,500
Sn ppm	6	0,200	0,200	14	1,000	4,000	9	1,000	3,000	8	2,000	3,000
Sb ppm	6	0,500	0,500	14	0,500	0,500	9	0,500	0,500	8	0,500	1,800
Cs ppm	6	0,500	0,500	14	0,500	0,900	9	0,500	1,400	8	0,500	0,700
Hf ppm	6	1,900	5,900	14	1,000	8,500	9	8,100	12,800	8	8,100	12,900
Ta ppm	6	0,600	1,300	14	0,300	1,400	9	0,900	1,600	8	0,900	1,300
W ppm	6	1,000	82,000	14	1,000	131,000	9	1,000	1,000	8	1,000	4,000
Tl ppm	6	0,100	0,200	14	0,100	0,400	9	0,100	0,400	8	0,300	0,600
Pb ppm	6	5,000	27,000	14	5,000	13,000	9	6,000	14,000	8	10,000	15,000
Th ppm	6	0,300	1,500	14	0,500	2,900	9	0,700	4,100	8	1,100	8,500
U ppm	6	0,100	0,200	14	0,200	1,000	9	0,200	0,800	8	0,300	0,800

Fonte: O AUTOR, 2015.

Utilizando a SiO_2 como índice de diferenciação em relação aos elementos traços para todos os grupos estudados é observado uma correlação positiva para os elementos Ba, Y, Zr, La, Rb e Ce e uma correlação negativa com o Sr.

A correlação positiva do Mg com SiO_2 sustentou a individualização dos grupos MK e AK1, enquanto que nos grupos AK2 e SH esta correlação é negativa (Figura 5.3.2.1).

Figura 5.6 - Diagramas multielementares binários de Harker (1909), SiO_2 *versus* elementos menores, das rochas do Complexo Marceleza



Fonte: O AUTOR, 2015.

5.4 Elementos Terras Raras (ETR)

Analisando o comportamento dos elementos terras raras pesados e leves, foi observado que os grupos geoquímicos SH e AK2 são claramente mais enriquecidos em terras leves e

pesados em relação aos grupos MK e AK1 (quadro 5.4.1). Para os ETR leves as variações de Nd ocorrem entre 17,10 a 58,60 ppm pra os grupos MK e AK1 e 46,60 a 82,90 ppm para os grupos AK2 e SH. Os valores de Ce são da ordem de 27,90 a 125,00 ppm, nos grupos MK e AK1 e 97,70 a 160,00 ppm para os grupos AK e SH. Já para os ETR pesados o Yb exibe valores de 1,9 a 4,0 ppm, 1,3 a 4,5 ppm, 3,30 a 5,80 ppm e 3,10 a 5,10 ppm, nos grupos MK, AK1, AK2 e SH respectivamente.

Quadro 5.4.1 - Quadro de dados geoquímicas de elementos terras raras leves e pesados para grupos geoquímicos propostos para as rochas do Complexo Marceleza

Grupo Cálcio Alcalino Médio Potassío (MK)							
Elementos Terras Raras Leves	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Elementos Terras Raras Pesados	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo
La ppm	6	12,500	40,700	Er ppm	6	1,900	4,600
Ce ppm	6	27,900	96,800	Tm ppm	6	0,290	0,680
Pr ppm	6	3,810	13,700	Yb ppm	6	1,900	4,000
Nd ppm	6	17,100	61,700	Lu ppm	6	0,270	0,560
Sm ppm	6	3,900	13,500	Ta/Nb	6	1,250	2,920
Eu ppm	6	1,440	3,700	Nb/Ta	6	13,333	17,500
Gd ppm	6	3,600	11,000	Zr/Hf	6	40,000	57,210
Tb ppm	6	0,600	1,700	Eu/Eu*	6	0,588	1,175
Dy ppm	6	3,500	9,000	La/Yb*	6	4,435	5,582
Ho ppm	6	0,700	1,600				

Grupo Cálcio Alcalino Alto Potassío (AK1)							
Elementos Terras Raras Leves	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Elementos Terras Raras Pesados	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo
La ppm	14	23,600	58,700	Er ppm	14	1,300	4,500
Ce ppm	14	50,900	125,000	Tm ppm	14	0,190	0,680
Pr ppm	14	6,450	14,400	Yb ppm	14	1,300	4,500
Nd ppm	14	24,800	58,600	Lu ppm	14	0,190	0,640
Sm ppm	14	4,600	11,800	Ta/Nb	14	1,895	3,261
Eu ppm	14	1,520	2,910	Nb/Ta	14	13,846	22,500
Gd ppm	14	3,300	9,900	Zr/Hf	14	32,000	56,097
Tb ppm	14	0,500	1,600	Eu/Eu*	14	0,728	1,048
Dy ppm	14	2,500	8,900	La/Yb*	14	5,806	16,533
Ho ppm	14	0,500	1,700				

Grupo Cálcio Alcalino Alto Potassío (AK2)							
Elementos Terras Raras Leves	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Elementos Terras Raras Pesados	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo
La ppm	9	43,300	66,500	Er ppm	9	3,600	5,900
Ce ppm	9	97,700	149,000	Tm ppm	9	0,520	0,880
Pr ppm	9	12,500	18,700	Yb ppm	9	3,300	5,800
Nd ppm	9	46,600	74,500	Lu ppm	9	0,490	0,820
Sm ppm	9	8,600	14,400	Ta/Nb	9	1,273	2,770
Eu ppm	9	2,330	3,110	Nb/Ta	9	16,250	24,000
Gd ppm	9	7,200	11,600	Zr/Hf	9	46,293	59,775
Tb ppm	9	1,100	1,900	Eu/Eu*	9	0,631	0,935
Dy ppm	9	6,200	11,000	La/Yb*	9	5,957	10,152
Ho ppm	9	1,200	2,100				

Grupo Transicional Soshoítico (SH)							
Elementos Terras Raras Leves	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo	Elementos Terras Raras Pesados	Qtd. de amostras	Mínimo	Máximo
La ppm	8	48,500	83,300	Er ppm	8	3,200	5,500
Ce ppm	8	102,000	160,000	Tm ppm	8	0,480	0,790
Pr ppm	8	12,600	21,700	Yb ppm	8	3,100	5,100
Nd ppm	8	49,500	82,900	Lu ppm	8	0,440	0,720
Sm ppm	8	9,800	15,000	Ta/Nb	8	2,516	3,973
Eu ppm	8	2,240	3,320	Nb/Ta	8	10,769	25,555
Gd ppm	8	7,200	11,000	Zr/Hf	8	47,53	53,883
Tb ppm	8	1,100	1,700	Eu/Eu*	8	0,567	0,837
Dy ppm	8	6,100	10,300	La/Yb*	8	7,785	14,04
Ho ppm	8	1,200	2,000				

Fonte: O AUTOR, 2015.

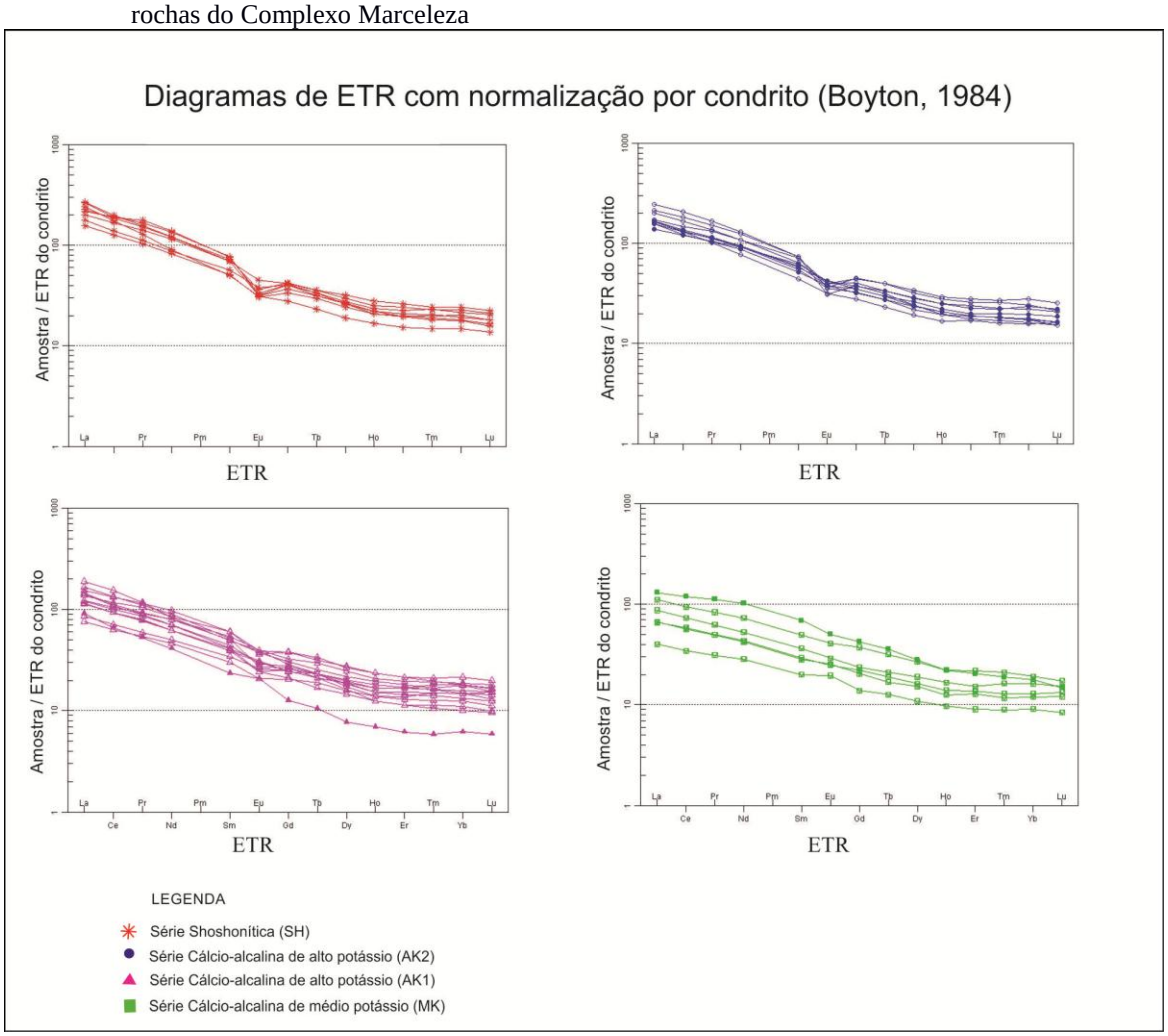
No grupo cálcio-alcalino (MK) os elementos terras raras leves apresentam um padrão de fracionamento suave em relação com os elementos terras raras pesados. Neste grupo as razões de La/Yb são entre 4,43 a 5,58 e não apresentam anomalias negativas de europio (razão Eu/Eu* 0,58 a 1,17), no entanto a amostra MI-IX-33 possui uma leve anomalia positiva deste elemento.

Já as amostras do grupo cálcio-alcalino de médio Potássio (AK1) apresentam um padrão suavizado de fracionamento dos elementos terras raras leves em relação aos pesados (razões La/Yb entre 5,80 a 16,53), com exceção da amostra MI-XI-51 que possui um elevado fracionamento dos ETR pesados em relação ao condrito. Para o europio (razão Eu/Eu* 0,72 a 1,04) as amostras deste grupo não apresentam um padrão homogêneo, com ausência de anomalias deste elemento e algumas amostras tendendo a uma leve anomalia negativa. As rochas do grupo cálcio-alcalino de alto potássio (AK2), apresentam conteúdos superiores de

ETR leves em relação aos grupos anteriores (razões La/Yb entre 5,95 a 10,15), Neste grupo o fracionamento é mais acentuado para os ETR pesados em relação ao condrito. Quanto à anomalia de európio estas rochas apresentam picos negativos deste elemento (razão Eu/Eu* 0,63 a 0,93).

O grupo shoshonítico (SH) cujo fracionamento em todos os ETR é o mais acentuado, principalmente para os ETR leves, foi também o grupo que apresentou os teores mais enriquecidos em ETR leves (próximos a 200 vezes o condrito - razões La/Yb entre 7,78 a 14,04) entre as rochas do Complexo Marceleza, além de uma marcante anomalia negativa de európio (razão Eu/Eu* 0,56 a 0,83).

Figura 5.7 - Aranhogramas dos elementos terras raras normalizados a partir do condrito de Boynton (1984) das rochas do Complexo Marceleza



Fonte: O AUTOR, 2015.

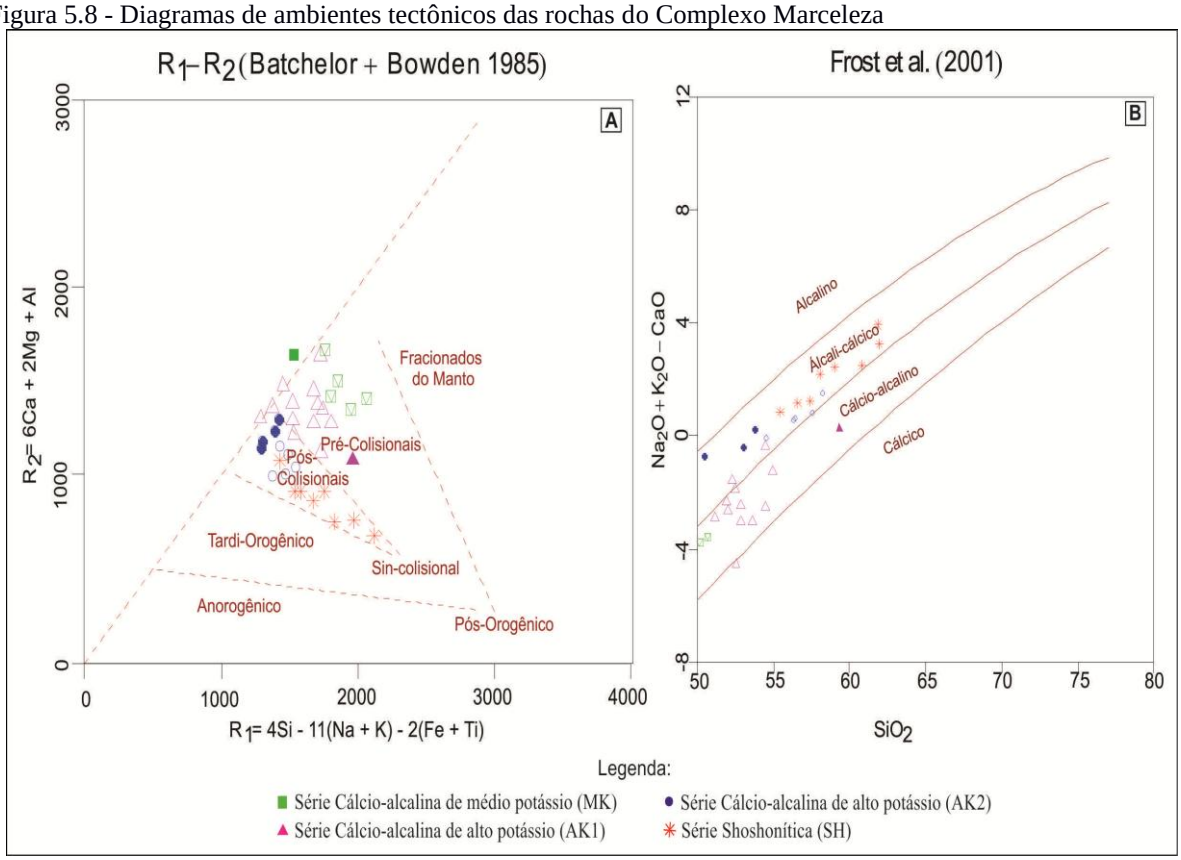
A comparação entre os padrões dos ETR apresentados pelos diferentes grupos geoquímicos exibidos, expõe o enriquecimento pronunciado dos ETR leves e dos ETR pesados nas séries shoshonítica (SH) e cálcio-alcalina de alto potássio (AK2), em relação às séries

cálcio-alcalina de médio potássio (MK) e cálcio-alcalina de alto potássio (AK1). Os grupos SH e AK2 também se diferenciam dos grupos MK e AK1 pela forma acentuada com que fracionam os ETR leves e o padrão mais horizontalizado no fracionamento dos ETR pesados, além da anomalia negativa de európio presente apenas nos grupos AK2 e SH.

5.5 Ambientação tectônica

Nos diagramas de Frost et al., (2001), SiO_2 *versus* FeOt/(FeOt + MgO) e SiO_2 *versus* $Na_2O + K_2O$ - CaO (figura 5.1.1), os grupos geoquímicos MK e AK1 definem séries cálcio-alcalinas *calc-alkalic* enquanto que os grupo AK2 e SH encontram-se no campo das séries cálcio-alcalinas *alkali-calcic*, típicas de ambientes de arcos magmáticos cordilheranos.

Figura 5.8 - Diagramas de ambientes tectônicos das rochas do Complexo Marceleza

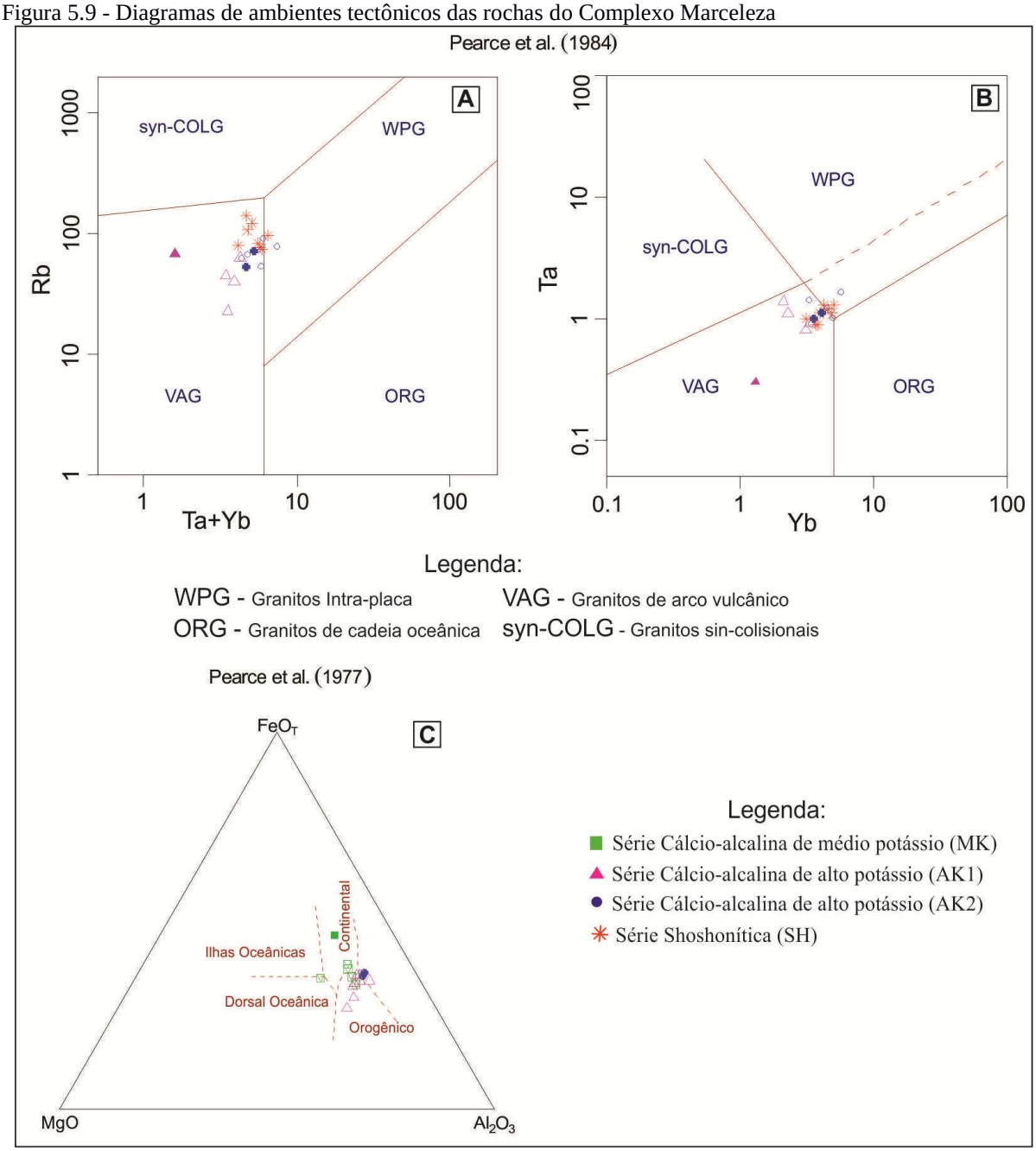


Legenda : (A) R_1-R_2 (Batchelor & Bowden, 1985); (B) diagramas discriminatórios de Frost et al. (2001).
Fonte: O autor, 2015.

Quando analisados no diagrama R_1-R_2 (BATCHELOR & BOWDEN, 1985 - figura 5.1.1) os quatro grupos geoquímicos individualizados distribuem-se entre os campos de magmatismo pré-colisional a soerguimento colisional.

Nos diagramas tectônicos discriminatórios de granitos, Y+Nb/Rb, Y/Nb, Ta+Yb/Rb e Yb/Ta, de Pearce et al. 1984 (figura 5.5.2), foram excluídos os termos básicos, e utilizadas apenas as rochas intermediárias dos grupos AK2 e SH. Estas amostras distribuem-se entre os campos relacionados a ambientes de arcos vulcânicos e o campo de granitos intraplaca.

Figura 5.9 - Diagramas de ambientes tectônicos das rochas do Complexo Marceleza



Legenda: A) B) Rb/Ta+Yb, Ta/Y (Pearce et al. 1984); (C) FeOt *versus* MgO *versus* Al_2O_3 (Pearce et al. 1977).
Fonte: O AUTOR, 2015.

Os dados geoquímicos obtidos foram integrados à caracterização litológica e geotectônica das rochas desta região, com intuito de melhor elucidar as possíveis interpretações relacionadas aos processos evolutivos para as rochas de alto grau metamórfico (granulitos) do Complexo Marceleza.

Esta interpretação então sugere que o Complexo Marceleza apresenta uma evolução geoquímica progressiva, dada pela existência de uma série cálcio-alcalina expandida (com rochas da fase pré colisional até uma fase mais madura - pós colisional) associadas a ambientes tectônicos de margem continental ativa com desenvolvimento de arcos magmáticos cordilheiranos sob condições de temperaturas elevadas durante o metamorfismo brasiliano/pan-africano. Estas rochas, possivelmente sofreram contaminação de sua fonte mantélica, através da assimilação de rochas crustais, provavelmente relacionadas a processos de fusão parcial da crosta inferior profunda.

6 GEOCRONOLOGIA

6.1 Introdução

Inicialmente, no primeiro trabalho de campo realizado, as rochas coletadas pertencentes ao Complexo Marcelea foram descritas macroscopicamente como pertencentes às rochas do Complexo Juiz de Fora, unidade do embasamento, de idade Paleoproterozóica, fortemente retrabalhada pelo metamorfismo granulítico Brasiliano. Os dados disponíveis na literatura (MACHADO et al., 1996; NOCE et al., 2004; HEILBRON et al., 2010) indicam que as rochas desta unidade fornecem análises discordantes, entre a idade de cristalização e do metamorfismo. No entanto os primeiros estudos geocronológicos indicaram idades Neoproterozóicas para estas rochas, sendo então realizado um estudo da morfologia dos grãos de zircão, para entender a relação das texturas com as idades obtidas e compreender a relação do Complexo Marceleza durante a evolução da Faixa Ribeira.

Nas últimas três décadas ocorreu um avanço nas pesquisas sobre métodos geocronológicos, um destaque para a técnica U-Pb que é considerada a mais robusta ferramenta geocronológica atual. A vantagem do método U-Pb está na existência de dois isótopos do mesmo elemento pai que desintegram-se em dois isótopos do mesmo elemento filho. Dessa forma, podem ser gerados dois sistemas de decaimentos distintos para o cálculo da idade. Outra facilidade está relacionada com a variedade de laboratórios no Brasil que apresentam instrumentos capazes de realizar este tipo de análise.

O desenvolvimento da técnica se baseou principalmente na utilização de zircão. O zircão é o mineral mais comumente utilizado na geocronologia U-Pb em função da sua grande distribuição e diversidade nos tipos de rochas. O zircão aceita facilmente a entrada de U no seu retículo cristalino em substituição ao Zr e, em contrapartida, o zircão não aceita a entrada de Pb comum, o que permite interpretar que todo o Pb presente no zircão é radiogênico e é resultado do decaimento do U e do Th. Para completar suas vantagens, o zircão é resistente ao intemperismo com pouca perda de Pb caracterizando assim um mineral ideal para a datação por este método. Outra razão para a utilização deste mineral está relacionada com a possibilidade de obtenção tanto de idades relativas aos processos de cristalização magmáticas como de idades de eventos metamórficos, devido ao fato de que o zircão apresenta uma temperatura de fechamento do sistema U-Th-Pb de 800º (DODSON, 1973).

Para este trabalho foram utilizadas datações U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS. Esta técnica permite a realização de análises pontuais de U-Th-Pb no mineral podendo ser escolhido os locais das análises, facilitando a separação de diferentes registros de eventos geológicos no mineral datado.

6.2 Preparação das amostras

Para a abordagem geocronológica utilizada neste trabalho foram selecionadas quatro amostras representativas do Complexo Marceleza para análises U-PB pelo método LA-MC-ICP-MS. As amostras selecionadas procuraram cobrir variações petrográficas e texturais descritas durante os trabalhos de campo. As etapas de preparação e concentração mineral foram executadas no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras, LGPA-UERJ.

No processamento inicial, quantidades aproximadas de 30 kg de cada uma das amostras selecionadas foram lavadas, britadas e pulverizadas, até atingir a fração de granulometria fina entre 80 e 150 *mesh*, em equipamentos padrões e com rígidos critérios de limpeza. A seguir, foi realizado o processo de separação manual de minerais densos, através de concentração por bateia e por lavagem em bromofórmio para a separação de grãos leves. Após essa separação inicial, foi usado um imã de mão para a retirada de minerais de magnéticos, seguida pela etapa posterior onde foi usado o aparelho de separação por susceptibilidade magnética, o Separador Eletrônico Magnético (FRANTZ).

Nesta etapa, utilizando o Separador Frantz, foi realizada a separação magnética mais fina dos grãos em sucessivas frações magnéticas e uma fração diamagnética. Adotou-se o seguinte procedimento, subdividida em duas etapas: a primeira, denominada de Frantz Inicial (F.I.) e a segunda etapa de Frantz Final (F.F.), sendo que as frações que integram a F.I. foram geradas através da inclinação da caneleta do equipamento em 10º e de intervalos regulares da amperagem, que foi aumentada progressivamente de: 0,2 A; 0,5 A; 0,75 A; 1,0 A e 1,5 A. Já na etapa do F.F., manteve-se o valor de amperagem máxima utilizado na etapa anterior, e diminuiu-se a inclinação da canaleta sucessivamente em 5º, 3º, 1º, 0º e -0.5º. Na ultima inclinação utilizada (-0.5º) os minerais que não foram atraídos, também foram coletados, e identificados como fração não atraível diamagnética.

A Etapa de seleção de grãos ocorreu através de catação manual em uma lupa binocular. As frações relativas ao Frantz Final foram postas em uma placa de petri imersas em álcool 96º.

Sua seleção foi feita manualmente utilizando uma pinça especial não magnética. Foram utilizados como critérios para individualização de tipos de zircão: seu tamanho, forma, cor, presença de inclusões, de núcleos e/ou sobre crescimentos visíveis.

Na etapa de montagem dos grãos, para organização dos *mounts*, os grãos selecionados foram dispostos sob uma lâmina delgada começando da esquerda para a direita e de cima para baixo em fileiras separadas de acordo com a fração magnética correspondente. Logo após, ajustou-se um cilindro plástico pré-moldado, seguido pelo preenchimento com resina à base de araldite e um composto endurecedor até sobrepor todos os grãos.

Após a secagem desta resina a montagem foi levada a um processo de abrasão em lixas de 500, 800, 1500 e 2500, até tornar os grãos expostos. Por fim, foi realizado um polimento em pasta adiamantada de 1/4 micra para expor os grãos a superfície e aprimorar seu polimento.

Após a confecção do *mount*, os grãos de zircão foram imageados utilizando um microscópio eletrônico de Varredura (MEV) (QUANTA 250), localizado no Laboratório Multilab, na UERJ, sendo as imagens realizadas através do método de catodoluminescência. Após os grãos de zircão serem imageados as características texturas dos grãos foram interpretadas de acordo com as descrições morfológicas apresentadas na literatura (CORFU et al., 1980 e HARLEY et al. 2007).

6.3 Metodologia U-Pb Utilizada

A leitura de isótopos de U-Pb, procedimento de análise das razões isotópicas em grãos de zircão, foi feita através do equipamento *Multi-collector* ICP-MS *Thermo Neptune* com *laser* 213 µm *NewWave*, localizado no Laboratório de Estudos Geocronológicos, Geodinâmicos e Ambientais da Universidade de Brasília (UNB).

A análise consistiu na leitura de concentrações dos isótopos de Pb e U em grãos de zircão, pelo sistema de ejeção de material através do método de *laser* ablation. O equipamento utilizado permite realizar tiros em diâmetros de até 100 µm, com uma frequência de 6 a 20 Hz durante 40 segundos e entre 10 a 100 % energia do *laser*.

Durante a etapa de análise destas amostras foi utilizado um tamanho de *spot* de 25 µm, com energia de 55% e 8 Hz de taxa de frequência. O gás utilizado para carrear o material foi o hélio, com um fluxo de 0.55 l/s. Já no ICP-MS foi utilizado um fluxo de argônio de 0.800 l/s como *sample gas*.

Na fase de coleta de dados isotópicos o *mount* pronto para uso é inserido no compartimento reservado dentro do aparelho, juntamente com uma "amostra padrão", que neste caso foi o padrão GJ. A seguir, para leitura dos isótopos utilizados neste método, a configuração utilizada em Brasília utiliza oito coletores do tipo *Faraday*, um coletor central e três coletores do tipo IC, organizados em ordem especifica e calibrados para sistematicamente medir os isótopos de $Pb^{202,}$ Pb^{204}, Pb^{206}, Pb^{207}, Pb^{208}, Th^{232} e U^{238}, respectivamente (BUHN & PIMENTEL et al., 2009).

O começo da aquisição dos dados é realizado da seguinte maneira: após a escolha do grão desejado, posicionamos a mira do *laser* (*New Wave* UP-213) e manualmente acionamos o feixe, dando inicio ao processo de ablação. Alguns segundos são necessários para que se estabilize o sinal. Em sequência é iniciada a aquisição dos 40 ciclos de dados, onde cada ciclo é um valor do isótopo medido pelo coletor.

O processo de aquisição é composto por uma sequência, que começa com a análise do branco, que é o próprio gás que passa pelo espectrômetro e é medido como referência, seguida pela análise de um grão da amostra padrão. E assim é dado início a uma sequência de análise de quatro grãos da amostra em questão em sequência e esse ciclo se repete até terminarmos a análise.

Na etapa de redução de dados e interpretação analítica, procedeu-se a inserção dos dados relativos aos 40 ciclos de cada amostra no *software Data Evaluation* (*Neptune Software*) em conjunto com o programa *Microsoft Excel* para a redução dos dados.

6.4 Critérios para utilização de dados

Ao obter os resultados, diversas informações cruciais para a seleção dos grãos que serão utilizados para confecção do diagrama da concórdia passam a estar disponíveis. Dentre as quais a razão de Pb^{206}/Pb^{204}. Quando essa razão é inferior a 3000, passa a ser aconselhável que se utilize os dados com a correção de Pb comum. Que consiste em avaliar a quantidade de Pb^{204}, pois considera-se que no momento de cristalização do mineral uma quantidade de isótopos de Pb^{206} e Pb^{207} já estava presente. Assim segundo o modelo de Stacey e Kramers (1975) subtraímos estas quantidade de Pb^{206} e de Pb^{207} dos resultados medidos. Porém essa correção gera uma maior quantidade de erros, sendo sempre recomendado evitar a escolha de grãos com razão Pb^{206}/Pb^{204} superior a 3000.

Para a utilização dos grãos na construção do diagrama da concórdia alguns aspectos foram considerados, tais como: discordâncias inferiores a 5%; valores de chumbo comum (Pb^{204}) abaixo de 0,5%; erros individuais das idades para cálculos das razões isotópicas inferiores a 9%; e a própria idade do grão. Para cada amostra analisada foram selecionados entre 10 e 38 grãos levando em consideração todos os aspectos relatados.

Após as correções dos resultados isotópicos, as idades dos grãos foram calculadas e plotadas no diagrama da concórdia utilizando o *software* "*Isoplot*" (LUDWIG, 2003), acoplado ao programa *Excel*.

6.5 Resultados obtidos

Neste capítulo serão apresentados os dados geocronológicos obtidos em quatro amostras do Complexo Marceleza que afloram em uma camada de direção NE-SW na porção sudoeste da área mapeada, as amostras selecionadas são denominadas MI-BR-08, MI-BR-09, MI-BR-55 e MI-BR-56, sendo classificadas petrograficamente e com base nos dados litogeoquímicos como gabros a quartzo-dioritos.

Para este trabalho foi realizada uma descrição detalhada das amostras coletadas, seguida por um estudo morfológico dos grãos de zircão e dos resultados analíticos obtidos.

6.5.1 Amostra MI-BR-09

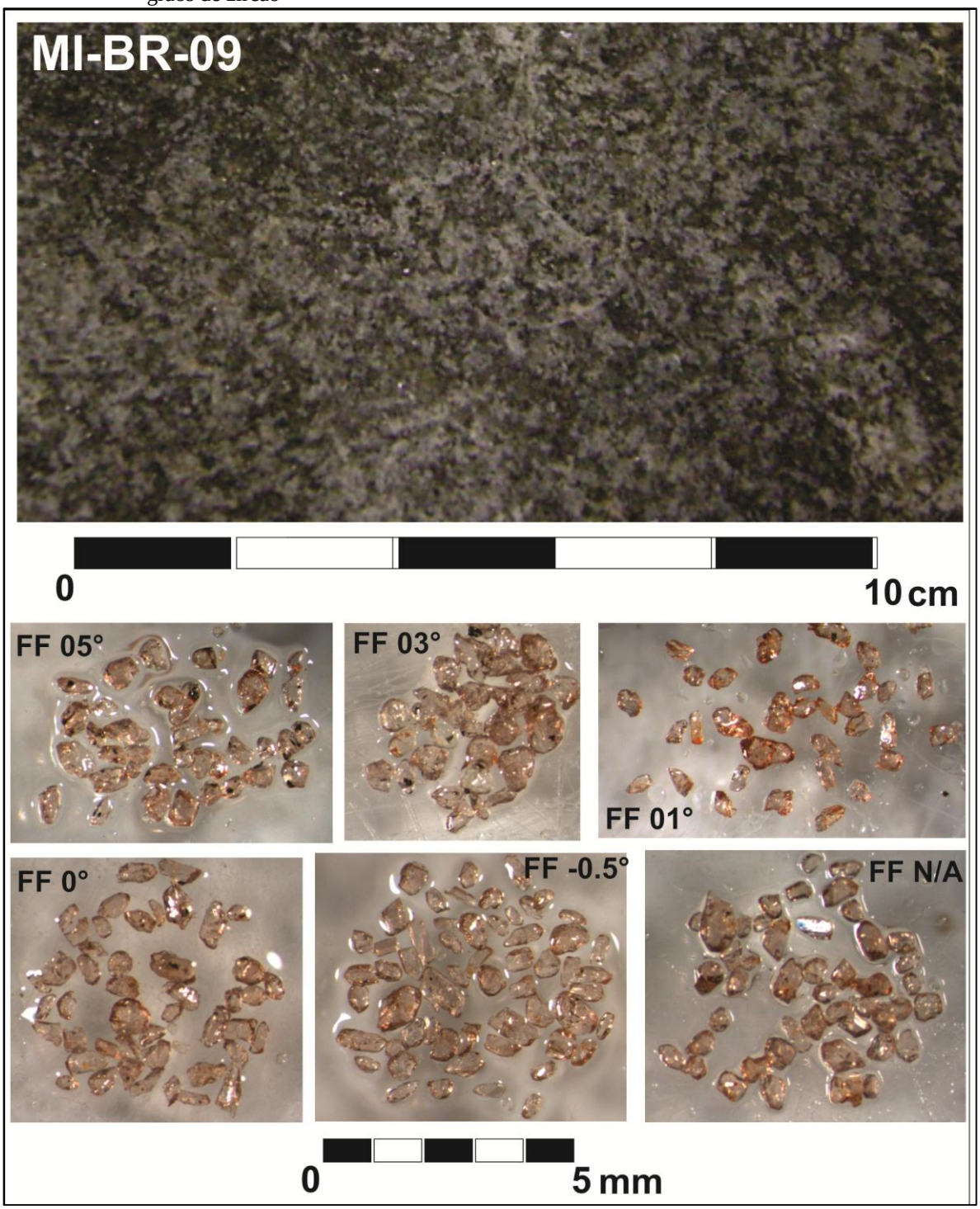
6.5.1.1 Características macroscópica e morfologia dos grãos de zircão

O afloramento da amostra MI-BR-09 (figura 6.5.1.1.1) está localizado em uma estrada secundária que faz a ligação cidade de Miracema com a sub-localidade de Campelo, próximo ao bairro da Saudade, a oeste desta cidade.

A rocha aflora em lajedos e grandes corpos arredondados de tamanhos métricos a decamétricos. A rocha de cor cinza esverdeada apresenta aspecto homogêneo, granulação de fina a média e textura granoblástica inequigranular.

A paragênese mineral é composta por plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio, hornblenda, quartzo e biotita, já os minerais acessórios são zircão, apatita e opacos. Essa paragênese é definida pela coexistência de piroxênios e plagioclásio, evidenciando um processo metamórfico em fácies granulítica.

Figura 6.1 - Características macroscópicas da amostra MI-BR-09 e detalhes em lupa binocular das frações dos grãos de zircão



Fonte : O AUTOR, 2015.

Através da análise modal petrográfica quantitativa para rochas plutônicas (STRECKEISEN, 1975) a rocha corresponde a um gabro. A interpretação das análises geoquímicas obtidas enquadram a amostra no grupo correspondente a série cálcio-alcalina (MK) (álcalis *versus* sílica (PECCERILLO & TAYLOR, 1976).

Para esta amostra foram utilizados grãos de zircão das frações magnéticas, da fase final do Franz: FF/5º, FF/3º, FF/1º, FF/0º, FF/-0,5º e FF/ Não Atraível (figura 6.5.1.1.1) na montagem do *mount*. Estas frações em relação a suas morfologias retratam populações homogêneas com exceção da fração -0,5º que representa uma população de grãos heterogêneos. A fração FF/-0,5º também diferencia das demais no número de grãos, correspondendo a uma quantidade aproximada de 80 grãos, enquanto as outras frações são relativamente compostas por poucos grãos com média de 40 zircões por fração.

Todas as frações possuem grãos de formas prismáticas partidas e anedrais, ambos com arestas majoritariamente arredondadas, com exceção da fração FF/3º cujos grãos são predominantemente anedrais. Nas frações FF/5º e FF/3º predominam grãos hipidiomórficos, enquanto nas frações FF/1º e FF/N.A. além de grãos hipidiomórficos, são observados variações de formas xenomórficas em maior quantidade.

Já nas frações FF/1º, FF/0º e FF/-0,5º os grão são idiomórficos (1:1 a 3:1), prismáticos (2:1 a 4:1) e sub-equidimensionais (1:1 e 2:1), com pelo menos duas faces bem definidas aproximando-se de formas prismáticas bideterminadas.

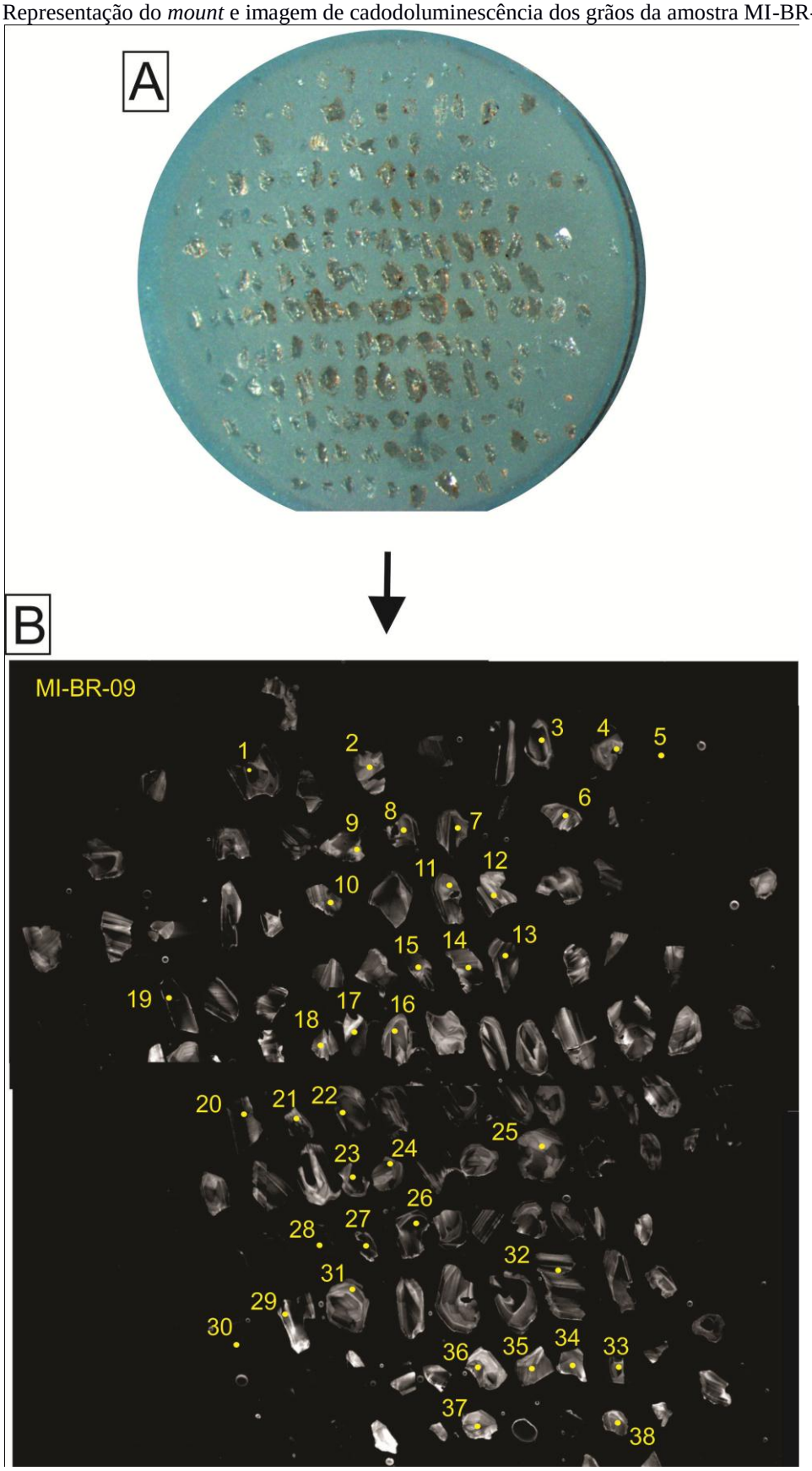
As inclusões são encontradas em todas as frações, porem em poucos grãos, exceto na fração FF/3º que apresenta uma maior concentração de grão com inclusões, estas localizadas de um modo geral nas bordas dos minerais de zircão.

Todas as frações em luz transmitidas apresentam cor rosa claro e são translúcidas, com variações de tons castanho e marrom nas frações FF/5º e FF/N.A. Os tamanhos dos grãos de zircão variam de 100 μm a 800 μm, com os maiores grãos presentes nas frações FF/0º e FF/-0,5º e nas frações FF/5º, FF/3º e FF/N.A. os grãos não são superiores à 550 μm.

Durante a fase de catação em lupa binocular foi observada a presença de molibdenita, apatita, quartzo e ainda um mineral verde que não foi identificado e a fração FF/5º caracterizou-se por uma grande quantidade de sulfetos.

Durante a organização do *mount* a fração FF/5º ocupou as três primeiras fileiras e as demais frações FF/3º, FF/1º, FF/0º, FF/-0,5º e FF/N.A. ocuparam duas fileiras respectivamente, como ilustrado abaixo através de imagens por luz transmitida e catodoluminescência (figura 6.5.1.1.2).

Figura 6.2 - Representação do *mount* e imagem de cadodoluminescência dos grãos da amostra MI-BR-09

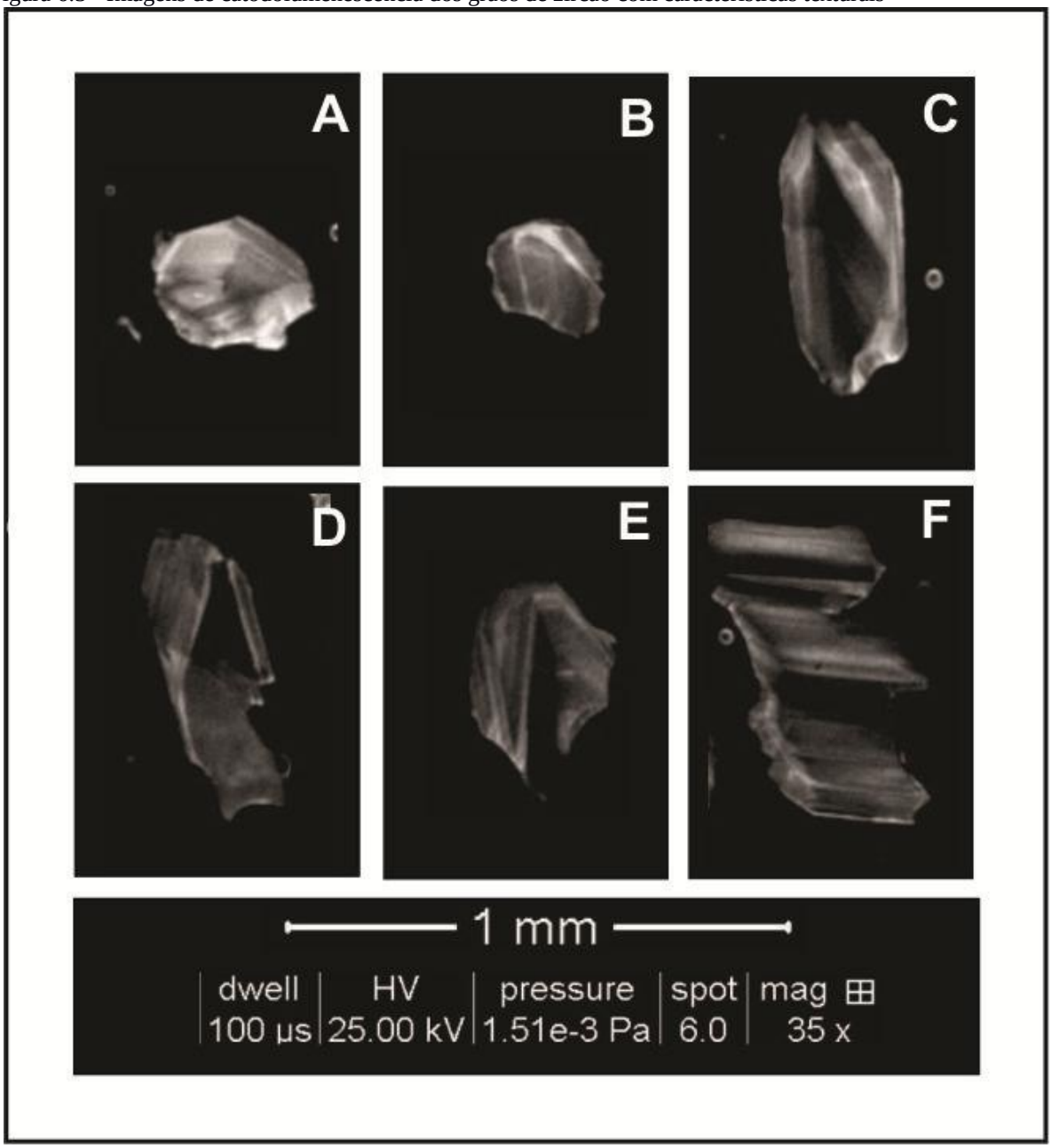


Legenda : A) Representação do *mount* da amostra MI-BR-09, em lupa binocular zoom de 1,5x. B) Imagem de cadodoluminescência dos grãos de zircão analisados na amostra MI-BR-09.

Fonte : O AUTOR, 2015.

A figura 6.5.1.1.2, representa os 38 grãos de zircão analisados, respectivamente, por LA-ICP-MS, escolhidos de forma espaçada e regular, com a estratégia de retratar todas as frações desta amostra. Os grãos foram analisados na seguinte distribuição de frações: a fração FF/5º apresentou nove grãos analisados, a fração FF/-0,5º teve oito grãos, a fração FF/1º apresentou sete análises concluindo com as frações FF/3º, FF/0º e FF/N.A. que tiveram seis grãos analisados cada.

Figura 6.3 - Imagens de catodolumenescência dos grãos de zircão com características texturais



Legenda : (A, B) textura *soccer ball*; (C,D) núcleos com crescimento periférico e (E,F) zoneamento de crescimento oscilatório.
Fonte : O AUTOR, 2015.

Através da utilização das imagens de catodo luminescência e elétrons secundários (MEV), foi possível visualizar melhor as características internas e texturas dos grãos, tais como: as texturas do tipo *soccer ball*, típicas do metamorfismo em altas temperaturas (FF/0º, FF/-0,5º e FF/N.A) (figura 6.5.1.1.3), núcleos magmáticos com crescimento periférico metamórfico (FF/5º e FF/-0,5º) (figura 6.5.1.1.3) e zoneamento oscilatório, que pode ser indicativo de crescimento magmático (FF/5º e FF/-0,5º) (figura 6.5.1.1.3). Estas características texturais dos grãos são semelhantes as descritas por Corfu et al.,(1980) e Harley et al., (2007).

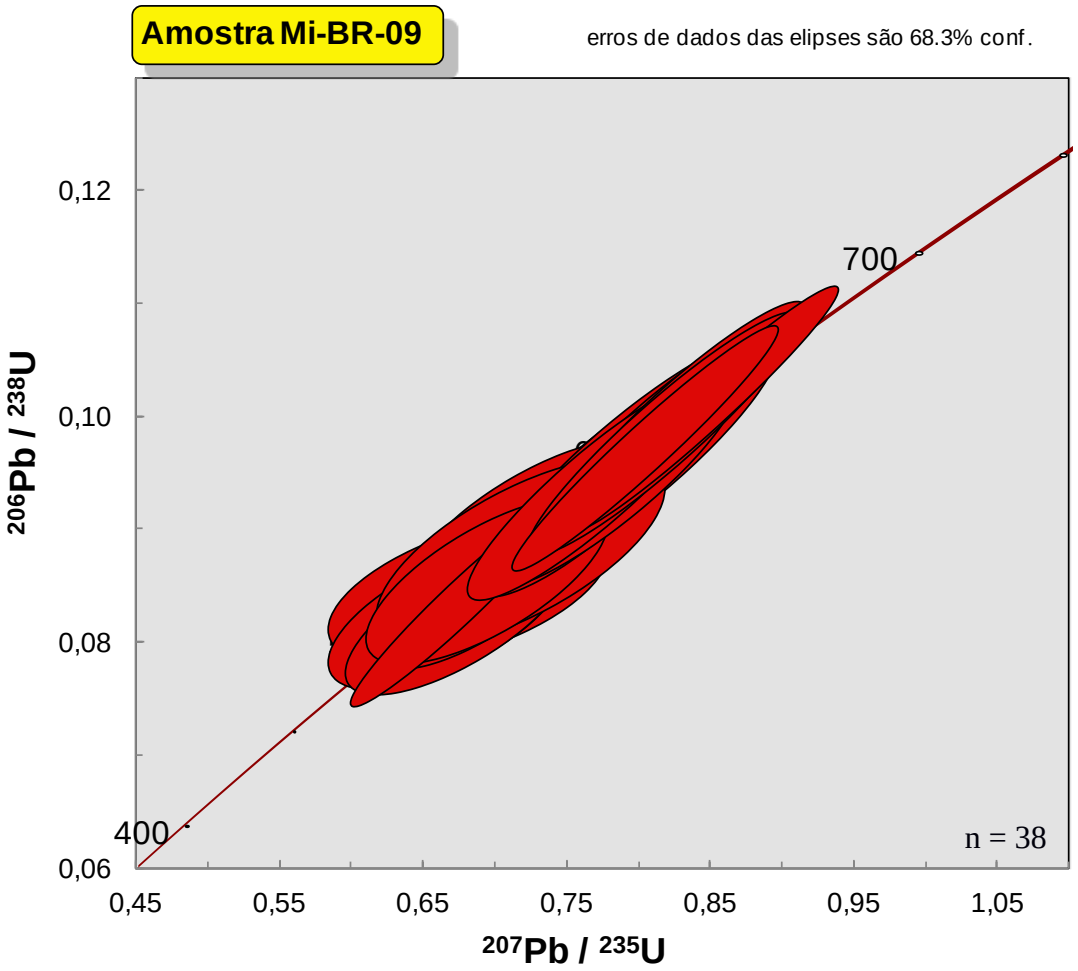
6.5.1.2 Resultados Isotópicos da amostra MI-BR-09

Nesta amostra, quando utilizados os dados isotópicos de todos os 38 grãos de zircão analisados foi possível gerar um diagrama da concórdia para estes grãos, que são concordantes e estão distribuídos sobre a reta da concórdia divididos em dois grupos (polos). Este padrão é típico de rochas que continuam perdendo chumbo sob a reta da concórdia, após cristalização, em altas temperaturas acima de 800°(figura 6.5.1.2.1).

Após esta projeção foi feita uma nova tentativa com a seleção de grãos seguindo os critérios anteriormente descritos (item 1.3 - Critérios para utilização de dados). Foram selecionados 10 grãos, destacados na figura 6.5.1.2.2, com conteúdos de Th variando entre 13 ppm e 99 ppm e U com variações de 17 ppm a 94 ppm, sendo a razão entre estes elementos superiores a 0,70 (quadro 6.5.1.2.1).

Com a utilização destes dados foi possível gerar um diagrama concordante (figura 6.5.1.2.2), onde os grãos analisados apresentam um arranjo colinear dispostos sob a reta da concórdia, cuja idade concordante é estimada ca. 604 ± 20 Ma, (MSWD 0,011) e 92 % de concordância. Esta idade é interpretada, com auxilio dos dados dos grãos que apresentam zoneamento oscilatório (figura 6.5.1.1.3) sendo estimada como a melhor idade de cristalização magmática para rochas do Complexo Marceleza.

Figura 6.4 - Diagrama da concórdia com a distribuição das elipses da amostra MI-BR-09



Legenda : Diagrama da concórdia no intervalo de 480 a 680 Ma.
Fonte : O AUTOR, 2015.

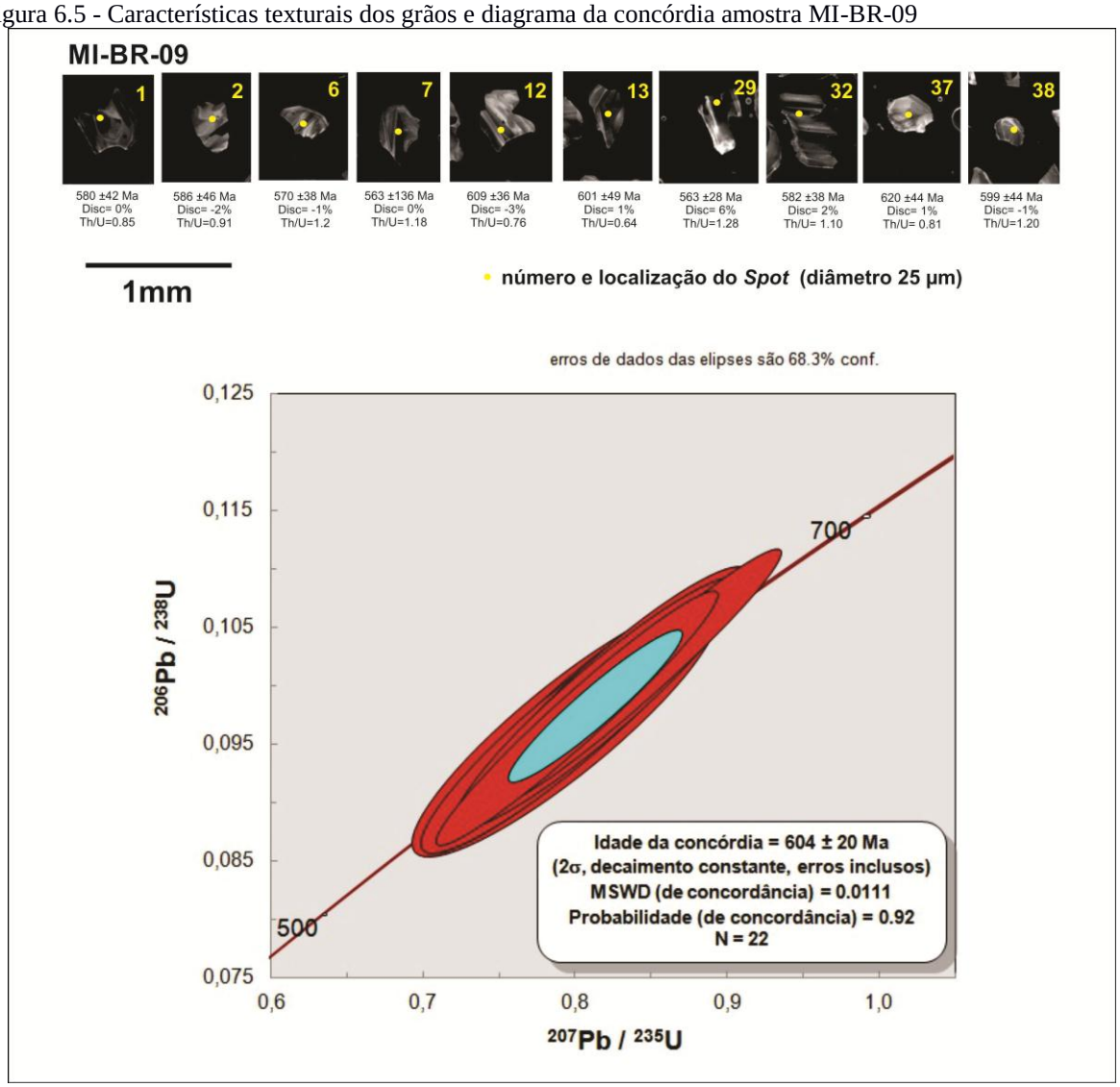
Quadro 6.5.1.2.1 - Quadro de dados U-Pb LA-MC-ICP-MS para Amostra MI-BR-09, para 10 grãos de zircão analisados

Spot number	Ratios							Age (Ma)						%		Th	U	Pb	
	$^{207}Pb^{*}/^{235}U$	±	$^{206}Pb^{*}/^{238}U$	±	Rho 1	$^{207}Pb^{*}/^{206}Pb^{*}$	±	$^{206}Pb/^{238}U$	±	$^{207}Pb/^{235}U$	±	$^{207}Pb/^{206}Pb$	±	Disc.	f 206	ppm	ppm	ppm	$^{232}Th/^{238}U$
Z-08	0,79409	8,35	0,09645	7,45	0,89	0,05971	3,77	594	44	593	50	593	22	0	0,0004	46,0	41,4	4,6	1,12
Z-12	0,81362	6,55	0,09903	5,97	0,91	0,05959	2,70	609	36	604	40	589	16	-3	0,0010	13,3	17,7	2,3	0,76
Z-13	0,80955	8,35	0,09777	8,09	0,97	0,06005	2,07	601	49	602	50	605	13	1	0,0001	59,5	94,2	10,5	0,64
Z-14	0,79922	7,37	0,09633	6,95	0,94	0,06017	2,43	593	41	596	44	610	15	3	0,0003	45,0	39,5	4,5	1,15
Z-15	0,79289	7,77	0,09626	7,15	0,92	0,05974	3,04	592	42	593	46	594	18	0	0,0002	43,8	55,5	6,1	0,79
Z-34	0,82555	7,10	0,09972	6,75	0,95	0,06004	2,21	613	41	611	43	605	13	-1	0,0002	84,2	70,2	8,1	1,21
Z-35	0,82990	6,71	0,10086	6,24	0,93	0,05968	2,47	619	39	614	41	592	15	-5	0,0003	69,5	58,5	7,2	1,20
Z-36	0,81545	7,71	0,09875	7,20	0,93	0,05989	2,74	607	44	606	47	600	16	-1	0,0005	31,2	43,2	5,3	0,73
Z-37	0,84307	7,33	0,10096	7,12	0,97	0,06056	1,76	620	44	621	46	624	11	1	0,0002	61,2	76,6	8,8	0,81
Z-38	0,80216	7,61	0,09742	7,36	0,97	0,05972	1,91	599	44	598	45	593	11	-1	0,0002	99,4	83,5	9,3	1,20
	10 medidas																		

1. Sample and standard are corrected after Pb and Hg blanks
2. $^{207}Pb/^{206}Pb$ and $^{206}Pb/^{238}U$ are corrected after common Pb presence. Common Pb assuming $^{206}Pb/^{238}U$ $^{207}Pb/^{235}U$ concordant age
3. ^{235}U = 1/137.88*Utotal
4. Standard GJ-1
5. Th/U = $^{232}Th/^{238}U$ * 0.992743
6. All errors in the table are calculated 1 sigma (% for isotope ratios, absolute for ages)

Fonte : O AUTOR, 2015.

Figura 6.5 - Características texturais dos grãos e diagrama da concórdia amostra MI-BR-09



Legenda : A) Características texturais e localização do *spot* das análises por LA-MC-ICP-MS em alguns grãos de zircão da amostra MI-BR-09 imageados por catodoluminescência. B) Diagrama da concórdia da mesma amostra para 10 medidas analíticas por LA-MC-ICP-MS.

Fonte : O AUTOR, 2015.

Posteriormente foi realizada outra escolha de grãos, respeitando os critérios apresentados no início deste capítulo (item 1.3 - Critérios para utilização de dados), onde foram selecionados 15 grãos (quadro 6.5.1.2.2), cujos conteúdos de Th estão entre 27 e 146 ppm e U entre 35 a 120 ppm, sendo a razão entre estes elementos sempre maiores que 0,75. Alguns grãos relevantes para construção destas idades estão destacados na figura 6.5.1.1.3.