UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PETROGRAFIA, LITOQUÍMICA, QUÍMICA MINERAL E TERMOBAROMETRIA DE ROCHAS CÁLCIO-ALCALINAS DE ALTO K DE TEXTURA PORFIRÍTICA, EDIACARANAS, NO EXTREMO NE DA PROVÍNCIA BORBOREMA (NE DO BRASIL)

Autora:

BENEDITA CLEIDE DE SOUZA CAMPOS

Orientador:

PROF. DR. MARCOS ANTONIO LEITE DO NASCIMENTO

Coorientador:

PROF. DR. FREDERICO CASTRO JOBIM VILALVA

Dissertação n° 165 / PPGG

Natal-RN, Fevereiro de 2016

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PETROGRAFIA, LITOQUÍMICA, QUÍMICA MINERAL E TERMOBAROMETRIADE ROCHAS CÁLCIO-ALCALINAS DE ALTO K DE TEXTURA PORFIRÍTICA, EDIACARANAS, NO EXTREMO NE DA PROVÍNCIA BORBOREMA (NE DO BRASIL)

Autora:

Benedita Cleide de Souza Campos

Dissertação apresentada em 26 de fevereiro de dois mil e dezesseis ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito à obtenção do Título de Mestre em Geodinâmica e Geofísica, com área de concentração Geodinâmica.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Marcos Antonio Leite do Nascimento (PPGG/UFRN - orientador)

Prof. Dr. Gorki Mariano (DGeo/UFPE)

Dr. Vladimir Cruz de Medeiros (CPRM/NANA)

Natal-RN, Fevereiro de 2016

Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / SISBI / Biblioteca Setorial
Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET.

Campos, Benedita Cleide de Souza.
Petrografia, litoquímica, química mineral e termobarometria de rochas cálcio-alcalinas de alto K de textura porfirítica, ediacaranas, no extremo NE da Província Borborema (NE do Brasil) / Benedita Cleide de Souza Campos. - Natal, 2016.
viii, 98 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Leite do Nascimento.
Coorientador: Prof. Dr. Frederico Castro Jobim Vilalva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

1. Química mineral – Dissertação. 2. Granitos cálcio-alcalino de alto K porfirítico – Dissertação. 3. Província Borborema – Dissertação. 4. Brasil – Dissertação. I. Nascimento, Marcos Antonio Leite do. II. Vilalva, Frederico Castro Jobim. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BSE-CCET CDU: 546

RESUMO

A química mineral de granitos, juntamente com revisão de dados químicos de rocha total e petrografia foram utilizados para determinar as condições de cristalização e as implicações na gênese de granitos Cálcio-alcalinos de alto K com textura Porfirítica. Seis corpos graníticos foram analisados sendo que para os granitos intrusivos dentro do Domínio São José de Campestre (DSJC) foram denominados de granitos leste: Monte das Gameleiras, Barcelona. O granito Acari é intrusivo no domínio Rio Piranhas Seridó (DRPS), porém, foi denominado como granito leste devido às características de química mineral ser mais semelhantes aos granitos leste. Os granitos Caraúbas, Tourão e Catolé do Rocha são intrusivos no DRPS e denominados de granitos oeste. Os seis corpos estão localizados no nordeste da Província Borborema, NE do Brasil. Os plútons são representados principalmente por monzogranitos, texturalmente possuem fácies porfirítica compreendendo fenocristais de K-feldspato com tamanhos entre 5 a 15 cm. K-feldspato, plagioclásio e quartzo constituem a paragênese félsica e dominante; enquanto biotita e anfibólio representam os minerais máficos principais; titanita, minerais opacos, allanita, epídoto, apatita e zircão são os principais acessórios. Em relação ao índice de Shand o granito Monte das Gameleiras mostra-se mais metaluminoso, enquanto os outros seguem a transição metaluminoso a peraluminoso. Em diagramas discriminantes químicos estes se apresentam com caráter transicional (subalcalino). As análises de petrografia e química não expõe as diferenças dos granitos, porém os resultados de química mineral revelam as diferenças dos mesmos e podem ser divididos em dois grupos: a leste (Monte das Gameleiras, Barcelona e Acari) e a oeste (Caraúbas, Tourão e Catolé do Rocha). As razões Fe/(Fe+Mg) da biotita mostra um aumentam do grupo leste para oeste com valores de 0,45 a 0,64 e 0,66 a 0,92 respectivamente. As razões Mg/(Mg+Fe_2) do anfibólio diminui nesse sentido com valores de 0,40 a 0,57 e 0,07 a 0,31. As condições de cristalizações para os granitos a leste (Monte das Gameleiras, Barcelona e Acari) mostram pressão entre 3.8 kbar a 5.5 kbar, com profundidades que variam de 14 km a 21 km a uma temperatura entre 701 ºC a 742ºC e a oeste (Caraúbas, Tourão e Catolé do Rocha) com pressões de 4.8 kbar a 6.2 kbar e profundidades que variam de 18 km a 23 km a uma temperatura entre 723 ºC - 776 °C. Ambas as áreas, tanto leste como oeste foram gerados a partir de magmas oxidados com valores de ΔFQM (-1 a +2.0). As profundidades das intrusões graníticas podem estar relacionadas aos deslocamentos de falhas e ao alto conteúdo de água e voláteis que permitem que o magma de alguns plutons atinja níveis mais rasos em relação aos outros.

Os resultados mostram um aumento sistemático de temperatura e pressão de cristalização dos plútons de leste para oeste sugerindo um espessamento crustal nessa direção nos dois domínios geológicos pesquisados.
Palavras chaves: Química mineral; Granitos Cálcio-alcalino de alto K Porfirítico; Província Borborema; Brasil.

ABSTRACT

The mineral chemistry from granites, chemical of whole rock and review of petrography were used to determine the crystallization conditions and the implications in the genesis of high-K calc-akaline granites that are porphyritics, localizated in the Rio Piranhas-Seridó (RPSD) and São José de Campestre Domains (SJCD). Six granitic bodies were analyzed and that for the intrusive granites within the SJCD were named East granites: Monte das Gameleiras, Barcelona. The Acari granite intrudes the area RPSD, however, was called as granite east due to the characteristics of mineral chemistry is similar to east granites. Granites Caraúbas, Tourão and Catolé do Rocha are intrusive in the RPSD and called west granites. The six bodies are located in the northeast of the Borborema Province, NE Brazil. The plutons are represented by monzogranites wich have porphyritic facies with phenocrysts of K-feldspar with sizes between 5 and 15 cm. The K-feldspar, plagioclase and quartz are the dominant paragenesis; while the biotite and amphibole are the main mafic minerals; and titanite, opaque minerals, allanite, epidote, apatite and zircon are the accessories minerals. The Monte das Gameleiras granite shows metaluminous aluminium saturation index, whereas the others plutons metaluminous to peraluminous. In geochemical diagrams, the granites present with transitional character (subalcalino). The petrographic and geochemical analysis didn't show the differences between the plutons, but according to the mineral chemistry they can be divided into two groups: Monte das Gameleiras, Barcelona and Acari (east) and Caraúbas, Tourão e Catolé do Rocha (west). The Fe/(Fe + Mg) ratio of biotite shows an increase from east to west group with values from 0.45 to 0.64 and 0.66 to 0.92 respectively, and the Mg / (Mg + Fe_2) of amphibole decreases with values from 0.40 to 0.57 and from 0.07 to 0.31. The crystallization parameters of east granites, The crystallization conditions for granites east (Monte das Gameleiras, Barcelona and Acari) show pressure between 3.8 kbar to 5.5 kbar, with depths ranging from 14 km to 21 km at a temperature between 701 ° C to 742ºC and west (Caraúbas, Tourão and Catolé Rock) with pressures to 4.8 kbar to 6.2 kbar and depths ranging from 18 km to 23 km at a temperature between 723 ° C - 776 ° C. Both areas, east and west were generated from magmas oxidized with ΔFQM values (-1 a +2.0). The depths of granite intrusion failures may be related to offsets and high water content and volatile that allow the magma some plutons reaches shallower levels in relation to the other. The results show a systematic increase in temperature and crystallization pressure east of plutons west suggesting crustal thickening in that direction. The results show a

systematic increase in temperature and crystallization pressure east to west plutons, suggesting crustal thickening in that direction in the two domains studied.
Keywords: Mineral chemistry; Porphyritic high-K Calc-akaline granites; Borborema Province; Brazil.

AGRADECIMENTOS

A **Energia Superior** que nos guia, nos protege e nos ilumina, dando-nos sabedoria e força para evoluir como espírito em todas as áreas do conhecimento. Obrigada!

Gostaria de expressar gratidão primeiramente a três professores do PPGG que, com seus esforços tornaram esta dissertação possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Antonio Leite do Nascimento, pela preciosa oportunidade de orientação no mestrado, pelo aconselhamento, paciência e todo conhecimento transmitido.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Frederico Castro Jobim Vilalva, pela paciência, orientação e dedicação para que eu me tornasse uma pesquisadora melhor.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Galindo, que nunca mediu esforços para me ajudar, sempre disponível para retirar as minhas infinitas dúvidas e colaborar com o meu crescimento profissional. Aos senhores **muitíssimo obrigada!**

Agradeço ao programa de pós-graduação (PPGG), a CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado e aos professores do departamento de geologia que de alguma forma contribuíram para minha formação, Profs. Drs. Laécio Souza, Jaziel Martins, Davi Castro, Venerando Eustáquio. À secretária do PPGG, Sra. Nilda Lima pela atenção em todos os momentos.

Aos pesquisados da CPRM Vladimir Medeiros, Rogério Cavalcante e Alexandre Ranier por todo auxílio e discussões construtivas.

Além do mundo da investigação e pesquisa, gostaria de agradecer imensamente minhas famílias e amigos. A família Mato-grossense, meus pais Egídio e Palmira, minhas irmãs, meus irmãos e Eloá Rondon, pelo amor incondicional e por acreditarem em mim. A todos da minha família potiguar especialmente a Leonlene e Leonardo. Obrigada pela compreensão!

E finalmente aos meus amigos do coração... Às "Pantaneiras Keyla e Suelem", não há palavras que possam expressar minha gratidão por vocês duas, mas fica a tentativa, **Muito obrigada!** À Juliana Silvestre, Lenita Cunha, Gislaine Martins, Tatiane Gomes, Sirlane Silva, Pablo Aranha, Elaine Lima, Carlos Ulema, Elvio Schelle, Samir Valcácio, Antomat Macedo, Diogo Santos. Valeu amigos!

A todos que contribuíram de forma direta e indiretamente para que essa dissertação fosse possível. Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....i
ABSTRACT..... iii
AGRADECIMENTOS.....v

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO 01
1.1 Apresentação do Tema e Objetivo 01
1.2 Localização e vias de acesso 02
1.3 Métodos e Técnicas 03

CAPITULO 2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL..... 05
2.1 Província Borborema 05
2.2 Domínio Rio Piranhas-Seridó 07
2.3 Domínio São José de Campestre 08
2.4 O Magmatismo Plutônico 09
2.4.1 Suíte Shoshonítica 11
2.4.2 Suíte Cálcio-alcalina de Alto K Porfirítica 11
2.4.3 Suíte Cálcio-alcalina de Alto K Equigranular 12
2.4.4 Suíte Cálcio-alcalina 13
2.4.5 Suíte Alcalina 13
2.4.6 Suíte Alcalina Charnoquítica 14

CAPITULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO DOS PLÚTONS PESQUISADOS 15
3.1 Plúton Monte das Gameleiras 15
3.2 Plúton Barcelona 15
3.3 Plúton Acari 15
3.4 Plútons Caraúbas e Tourão 16
3.5 Plúton Catolé do Rocha 17

CAPITULO 4 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA 18
4.1 Introdução 18
4.2 Assembleia Félsica 19
4.3 Assembleia Máfica 20

CAPITULO 5 - LITOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL 23
5.1 Diagramas de Variação 23
5.2 Contexto de Séries Magmáticas 25
5.2.1 Saturação em Alumina 25
5.2.2 Diagramas Discriminantes de Séries Magmáticas 26

CAPÍTULO 6 – CRYSTALLIZATION CONDITIONS OF PORPHYRITIC HIGH-K CALC-ALKALINE GRANITOIDS IN THE EXTREME NORTHEASTERN BORBOREMA PROVINCE, NE BRAZIL, AND GEODYNAMIC IMPLICATIONS ..29
Abstract 30
1 INTRODUCTION 31
2. GEOLOGICAL BACKGROUND 32
3. MATERIALS AND METHODS 34
4. PETROGRAPHIC ASPECTS 35
5. MINERAL CHEMISTRY 38
5.1 Amphibole 38
5.2 Biotie 40
5.3 Plagioclase 44
5.4 Acessory Minerals 44
6. INTENSIVE CRYSTALLIZATION PARAMETERS 47
6.1 Pressure 47
6.2 Temperature 48
6.3 Redox conditions 49
7. GEODYNAMIC IMPLICATIONS 53
8. CONCLUSIONS 54
REFERENCES 56

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES 63
CAPÍTULO 8 - REFERÊNCIAS 65

ANEXOS

CAPÍTULO 1 – Introdução

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E OBJETIVO

A determinação das condições de cristalização de maciços graníticos é tema fundamental na definição da história evolutiva dos magmas que os constituem e dos terrenos geológicos onde eles se alojam.

Os avanços no desenvolvimento de novas metodologias para estimar quantitativamente alguns parâmetros físico-químicos como a pressão (P), temperatura de cristalização (T) e fugacidade de oxigênio (fO_2) teve grande impulso nas últimas décadas, como por exemplo o geobarômetro de Al em anfibólios de Schmidt (1992) e Ridolfi e Renzulli (2012).

Desta forma, o estudo mineraloquímico é utilizado para estimar os parâmetros intensivos de cristalização, pois a composição química do magma e as condições físico-químicas ao qual é submetido refletirão diretamente na formação das assembleias minerais ocorrentes nas rochas ígneas (Abbott e Clarke, 1979; Abbott, 1985).

A assembleia mineral quartzo + plagioclásio + feldspato + biotita + hornblenda + titanita + magnetita ± ilmenita são comuns em rochas cálcio-alcalinas de alto K, o que torna possível calcular a pressão por meio do conteúdo de Al em hornblenda (Schmidt 1992, Ridolfi e Renzulli, 2012) e a temperatura pelo par mineral hornblenda-plagioclásio (Holland e Blundy 1994). Já a fugacidade de oxigênio (fO_2) pode ser calculada pelos minerais máficos, que possuem Fe em sua composição, óxidos de Fe-Ti e epídoto, e também pela assembleia titanita+magnetita+quartzo (Wones, 1989).

No extremo nordeste da Província Borborema, especificamente nos domínios Rio Piranhas-Seridó e São José de Campestre (Angelim et al., 2006), os granitos cálcio-alcalino de alto K de textura porfirítica chamam especialmente a atenção pelo grande volume dos batólitos e pela ampla ocorrência.

Buscando compreender melhor a petrogênese destas rochas, foram selecionados seis corpos graníticos sendo que para os granitos intrusivos dentro do Domínio São José de Campestre foram denominados de granitos leste: Monte das Gameleiras, Barcelona. Os granitos Caraúbas, Tourão e Catolé do Rocha são intrusivos no Domínio Rio Piranhas-

Seridó e denominados de granitos oeste. O granito Acari é intrusivo no domínio Rio Piranhas Seridó, porém, foi denominado como granito leste devido às características de química mineral ser semelhantes aos granitos leste. As denominações leste e oeste estão atribuídos aos próprios limites tectônicos dos Domínios.

O objetivo desta pesquisa é revisar, adicionando novas informações, a petrografia e a química de rocha total destes plútons, bem como analisar e interpretar a química mineral de anfibólio, biotita, plagioclásio, titanita, magnetita e epidoto para estimar os parâmetros intensivos de cristalizações e verificar diferenças nas condições de cristalização (T, P e fO_2) entre eles.

1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área em foco situa-se na porção nordeste do Brasil abrangendo o estado do Rio Grande Norte e parte do estado da Paraíba. O acesso principal aos corpos estudados, sendo quase todos aflorantes nas cidades homônimas, pode ser feito por meio das rodovias federais e estaduais. Para o acesso ao Granito Catolé do Rocha a 345 km distante da capital Natal/RN, utiliza-se a BR-304 e a RN-226. Os granitos Caraúbas e Tourão pode ser acessado pelas rodovias BR-304 e RN-233 estando à 348 km da cidade de Natal/RN. O Granito Acari localiza-se a 206 km de Natal/RN e seu acesso é feito através da BR-304, RN-226 e BR-427. O Granito Barcelona fica a 90 km da cidade de Natal/RN e seu acesso pode ser realizado pela BR-304 e RN-203. Por fim o Granito Monte das Gameleiras que se encontra a 140 km da cidade de Natal/RN pode ser localizado através da BR-101 e RN-269 (Figura 1.1).

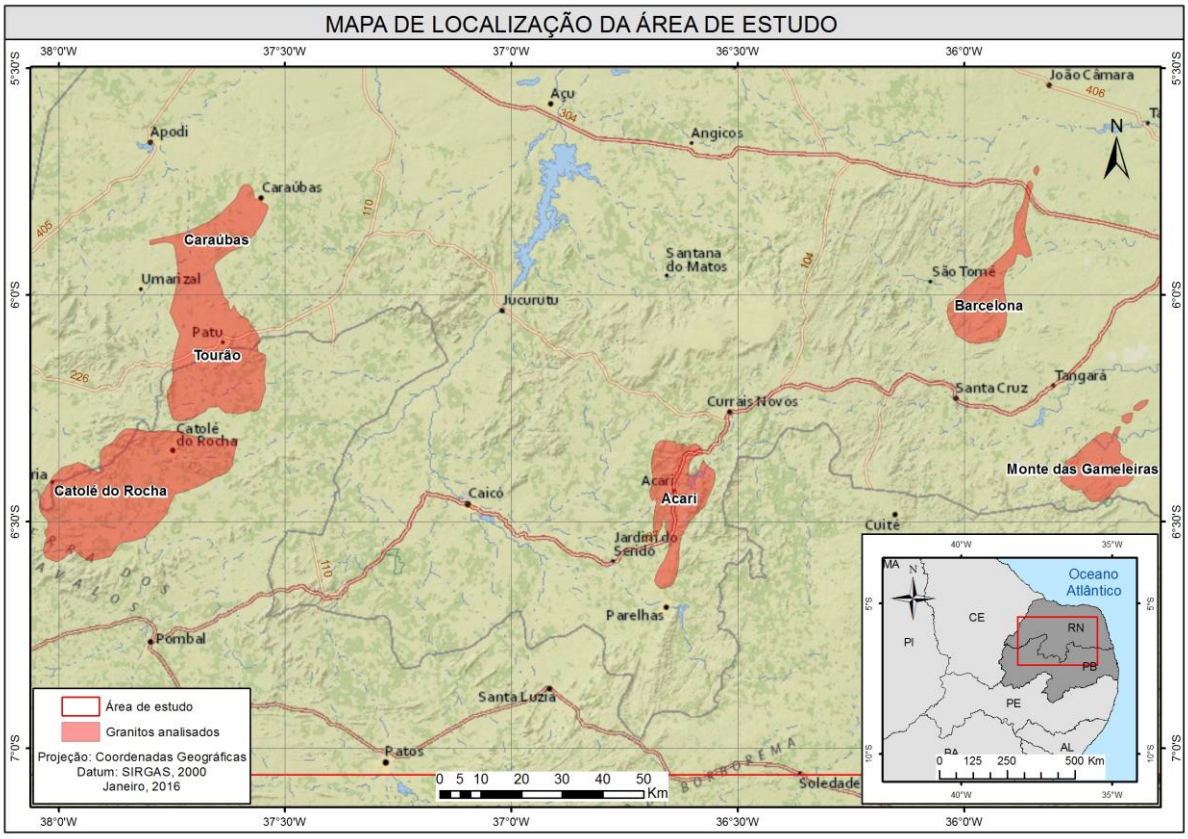

Figura 1.1 - Mapa de localização e vias de acesso aos granitos pesquisados.

1.3 MÉTODOS E TÉCNICAS

Para a elaboração desta pesquisa foram desenvolvidos trabalhos de escritório envolvendo primeiramente uma ampla pesquisa bibliográfica das publicações já desenvolvidos na área.

Em um segundo momento foram selecionadas da literatura dados de petrografia das rochas de cada corpo, bem como analisadas algumas amostras ao microscópio petrográfico. Posteriormente foram obtidas, também na literatura, análises químicas de elementos maiores dos diferentes corpos: Monte das Gameleiras (Antunes *et al.* 2000), Barcelona (Cavalcante *et al.* 2014); Acari (Jardim de Sá, 1994); Caraúbas e Tourão (Galindo, 1993) e Catolé do Rocha (Medeiros *et al.* 2008) totalizando 83 amostras, sendo 23 para Monte das Gameleiras, 10 para Barcelona, 16 para Acari, 6 para Caraúbas, 15 para Tourão e 12 para Catolé do Rocha (Anexo 1).

Para interpretação das análises químicas e de química mineral foram confeccionados diferentes diagramas lançando mão de programas da Microsoft Excel, CorelDRAW e Grapher 9.

Análises de microssonda quantitativas WDS de cristais representativos de anfibólio, biotita, plagioclásio, titanita, magnetita e epidoto foram obtidos em seções polidas finas de espessura 30 microns em amostras selecionadas a partir dos plutons Monte das Gamaleiras (amostras MG-01 e MG-20), Acari (ED-128), Caraúbas (Amostras C-135 e C-284), Tourão (amostra T-124b) e Catolé Rocha (amostra FT-04). Além disso, dados de química mineral para o Plúton Barcelona foram compilados de Cavalcante *et al*. (2014).

As análises de química minerais WDS para o Monte das Gameleiras, Acari, Tourão e Caraúbas (amostra C-135) foram obtidas usando uma microssonda eletrônica Cameca Camebax SX100 na Universidade Blaise Pascal, em Clermont-Ferrand (França). Foi analisada a amostra C-284 do Plúton Caraúbas em uma Cameca Camebax SX50 na Universidade de Nancy I (França). Composições químicas dos minerais investigados (exceto para plagioclásio) do Plúton Catolé do Rocha foram obtidas utilizando um equipamento Jeol JXA-8230 no laboratório da Universidade de Brasília/Brasil. Em todos os casos, as condições analíticas foram de 15 kV para a tensão de aceleração coluna, 8-11 nA para a corrente do feixe, e o tempo de integração de impulsos máxima total de 10 s. Silicatos naturais e óxidos sintéticos foram usados como padrões, os efeitos da matriz e foram corrigidas com o procedimento ZAF.

As fórmulas minerais e partições Fe^{3+}/Fe^{2+} foram calculadas com o software MinCal (G. Gualda e S. Vlach: https://my.vanderbilt.edu/ggualda/mincal). Os cálculos de anfibólio foram realizados a partir da sugestão de Gualda e Vlach (2005) e foram feitas com base no método de Schumacher (em Leake *et al*. 1997), considerando máxima Fe^{3+}, usando a opção 13 e CNK. A nomenclatura do supergrupo anfibólio foi revista pelo IMA no trabalho de Hawthorne *et al*. (2012). De acordo com as novas recomendações dos anfibólios analisados são classificados principalmente como pargasita. No entanto, preferiu-se manter o esquema de nomenclatura de Leake *et al*. (1997) uma vez que este procedimento melhor enfatiza as diferenças dos anfibólios entre os plútons investigados. A biotita é calculada por Dymek (1983), com base em 22 oxigênios. As fórmulas estruturais de plagioclásio, titanita, magnetita e epidoto foram calculados com base em 32 O, 4 Si e 20 O, 32 O e 12,5 O, respectivamente, de acordo com as recomendações de Deer *et al*. (2013).

CAPÍTULO 2 – Contexto Geológico Regional

2.1 PROVÍNCIA BORBOREMA

A Província Borborema (Almeida *et al.* 1977, 1981, Figura 2.1) constitui uma vasta região com mais de 400.000 km^2 de área na porção nordeste da Plataforma Sul-Americana, sendo limitada a oeste pela Bacia do Parnaíba, a sul pelo Cráton São Francisco, a norte e a leste pelas bacias costeiras do nordeste brasileiro.

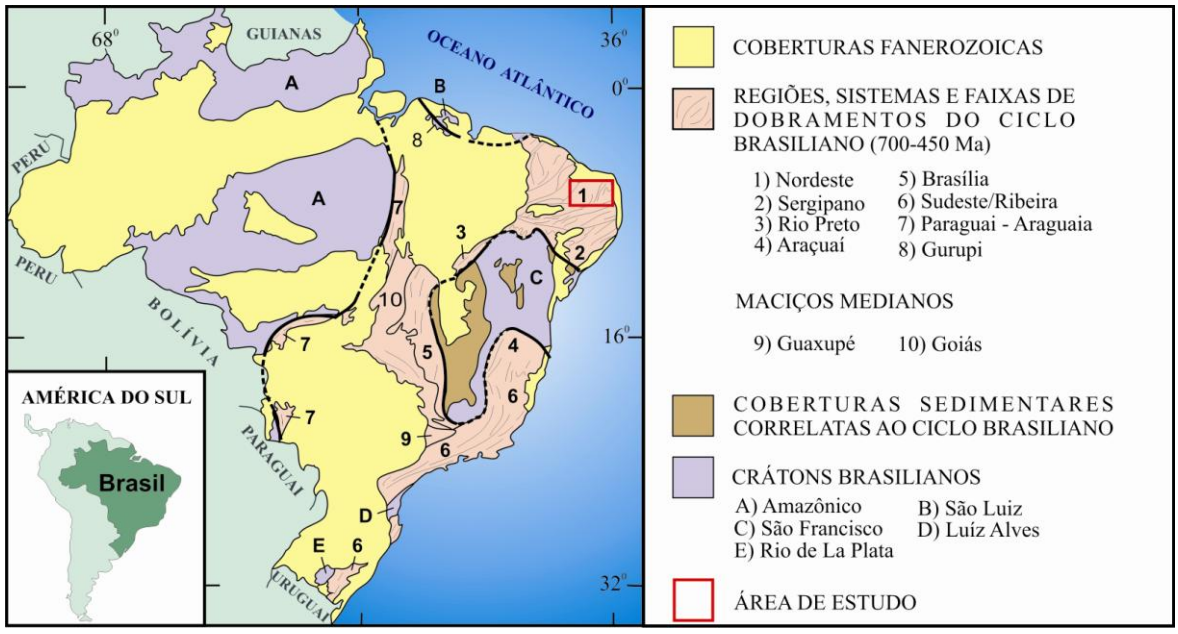

Figura 2.1 - Compartimentação do território brasileiro (regiões, sistemas, faixas de dobramentos e crátons), segundo Schobbenhaus *et al*. (1984). A Província Borborema definida por Almeida *et al*. (1977, 1981) compreende a Região de Dobramentos Nordeste e a Faixa Sergipana (áreas 1 e 2 na figura).

A Província Borborema é constituída por blocos de embasamento de idade paleoproterozoica, com alguns remanescentes do arqueano e sequências metassedimentares e metavulcânicas de idades meso e neoproterozoicas, configurando um cinturão orogênico meso-neoproterozoico, envolvendo microplacas e terrenos/domínios mais antigos (Angelim *et al*. 2006). Sua evolução culminou com uma colagem tectônica brasiliana/pan-

africana em cerca de 600 Ma (Brito Neves *et al.* 2000), a qual foi acompanhada de um importante plutonismo granítico.

Neves (2003) e Neves *et al*. (2006) defendem a hipótese de que a Província Borborema, antes da separação do Supercontinente Pangea, fez parte de um grande bloco tectônico que se manteve consolidado desde 2,0 Ga.

Contrário a essa hipótese, Araújo *et al*. (2014) propõe que a Província Borborema foi desenvolvida entre 620 a 570 Ma, resultado de dois eventos colisionais. A primeira colisão ocorreu no oeste do orógeno Gondwana, no leste da Província, entre 620-610 Ma, como resultado da colisão entre o bloco Parnaíba e oeste do Cráton Amazônico-Africano. A zona de sutura colisional, foi reativada em uma zona transformante (Lineamento Transbrasiliano), resultando na colisão entre a Província Borborema e o Cráton São Francisco ao sul, e entre 590-580 Ma, marcando a colisão II, ao longo do Orógeno Sergipano. A combinação de tensões de empurrão para o leste, a partir da colisão I e empurrão para o norte a partir do Cráton recuado identificado como litosfera mais espessa, deu origem a uma extensa rede de zonas de cisalhamento transcorrente em toda a província, forçando sua extrusão para nordeste (Araújo *et al.*, 2014).

A complexidade tectonoestrutural da Província Borborema gerou vários modelos de compartimentação tectônica com base na subdivisão em faixas dobradas/supracrustais e maciços medianos ou em domínios estruturais (Brito Neves 1975, 1983; Santos e Brito Neves 1984). Estes modelos consideram as faixas de supracrustais como de evolução monocíclica, de idade neoproterozoica e relacionadas ao ciclo brasiliano/panafricano, enquanto que os maciços medianos teriam uma evolução policíclica. Jardim de Sá *et al.* (1988) defenderam a presença de algumas faixas supracrustais policíclicas, advindas da orogênese Transamazônica e retrabalhados pelo evento brasiliano. Outras propostas como de Caby *et al*. (1991) admitem que a sequência basal de algumas destas faixas sejam de idades paleo ou mesoproterozoicas com deformações geradas no ciclo brasiliano.

Delgado *et al*. (2003) dividiram a província em três segmentos tectônicos denominados de: Subprovíncia Setentrional, situado a norte da zona de cisalhamento Patos; Subprovíncia da Zona Transversal, compreendido pelas zonas de cisalhamento Patos a norte e a zona de cisalhamento Pernambuco a sul, e Subprovíncia Meridional, entre a zona de cisalhamento Pernambuco e o Cráton do São Francisco. Estas subprovíncias foram subdivididas em domínios, terrenos ou faixas, com base na litoestratigrafia, feições estruturais, dados geocronológicos e assinaturas geofísicas.

Angelim *et al*. (2006) utilizam a classificação de Subprovíncia Setentrional para a compartimentação tectônica do Estado do Rio Grande do Norte, inserindo o conceito de *domínio* para a subdivisão tectonoestrutural de primeira ordem. Nessa nova classificação o Domínio Rio Grande do Norte passaria a ser: Domínio Jaguaribeano (DJG), Domínio Rio Piranhas-Seridó (DRPS) e Domínio São José do Campestre (DSJC).

No presente trabalho, a compartimentação utilizada para a Província Borborema foram as propostas por Angelim *et al.* (2006) e Medeiros *et al.* (2004, 2011), onde os domínios corresponderiam a grandes entidades tectônicas, limitadas por zonas de cisalhamento que não representariam necessariamente à terrenos alóctones/exóticos conforme as proposições de Coney *et al.* (1980), Coney (1989) e Howell (1995) (Figura 2.2). Com base nessa compartimentação a área de estudo está inserida nos domínios Rio Piranhas-Seridó e São José de Campestre.

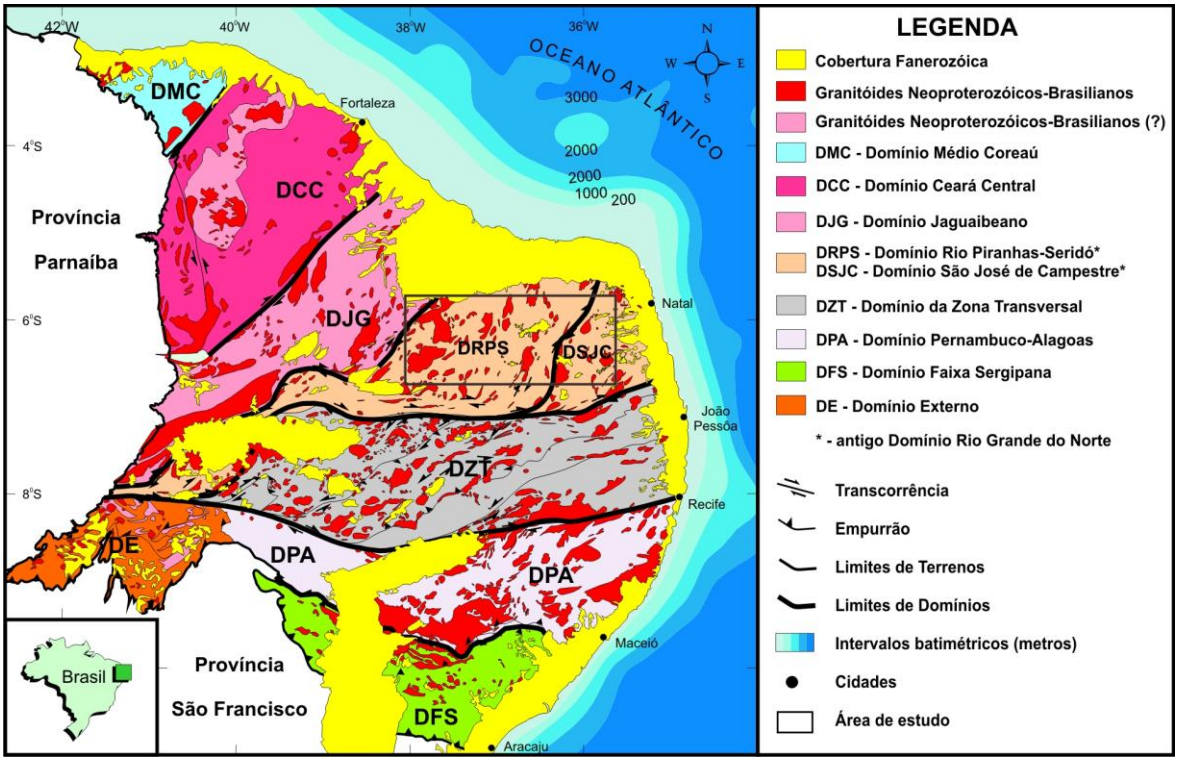

Figura 2.2 - Compartimentação tectônica da Província Borborema, com a localização da área do estudo, atualizado de Medeiros *et al.* (2004, 2011).

2.2 - DOMÍNIO RIO PIRANHAS-SERIDÓ

Este domínio é delimitado a sul, leste e oeste, respectivamente, pelas zonas de cisalhamento Patos, Picuí-João Câmara e Portalegre, enquanto o limite norte se dá por coberturas fanerozoicas. De acordo com Angelim *et al.* (2006) o domínio caracteriza-se

pela presença de rochas metaplutônicas e metavulcanossedimentares de idade paleoproterozoica (Riaciana), correlacionáveis a do Complexo Caicó, incluindo, ainda, uma suíte de *augen* gnaisses graníticos de idade paleoproterozoica (Orosiriana), com alguns destes *augen* gnaisses graníticos datados de idades Ricianas, em torno de 2,25 a 2,17 Ga, (Hollanda *et al.* 2011 e Medeiros *et al*. 2012). Estas rochas constituem o embasamento para as supracrustais neoproterozoicas do Grupo Seridó que engloba as formações Jucurutu (paragnaisses com lentes de mármores e calciossilicáticas associadas), Equador (quartzitos e metaconglomerados associados) e Seridó (predominando micaxistos).

2.3 - DOMÍNIO SÃO JOSÉ DE CAMPESTRE

Esse domínio é limitado pela Zona de Cisalhamento Picuí-João Câmara, a oeste, pela Zona de Cisalhamento Remígio-Pocinhos, a sudeste, a sul pela Zona de Cisalhamento Patos e a leste/norte pelas coberturas fanerozoicas, sendo definido por Angelim et al. (2006) como um domo arqueano amalgamado por segmentos crustais paleoproterozoicos, contendo supracrustais.

O bloco mais antigo Arqueano, Metatonalito Bom Jesus é composto pelas unidades paleoarqueana de idades (U-Pb 3.4-3.5 Ga, Dantas *et al.* 2004; Dantas e Roig, 2013), constituídas de ortognaisses tonalíticos migmatizados. A unidade meso/paleoarqueana, Complexo Presidente Juscelino, possui idades (U-Pb 3.25 Ga, (Dantas *et al.* 2004, Dantas e Roig, 2013; Roig e Dantas, 2013), sendo representado por ortognaisses e migmatitos. As unidades mesoarqueanas são: Complexo Brejinho com idades (U-Pb 3.18 Ga, Dantas *et al.* 2004; Roig e Dantas, 2013), constituídas granada-biotita ortognaisses tonalíticos, trondhjemíticos, granodioríticos e monzograníticos e Complexo Senador Elói de Souza com idades (U-Pb 3.0 Ga, Dantas e Roig, 2013; Roig e Dantas, 2013) rochas gnáissicas melanocráticas. A unidade neoarqueana Granitoide São José do Campestre apresenta idades de (U-Pb 2.6 Ga, Dantas e Roig, 2013; Roig e Dantas, 2013; Souza *et al*. 2015) e são constituídos de ortognaisses monzograníticos a sienograníticos. A unidade paleoproterozoica é formada pelo Complexo João Câmara (migmatitos, gnaisses bandados, hornblenda-biotita ortognaisses, anfibolitos, leucogranitos e, subordinadamente, tremolita-actinolita xistos), Complexo Serrinha-Pedro Velho (migmatitos e ortognaisses), Complexo Santa Cruz idades de (U-Pb 2.2-2.1 Ga, Dantas e Roig, 2013; Roig e Dantas, 2013), com biotita-hornblenda ortognaisses granodioríticos, biotita *augen* gnaisses granodioríticos e

biotita-hornblenda ortognaisses tonalíticos) e Suíte Inharé (diques e soleiras de anfibolitos).

Semelhante ao Domínio Rio Piranhas-Seridó, ocorrem ainda uma unidade neoproterozoica associada ao Grupo Seridó formada por rochas das formações Jucurutu, Equador e Seridó.

2.4 O MAGMATISMO PLUTÔNICO

A primeira classificação das atividades plutônicas da Província Borborema relacionadas ao Ciclo Brasiliano foi proposta por Almeida *et al*. (1967), posicionando os granitoides tectonicamente em: (I) sin-tectônicos, subdivididos em Itaporanga e Conceição (porfiríticos e equigranulares respectivamente), e (II) tardi-tectônicos, compreendendo os tipos Catingueira e Itapetim. O magmatismo aqui pesquisado está representado pelos granitóides sin-tectônicos tipo Itaporanga.

Especialmente nos domínio Rio Piranhas-Seridó e São José de Campestre (Figura 2.3), as rochas plutônicas estão representadas por batólitos, *stocks* e diques (Nascimento *et al.* 2000, 2008, 2015), sendo classificadas de acordo com a composição química e petrografia em seis suítes, sendo elas: Shoshonítica, Cálcio-alcalina de alto K-porfirítica, Cálcio-alcalina de alto K Equigranular, Cálcio Alcalina, Alcalina e Alcalina Charnoquítica.

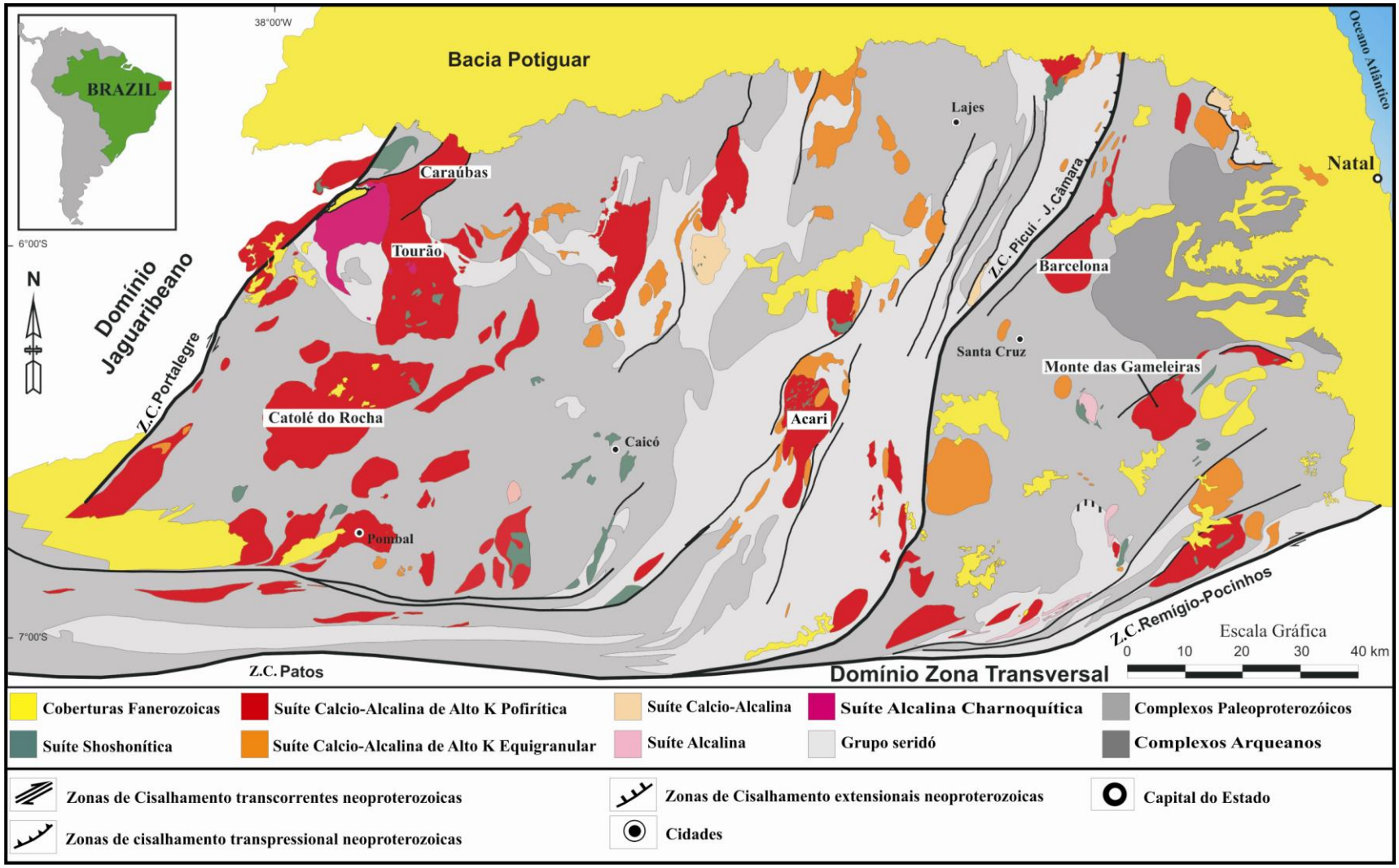

Figura 2.3 - Mapa de localização da área de estudo na Província Borborema e o arcabouço geológico dos domínios Rio Piranhas-Seridó e São José de Campestre, com ênfase no magmatismo granítico neoproterozoico - modificado de Nascimento *et al.* (2015).

2.4.1 Suíte Shoshonítica

Esta suíte compreende pequenos plútons (Quixaba, São João do Sabugi, Casserengue, Riachão e Poço Verde) que ocorrem associados a corpos das suites Cálcio-alcalina de alto K de Textura Porfirítica e Calcio-Alcalina.

É constituidas de rochas variando composição gabro-diorítica a quartzo monzonítica, com textura fina a média, equigranular ou inequigranular. Estas rochas são enriquecidas em Fe_2O_{3t}, MgO e CaO, TiO_2 e P_2O_5 e em terras raras leves, com suaves anomalias negativas de Eu. Em relação ao índice de aluminosidade (Maniar e Piccoli 1989) mostram-se de caráter metaluminoso e baseados nos diagramas discriminantes geoquímicos são rochas de tendência mais aproximada a shoshonítica.

As idades geocronologicas desta suite são complexas devido à evidência de contaminação e mistura de magma entre as rochas, sendo assim, os dados de datações mais recentes demonstram maiores confiabilidades. Datações geocronológicas pelo método U-Pb em zircões forneceram idades de 579±7 Ma para os dioritos de Acari (Leterrier *et al*. 1994) e 599±16 Ma para o norito Poço Verde (Dantas, 1997). Analises por microssonda eletrônica em monazitas para esse mesmo norito forneceram idade de 553±10 Ma, sendo interpretada como o pico de um evento em fácies granulito que atuou sobre o corpo (Souza *et al.* 2006). Datações geocronológicas pelo método U-Pb (Shrimp) em zircão forneceram idades de 588 ± 6 Ma para rochas do corpo Riachão, Guimarães *et al*. (2009a). As datações de Archanjo *et al*. (2013), utilizando o mesmo método acima, forneceram idades de 597 ± 6Ma, para fácies diorito do pluton Totoró e fácies gabronorito idades de 595 ± 3 Ma.

2.4.2 Suíte Cálcio-alcalina de Alto K Porfirítica

A Suíte Cálcio-alcalina de alto K de Textura Porfirítica é a mais expressiva volumetricamente dentre as suítes, compreende batólitos isolados (Caraúbas, Tourão, Serra do Lima, Catolé do Rocha, Serra Branca, Serra João do Vale, São Rafael, Acari, Barcelona e Monte das Gameleiras) estando associadas a outros tipos de rochas principalmente da suíte shoshonítica. Predomina uma composição monzogranítica, podendo variar de granodioritos a quartzo monzonitos.

A textura das rochas é porfirítica com grandes fenocristais de K-feldspato (de até 15 cm de comprimento), com um fina borda plagioclásio sódico, essa textura é também

reconhecida como “dente de cavalo” nos batólitos Acari, (Jardim de Sá *et al*. 1986), Monte das Gameleiras (Galindo, 1982), São José de Espinharas (Jardim de Sá *et al.*, 1987), Patu-Caraúbas (Galindo, 1993), Barcelona e Pombal (Archanjo, 1993).

As rochas desta suíte são enriquecidas em álcalis e mostra pouco a forte fracionamento dos ETR’s, com anomalia negativa de Eu. De acordo com o índice de Shand representam rochas meta a peraluminosas. Em diagramas discriminantes geoquímicos estas rochas apresentam-se com caráter transicional (subalcalina), ocorrendo entre rochas de associações cálcio-alcalina e alcalina.

Datações geocronológicas pelo método U-Pb em zircões e titanitas para esta suíte mostraram um intervalo de entre 571 e 579 Ma, com valor médio de 575±Ma (Nascimento, 2008). Archanjo *et al*. (2013) utilizando o método U-Pb (Shrimp) de zircão forneceram para esta suite idades de 577 ± 5 Ma, para o pluton Acari e 591 ± 4 Ma para o pluton Totoró. Idades geocronológicas mais recentes, detalhes em Nascimento *et al.* (2015), realizada pelo método U-Pb em zircão e titanita mostram variações entre 571 ± 3 e 577 ± 5 Ma para os plutons (Caraúbas, Tourão, Catolé do Rocha, Monte das Gameleiras, Serrinha e Solânea).

2.4.3 Suíte Cálcio-alcalina de Alto K Equigranular

A forma de ocorrências desta suíte é representada por enxames de diques, soleiras e corpos isolados (Capuxu, Santa, Luzia, Angicos, Flores, Picuí, Macaíba e Dona Inez) e associados às rochas da suíte cálcio-alcalina de alto K porfirítica como, por exemplo, a batólito Acari, São José de Espinharas e Catolé do Rocha.

A composição é essencialmente monzogranítica, de textura fina a média, equigranular ou microporfirítica. São rochas de caráter meta a peraluminoso, possui enriquecimento em SiO_2 e empobrecimento de Fe_2O_{3t}, CaO, MgO, Sr e Zr, sugerindo uma fonte essencialmente crustal (Jardim de Sá, 1994). Apresentam forte anomalia negativa do Eu e enriquecimento dos terras raras leves com relação aos pesados. Geoquimicamente, a Suíte Cálcio-alcalina de alto K Equigranular se assemelha as Cálcio-alcalina de alto K Porfirítica, entretanto com características mais evoluídas.

Esta suíte possui diferentes idades (McMurry *et al*. 1987b; Borges 1996; Dantas1997, 2005; Medeiros *et al*. 2007; Beurlen *et al.* 2007 entre outros). Datações geocronológicas pelo método U-Pb (*Laser Ablation*) em zircão forneceram idades para plúton Caramuru de 554 ±

10 Ma (Souza e Kalsbeek, 2011) e idades para plúton Acari de 572 ± 5 Ma, pelo metodo U-Pb (Shrimp) (Archanjo *et al*. 2013).

2.4.3 Suíte Cálcio-alcalina

Esta suíte compreende os plútons da Serra da Garganta, Serra Verde e Gameleira. No pluton Serra da Garganta, também é possível encontrar associações com rochas da suíte Shoshonítica (Nascimento *et al.,* 2015).

É constituida de rochas variando composição tonalítica a granodiorítica, de textura média a grossa, inequigranular. São rochas de caráter meta a peraluminoso, com valores medianos de SiO_2 em relação a outras suítes. Apresentam anomalia negativa do Eu e enriquecimento dos terras raras leves com relação aos pesados. Esta suíte se diferencia por se apresentar claramente magnesiana e trama dominante em campos de rochas de afinidade cálcio-alcalina.

Datações geocronológicas pelo método U-Pb (Shrimp) em zircões forneceram idades 598 ± 3 Ma para o pluton Serra da Garganta, sendo este o único pluton desta suite datado até o momento.

2.4.4 Suíte Alcalina

Esta suíte compreende os plútons Caxexa, Serra do Algodão, Serra do Boqueirão, Olho D'agua e fácies alcalinas do plúton Japi (Araújo *et al*. 1993; Hollanda, 1998; Nascimento, 1998, 2000, 2015).

É constituida de rochas de composição sinogranitos, monzogranítos e álcali-feldspato granitos, com quartzo álcalis-feldspato sienitos subordinados, apresentando textura fina a média, equigranular.

São rochas de caráter meta a peraluminoso com elevadas variações nos teores de SiO_2 entre 67,8 e 76,9%, sendo muito rica em álcalis e considerável empobrecimento em CaO e MgO. O diferencial desta suíte é que possuem anomalias positivas de Eu, podendo ser relacionada à grande quantidade de feldspatos e a presença de titanita e apatita como fases acessórias.

A idade da suíte alcalina não é bem definida e ainda é alvo de discussão (Campos, 1997, Nascimento 1998, Nascimento *et al.* 2001, Nascimento 2008). Datações

geocronológicas pelo método U-Pb (ICP-MS *Laser Ablation*) forneceram idades para plúton Japi de 597 ± 4 Ma (Souza *et al.* 2010).

2.4.5 Suíte Alcalina Charnoquítica

Esta suíte compreende o plúton Umarizal, constituída por rochas de composição quartzo mangerito e charnoquitos de textura fina a média, inequigranular. São rochas de caráter meta a peraluminoso e com teores elevados de teores de SiO_2, enriquecidas em álcalis, elevado conteúdo de Zr e baixo de MgO.

A idade deste magmatismo considera-se problemática uma vez que diferentes idades foram atribuídas para esse plúton. Através do método Rb-Sr em rocha total foram obtidas idades de 545 ± 7 Ma (Galindo, 1993) e datações geocronológicas pelo método U-Pb em zircão obtiveram idades de 593 ± 5 Ma (McReath *et al.* 2002). Devido a esse conflito de idades pode-se afirmar até o momento que este pulton é de idade Ediacara (Nascimento *et al.* 2015).

CAPÍTULO 3 – Contexto Geológico dos Plútons Pesquisados

3.1 PLÚTON MONTE DAS GAMELEIRAS

O Plúton de Monte das Gameleiras constitui um batólito com cerca de 340 km^2 de área (Figura 3.1), aflorante nas proximidades da cidade de Monte das Gameleiras (RN). É intrusivo em rochas gnáissico-migmatíticas de idade paleoproterozoico. Seu alojamento é delimitado a NW por uma zona de cisalhamento extensional de trend NE-SW e por duas zonas de cisalhamento de caráter transcorrente dextral com trend NE-SW, delimitando a borda SE (Antunes *et al*. 2000). A idade (U-Pb em zircão) definida para o plúton é de 573 ± 7 Ma (Galindo *et al.* 2005).

3.2 PLÚTON BARCELONA

O Plúton Barcelona constitui um batólito com aproximadamente 260 km^2 de área (Figura 3.1). Localizado próximo à cidade de Barcelona (RN). Geologicamente ocorre intrusivo em rochas gnáissico-migmatíticas de idades paleoarqueana e paleoproterozoica sob a forma de corpo alongado sendo controlado na borda por zonas de cisalhamento, com geometria en cornue de direção aproximadamente NNE-SSW (Cavalcante *et al*. 2014).

3.3 PLÚTON ACARI

O Plúton Acari é aflorante na cidade de Acari e região, porção central do estado do Rio Grande do Norte, correspondendo a uma área aflorante com cerca de 300 km^2 (Figura 3.1). Possui forma alongada e geometria en cornue com direção aproximadamente NNE-SSW (Jardim de Sá *et al*.1986, Jardim de Sá, 1994). Segundo Angelim *et al*. (2006) intrude em rochas do Grupo Seridó, especialmente os micaxistos da Formação Seridó. A idade (U-Pb em zircão) definida para o plúton é de 577 ± 5 Ma (Archanjo *et al*. 2013).

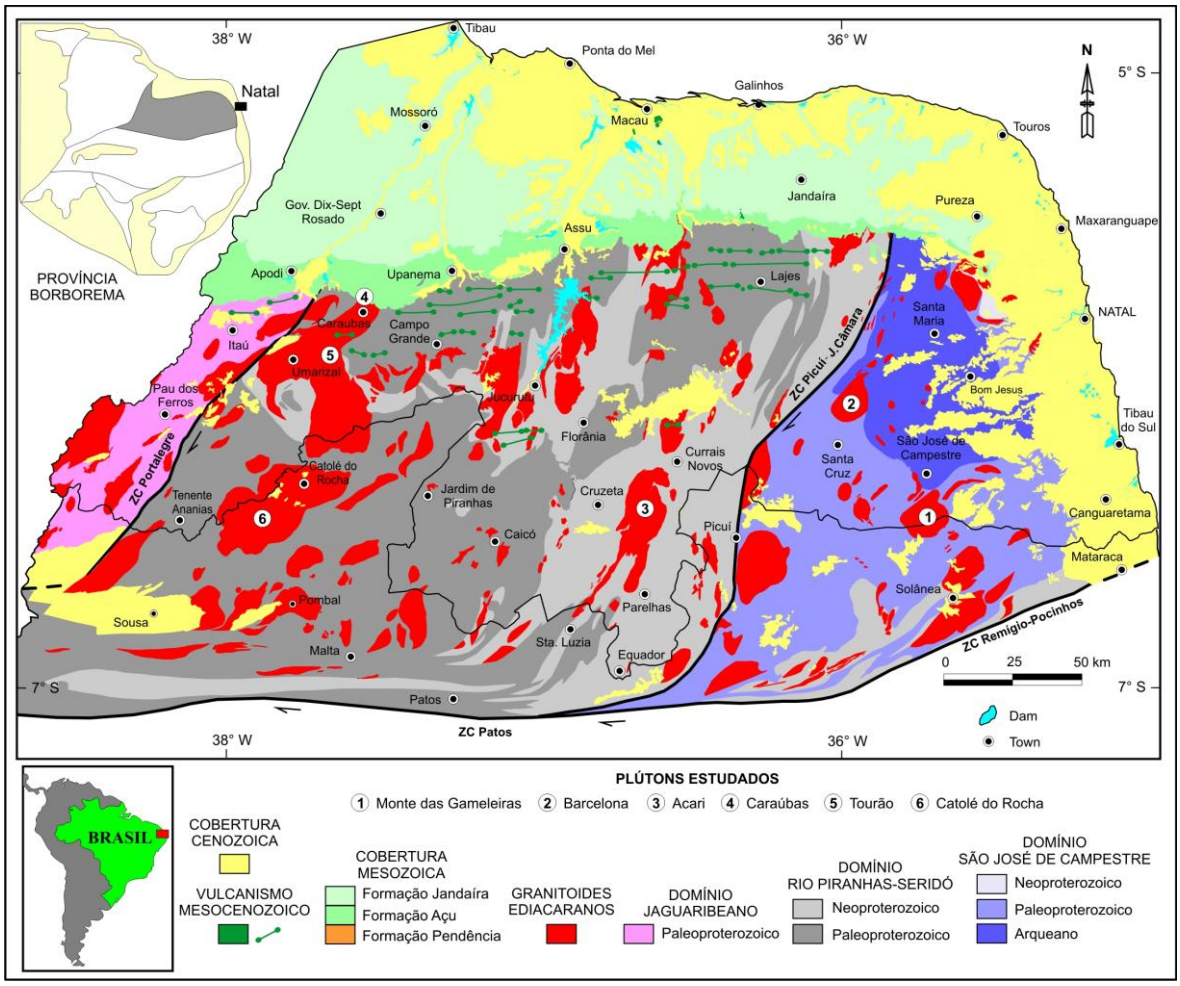

Figura 3.1 - Compartimentação geológica da porção NE da Província Borborema, com destaque para os domínios Jaguaribeano, Rio Piranhas-Seridó e São José de Campestre (segundo Medeiros, 2013), com a localização dos plútons estudados.

3.4 PLÚTONS CARAÚBAS E TOURÃO

O plútons Caraúbas e Tourão constituem um largo batólito com cerca de 877 km^2 (Figura 3.1), aflorante na região oeste do estado do Rio Grande do Norte, próximos às cidades de Caraúbas e Patu. Suas rochas são intrusivas em litotipos metaplutônicos gnáissico-migmatíticos, de idade paleoproterozoica, associadas ao Complexo Caicó (Galindo, 1993; Angelim *et al*. 2006) e em rochas metassedimentares do Grupo Seridó. A idade (U-Pb em zircão) definida para o Plúton Caraúbas é de 574 ± 10 Ma, enquanto que para o Plúton Tourão (U-Pb em monazita) é de 580 ± 4 (Trindade, 1999).

3.5 PLÚTON CATOLÉ DO ROCHA

O Plúton Catolé do Rocha é formado por um corpo principal com mais de 700 km^2 (Figura 3.1) nas proximidades da cidade de Catolé Rocha no estado da Paraíba. Outros corpos menores (pequenos stocks) são aflorantes nas áreas de Brejo do Cruz e Serra do Moleque (ambas na PB) e Serra da Boa Vista (no RN) (Medeiros *et al*. 2008). Os corpos estão intrusivos em rochas paleoproterozoicas do Complexo Caicó (Angelim *et al*. 2006). A idade (U-Pb em zircão) definida para o plúton é de 571 ± 3 Ma (Medeiros *et al.* 2005).

CAPÍTULO 4 – Caracterização Petrográfica

4.1 INTRODUÇÃO

Embora os seis plútons estudados ocorram distribuídos por uma grande área, os mesmos mostram semelhanças mineralógicas e texturais. As características de afloramentos dos corpos são em forma de batólitos, constituindo uma paisagem serrana (Figura 4.1a).

São rochas leucocráticas a mesocráticas, de composição monzogranítica (dominante), ocorrendo ainda rochas de natureza quartzo monzonítica a granodiorítica (subordinadas). Texturalmente as rochas dos plútons possuem uma fácies porfirítica (principal, Figura 4.1b, c, d) compreendendo fenocristais de K-feldspato com tamanhos entre 5 a 15 cm. Esses fenocristais encontram-se dispersos em uma matriz de granulação fina a média, de cor cinza clara. Composicionalmente, os minerais K-feldspato, plagioclásio e quartzo constituem a paragênese félsica e dominante; enquanto biotita e anfibólio representam os minerais máficos principais. Titanita, minerais opacos, allanita, epídoto, apatita e zircão são os principais acessórios. Clorita, muscovita, saussurita e carbonatos ocorrem como produtos de transformações tardias em praticamente todas as rochas analisadas.

De acordo com os contatos e inclusões observados entre as diferentes fases minerais, foi possível interpretar a sequência de cristalização. Estas informações são importantes para a correta dedução cronorelativa das condições termobarométricas discutidas adiante. As fases minerais precoces comuns estão representadas por zircão + apatita + minerais opacos$_1$, além de allanita e titanita$_1$, também plagioclásio + anfibólio + biotita. Em um estágio tardi-magmático de alta temperatura, são identificadas ainda lamelas de biotita. Minerais relacionados ao estágio *subsolidus* de baixa temperatura, provavelmente refletindo efeitos de fluidos tardios, são representados por clorita, mica branca e minerais opacos$_2$. Além destes, tem-se o carbonato e a titanita$_2$.

A assembleia formada por quartzo + K-feldspato + plagioclásio + biotita + hornblenda + titanita + magnetita (± ilmenita) é sempre observada em todos os corpos pesquisados.

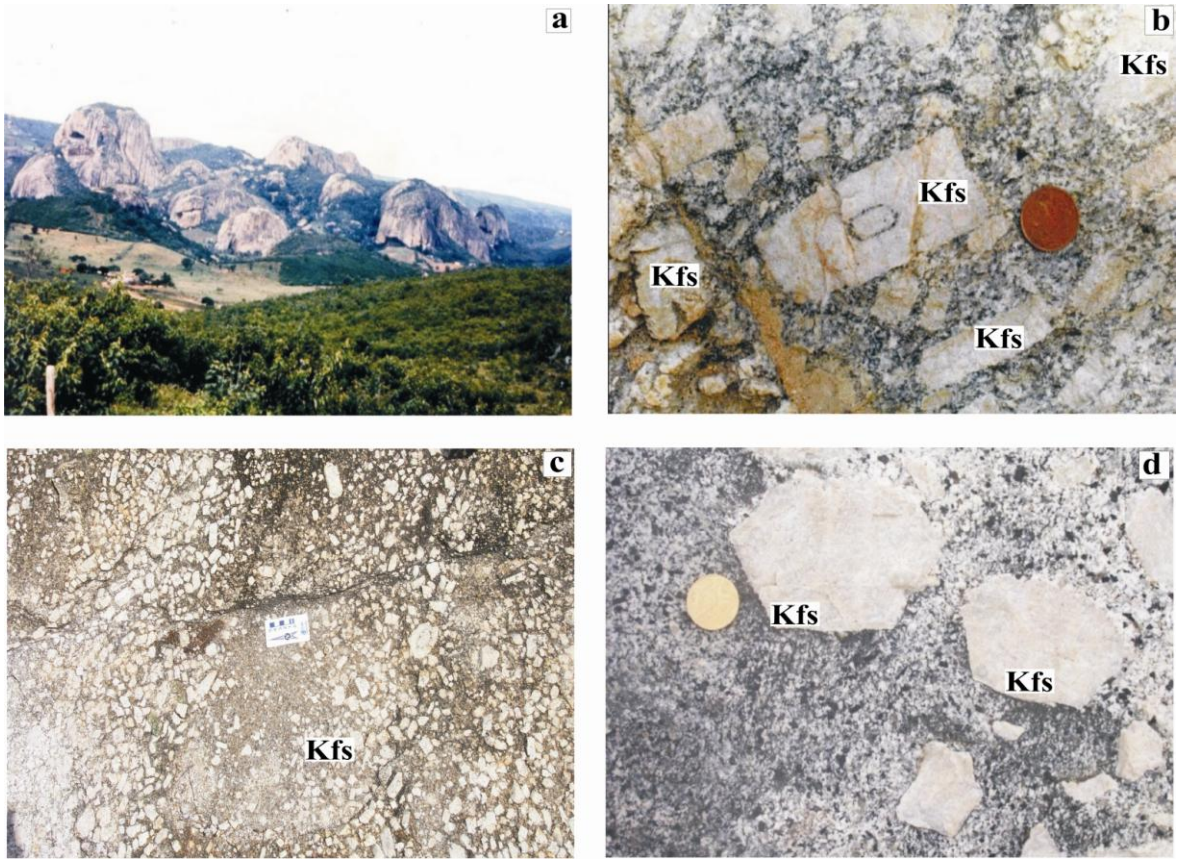

Figura 4.1 - Características de campo e texturais dos granitos pesquisados. a) Afloramento do Batólito Monte das Gameleiras; b, c, d) Aspecto textural do K –feldspato (Kfs) compreendendo fenocristais com tamanhos entre 5 a 15 cm, disperso em matriz de granulação grossa.

4.2 ASSEMBLEIA FÉLSICA

O **K-feldspato** é a fase mineral dominante, são fenocristais euédricos a subédricos de microclina caracterizados pelas geminações Carslbad e Albita x Periclina, usualmente exibem texturas pertíticas (Figura 4.2a, b). O **plagioclásio** (Figura 4.2c) ocorre como cristais subédricos a anédricos, alguns apresentando zonação normal com núcleos cálcicos já alterados. Extinção ondulante é comum aos cristais maiores, bem como a presença de finas e irregulares bordas albíticas. O **quartzo** (Figura 4.2d) ocorre como cristais subédricos a anédricos, normalmente exibindo extinção ondulante, evoluindo até extinção em bandas. Por vezes ocorrem cristais fraturados e estirados, constituindo *ribbons.* Biotita, anfibólio, zircão e apatita são comuns como inclusões.

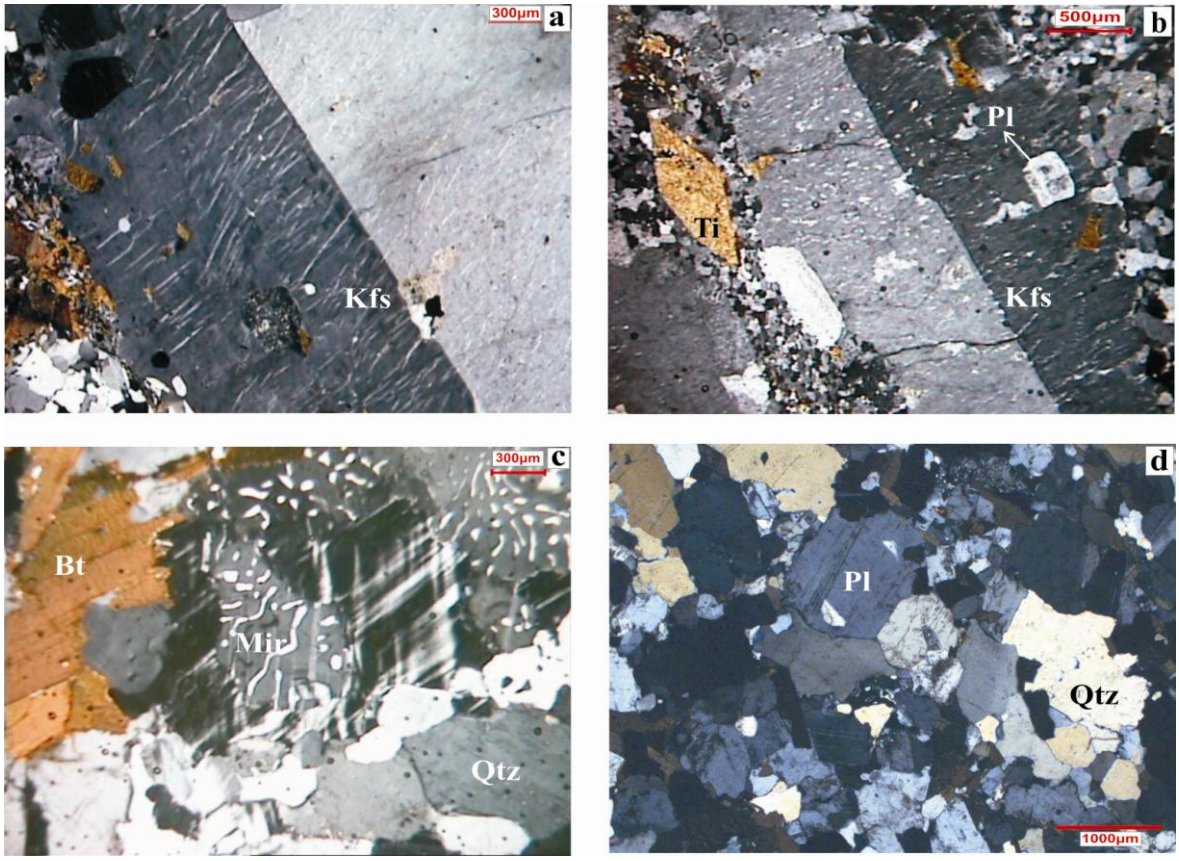

Figura 4.2 - Mineralogia félsica dos granitos estudados. a) K-feldspato com geminação Carslbad e lamelas de albita intercrescidas. b) K-feldspato com inclusões de quartzo e lamelas de albita intercrescidas, com titanita em meio a matriz milonitizada. c) Microtextura mirmequítica, em matriz de quartzo subédrico a anédrico e cristal de biotita. d) Plagioclásio subédrico a anédrico em matriz de quartzo. Abreviações: Kfs – K-feldspato; Pl – plagioclásio; Qtz – quartzo; Mir – Mirmequita; Bt – Biotita; Ti - titanita. Fotomicrografias obtidas com nicóis cruzados.

4.3 ASSEMBLEIA MÁFICA

O **anfibólio** ocorre como cristais no geral subédricos a anédricos em seções longitudinais, mais raramente euédricos em seções basais, com pleocroísmo em tons de marrom a verde claro (Figura 4.3a, c, d). É comum a presença de geminação simples, e localmente alguns cristais mostram textura simplectítica com quartzo. No geral compõem aglomerados junto com a biotita, secundariamente com titanita e minerais opacos. Inclusões de pequenos cristais, de titanita, zircão e apatita são encontradas.

A **biotita** ocorre como cristais subédricos a anédricos, com pleocroísmo em tons castanhos (Figura 4.3b, c, d). Pode apresentar bordas esqueléticas em textura simplectítica com quartzo. Os contatos são retos a serrilhados com os feldspatos e quartzo, e preferencialmente retos com o anfibólio. Inclusões de pequenos cristais de minerais

opacos, epídoto, allanita, titanita, apatita e zircão são comuns. Estes cristais são interpretados como primários/magmáticos, porém ocorre microtexturas relacionadas a transformações tardi-magmáticas/*subsolidus*, tais como cloritização e/ou oxidação, mais raramente muscovitização, que usualmente se desenvolvem ao longo de planos de clivagens da biotita.

Os **minerais opacos** ocorrem como cristais entre 0,1 a 0,3 mm, interpretados como primários/magmáticos, geralmente euédricos a subédricos, losangular à alongada. Mostram contatos retos com biotita e quartzo, e comumente estão inclusos em allanita, biotita, quartzo, plagioclásio, microclina e titanita, e podem apresentar inclusões de zircão. É comum ocorrer em cristais no geral subédricos a anédricos, com finas e irregulares bordas/coroas de titanita denotando o processo tardio de esfenitização. Os minerais ocorrem ainda como finos cristais secundários desenvolvidos ao longo de planos de clivagens de biotitas cloritizadas e/ou oxidadas. O **epidoto** ocorre tanto como cristais euédricos a subédricos, geralmente associados à biotita ou como coroas de faces euédricas (quando em contato com biotita e/ou anfibólio) a anédricas (quando em contato com os félsicos) sobre cristais de allanita (Figura 4.3f). Em ambos os casos, estes epidotos são interpretados como fases magmáticas.

A **titanita** é observada com dois tipos texturais: A titanita$_1$, interpretada como primária/magmática, apresenta-se em cristais frequentemente euédricos, losangulares a prismáticos alongados, coloração marrom clara, contatos retos, por vezes mostrando geminação simples ou lamelar. Possui inclusões de minerais opacos, epídoto, allanita e zircão e está comumente inclusa em biotita e anfibólio. A Titanita$_2$ forma coroas finas e irregulares sobre cristais de minerais opacos, usualmente anédricas, marcando processo de esfenitização destes. Esta titanita é interpretada como tardi-magmática, produto de alteração dos minerais opacos pela ação de fluidos deutéricos. A **allanita** ocorre como cristais isolados euédricos a subédricos de cor amarela, por vezes zonados e metamictizados (Figura 4.3f). Localmente observa-se no contato da allanita com a matriz félsica o desenvolvimento de fraturas radiais. Estas fraturas resultam da expansão da allanita, num estágio pós-cristalização da rocha, decorrente da radiação provocada pelos elementos radioativos (tório e urânio) da mesma.

O **zircão** ocorre como pequenos cristais, inclusos em biotita e anfibólio e com base nas relações texturais observadas entre as diversas fases minerais (Figura 4.3b), admite-se que o zircão e a apatita são os mais precoces, representando a fase *liquidus* do sistema. A

apatita ocorre como pequenos cristais euédricos prismáticos finos e/ou hexagonais de relevo alto e como inclusões nos minerais de quartzo, anfibólio, biotita e titanita.

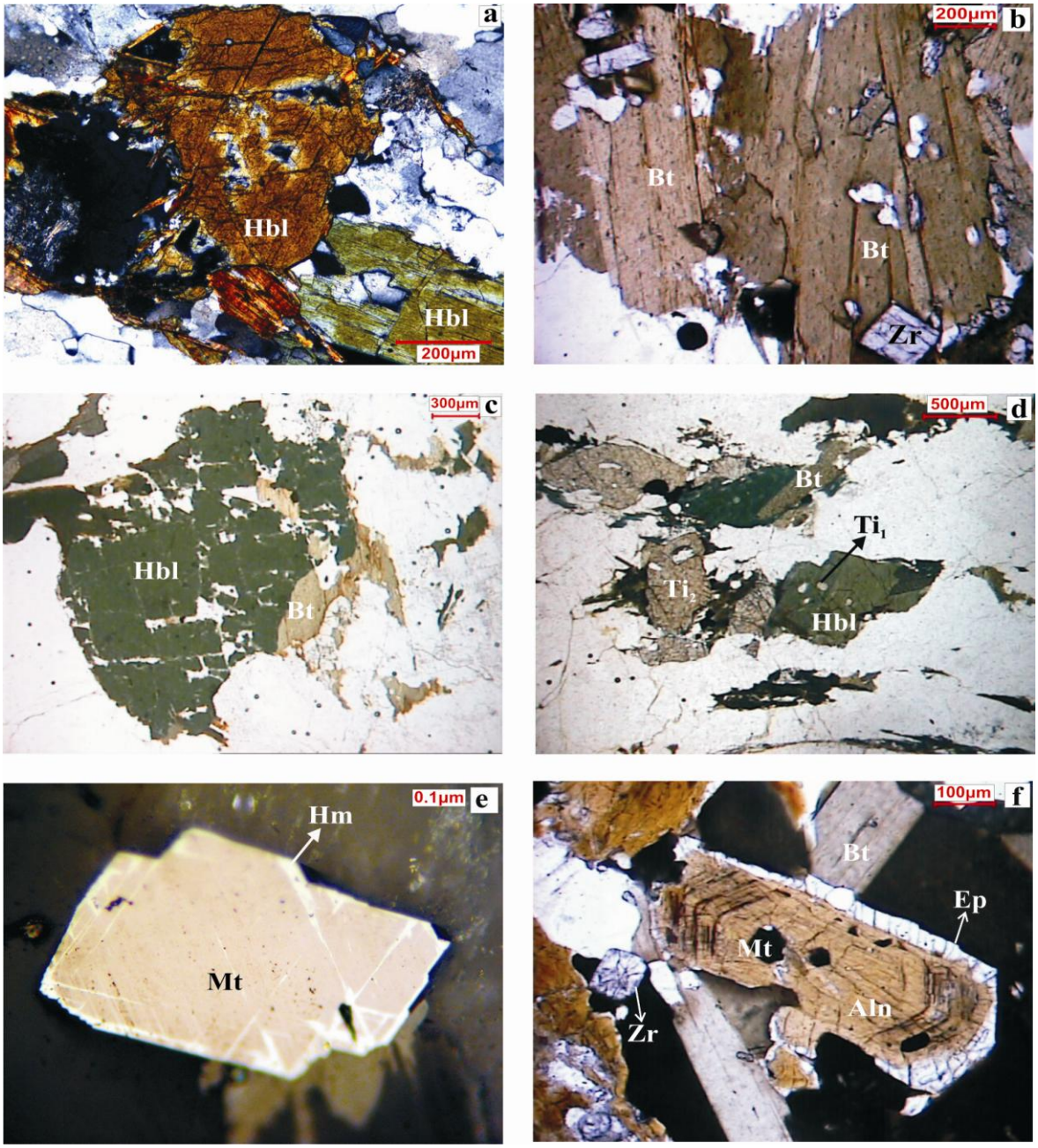

Figura 4.3 - Mineralogia máfica dos granitos pesquisados. a) Cristais de hornblenda subédricos a anédricos com pleocroísmo em tons de marrom a verde claro. b) cristal subédrico a anédrico de biotita, de coloração marrom e pleocroísmo em tons castanhos com inclusão mineral de zircão. c, d) Hornblenda subédrica a anédrica de cor verde claro coprecipitado junto com a biotita. e) Cristal de magnetita idiomórfica com lamelas de hematita (fotomicrografia de Cavalcante *et al*., 2014). f) Cristal de allanita zonada com inclusões de magnetita, em contato reto com epidoto. Abreviaturas usadas: Hb – hornblenda; Bt – biotita; Ti – titanita; Zr – Zircão, Mt – magnetita; Aln – alaninta; Ep – epidoto.

CAPÍTULO 5 – Litoquímica de Rocha Total

5.1 DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO

Com base nas análises químicas obtidas na literatura foram construídos diagramas de variação tipo Harker para os elementos Al_2O_3, Fe_2O_{3t}, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, TiO_2, P_2O_5, tendo SiO_2 como índice de diferenciação. Com esses foi possível visualizar o comportamento desses elementos e sugerir quais fases minerais estiveram envolvidas na evolução do magma para a formação dos diferentes corpos.

Nos diagramas (Figura 5.1) verificam-se correlações negativas em Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, e de forma mais suave em Na_2O para todos os corpos, porém algumas amostras do plúton Monte das Gameleiras mostra uma significativa dispersão. As correlações negativas para Al_2O_3, CaO indicam fracionamento de plagioclásio e anfibólio e as correlações negativas de Fe_2O_3, MgO, TiO_2, P_2O_5 sugerem fracionamento de minerais máficos (titanita, opacos, biotita, anfibólio, allanita e apatita). O elemento P_2O_5 em algumas análises para o granito Monte das Gameleiras estão dispersos e baixos concentrações < 0,1%. O elemento K_2O mostra forte dispersão que pode representar a grande concentração do mineral K-feldspato nos corpos graníticos.

A observação dos dados existentes para os diferentes corpos mostram que são formados por rochas evoluídas com valores entre 62% e 75% de SiO_2. O Plúton Monte das Gameleiras possui rochas menos evoluídas com valores de até 71% de SiO_2 em relação aos demais plútons analisados. Já as rochas do Plúton Catolé do Rocha mostram maior variação no conteúdo de SiO_2 com valores entre >71%.

Os plútons Tourão e Caraúbas (com algumas amostras do Plúton Catolé do Rocha) possuem menores conteúdos Al_2O_3 em relação aos outros plutons analisados, enquanto que em relação à concentração de Fe_2O_{3t} esses plútons geralmente mostram maiores valores. O Plúton Monte das Gameleiras possui para algumas amostras maiores valores de Na_2O em relação aos demais plútons. Por fim, as rochas do Plúton Catolé do Rocha apresentam maiores concentrações de K_2O em relação aos outros plútons analisados.

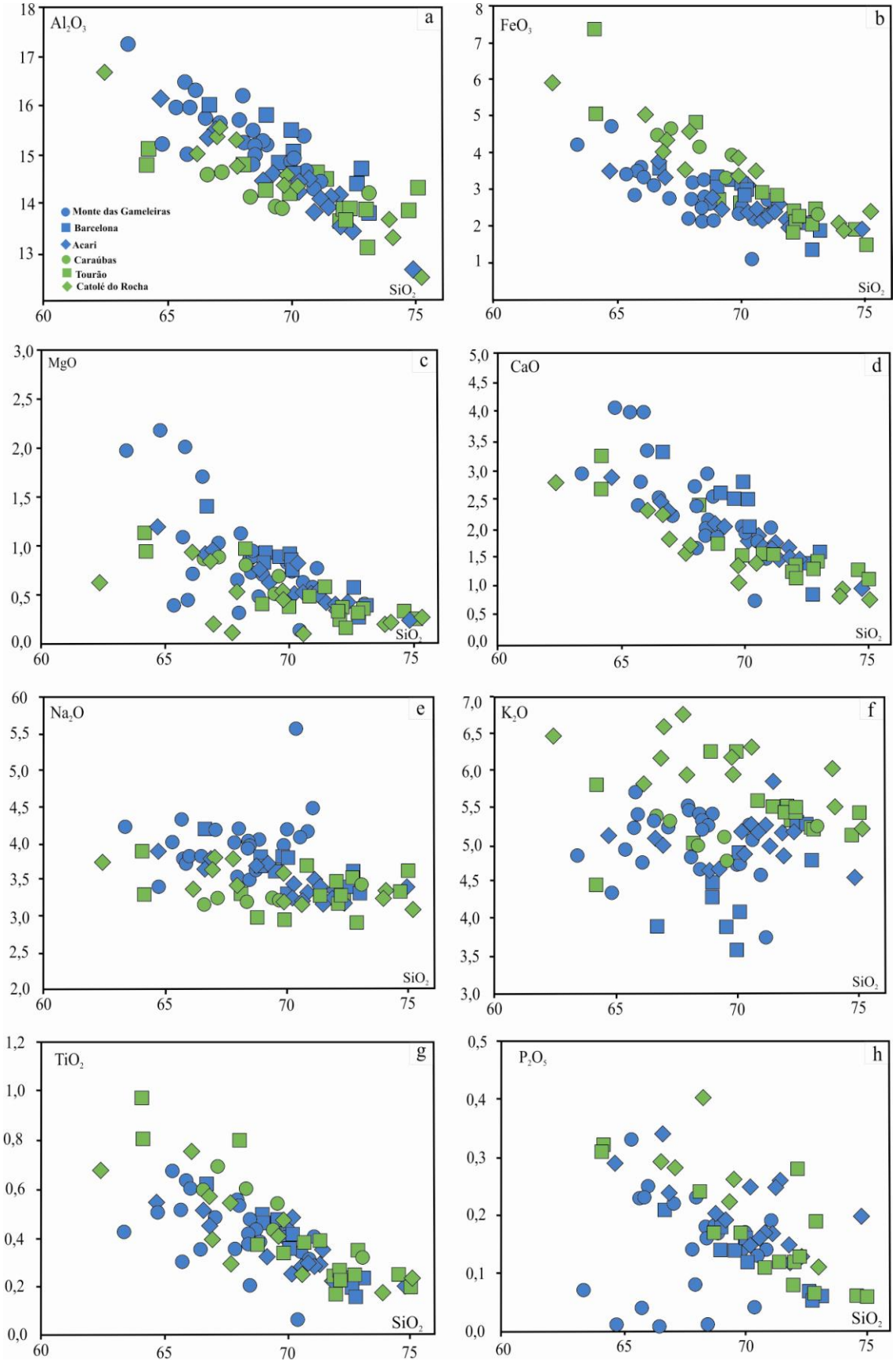

Figura 5.1 - Diagrama tipo Harker para elementos maiores utilizando a SiO_2 como índice de diferenciação.

5.2 CONTEXTO DE SÉRIES MAGMÁTICAS

5.2.1 Saturação em Alumina

O índice de saturação de alumínio, denominado índice de Shand, é usado para a classificação das rochas em metaluminosas, peraluminosas e peralcalinas, levando-se em conta as razões molares A/CNK = $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ *versus* A/NK = $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$. Este índice quando plotados no diagrama com campos de Maniar e Piccoli (1989, Figura 5.2) revela que exceto o Plúton Monte das Gameleiras que se mostra unicamente metaluminoso (A/CNK=0,95-0,97), todos os outros plútons estão na transição entre metaluminoso e peraluminoso (Plúton Barcelona A/CNK = 0,93-1,11; Plúton Acari A/CNK = 0,94-1,03; Plúton Caraúbas A/CNK = 0,93-1,03; Plúton Tourão A/CNK = 0,87-1,04 e Plúton Catolé do Rocha A/CNK = 0,93-1,02). Este comportamento peraluminoso dos granitos podem estar relacionado aos baixos valores de CaO e não propriamente ao excessos de Al_2O_3 em suas composições.

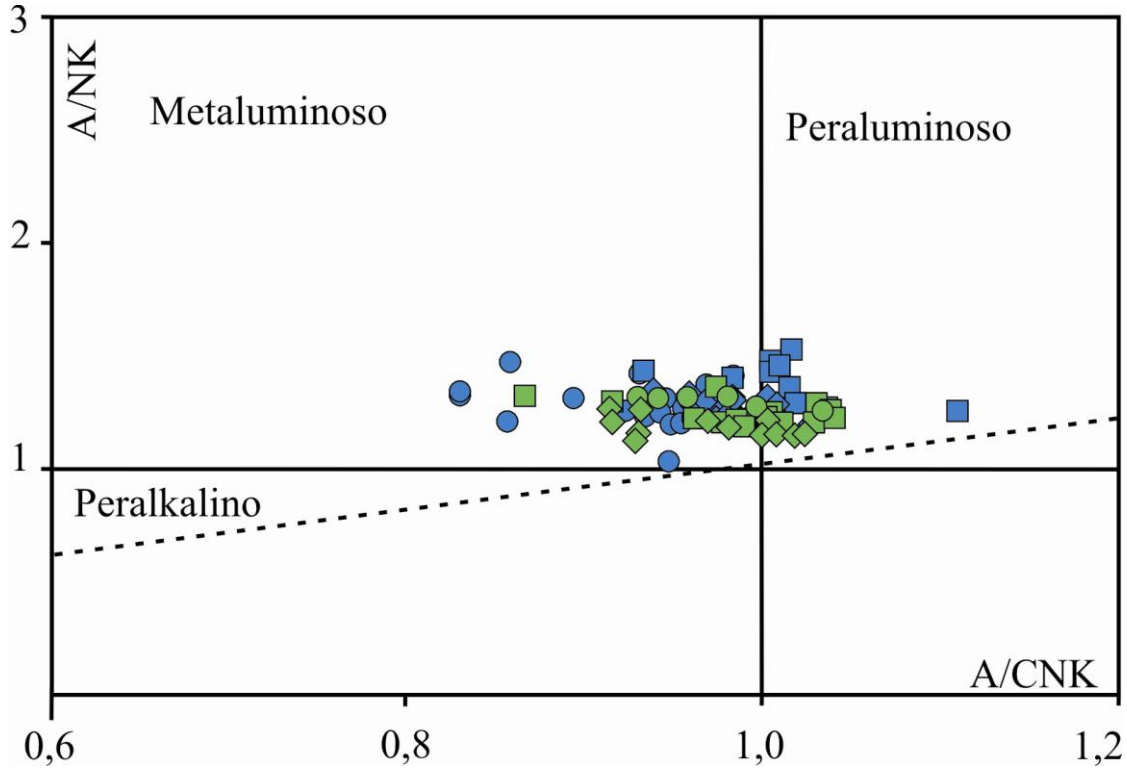

Figura 5.2 - Índice de Shand no diagrama de Maniar e Piccoli (1989), com as amostras dos plútons pesquisados. Legenda: A/NK- A/CNK (A-alumínio; N-sódio; K – potássio; C – cálcio).

5.2.2 Diagramas Discriminantes de Séries Magmáticas

A figura 5.3a mostra o diagrama TAS (total de álcalis *versus* sílica), com campos e tendências de séries magmáticas e a divisória subalcalina/alcalina (linha tracejada) segundo a proposta de Miyashiro (1978). Os plútons posicionam-se na linha transitória entre subalcalino e alcalino, exceto para as amostras do Plúton Barcelona que plotam abaixo da linha divisória posicionando-se no campo subalcalino por apresentar uma somatória de álcalis (Na_2O+K_2O) menor que os demais corpos. Segundo Lameyre (1987), as amostras dos plútons (Monte das Gameleiras, Acari, Tourão, Caraúbas e Catolé do Rocha) plotam na linha de tendência monzonítica, sendo consideradas como similar a série cálcio-alcalina de alto K, enquanto que o plúton Barcelona que plota na linha de tendência granodiorítica pode ser considerada como similar a rochas da série cálcio-alcalina, contudo contendo um quantidade maior em K_2O.

No diagrama proposto por Roger e Greenberg (1981) (Figura 5.3b), com os valores de SiO_2 *versus* $Log(K_2O/MgO)$, observa-se a natureza transicional cálcio-alcalina a alcalina para os plútons Monte das Gameleiras, Acari, Barcelona e uma tendência mais alcalina para os plútons Caraúbas, Tourão e Catolé do Rocha.

Essa tendência transicional também é claramente identificada quando usado o Índice de Alcalinidade proposto por Wright (1969) (Figura 5.3c). O referido diagrama mostra a transição entre rochas de natureza cálcio-alcalina a alcalina para todos os plútons analisados.

O diagrama R1-R2 (Figura 5.3d) mostra a transição de cálcio-alcalina a alcalina para todos os plútons analisados, plotando sobre a linha subalcalina, porém com rochas do Plúton Catolé do Rocha demonstrando maior proximidade ao campo alcalino, devido as menores quantidades de Ca e Mg.

O diagrama de Frost *et al.* (2001) (Figura 5.3e), que relaciona a SiO_2 com Na_2O+K_2O-CaO mostra que, em geral, os corpos analisados caem no campo álcali-cálcico, a exceção das rochas do Plúton Barcelona que plotam no campo cálcio-alcalino.

O diagrama SiO_2 *versus* $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ (Figura 5.3f), com a linha divisória de Fe* proposto por Frost *et al.* (2001), revela que os plútons Caraúbas, Tourão e Catolé do Rocha são de natureza mais ferrosa, enquanto que os plútons Monte das Gameleiras, Acari e Barcelona são de natureza mais magnesianas.

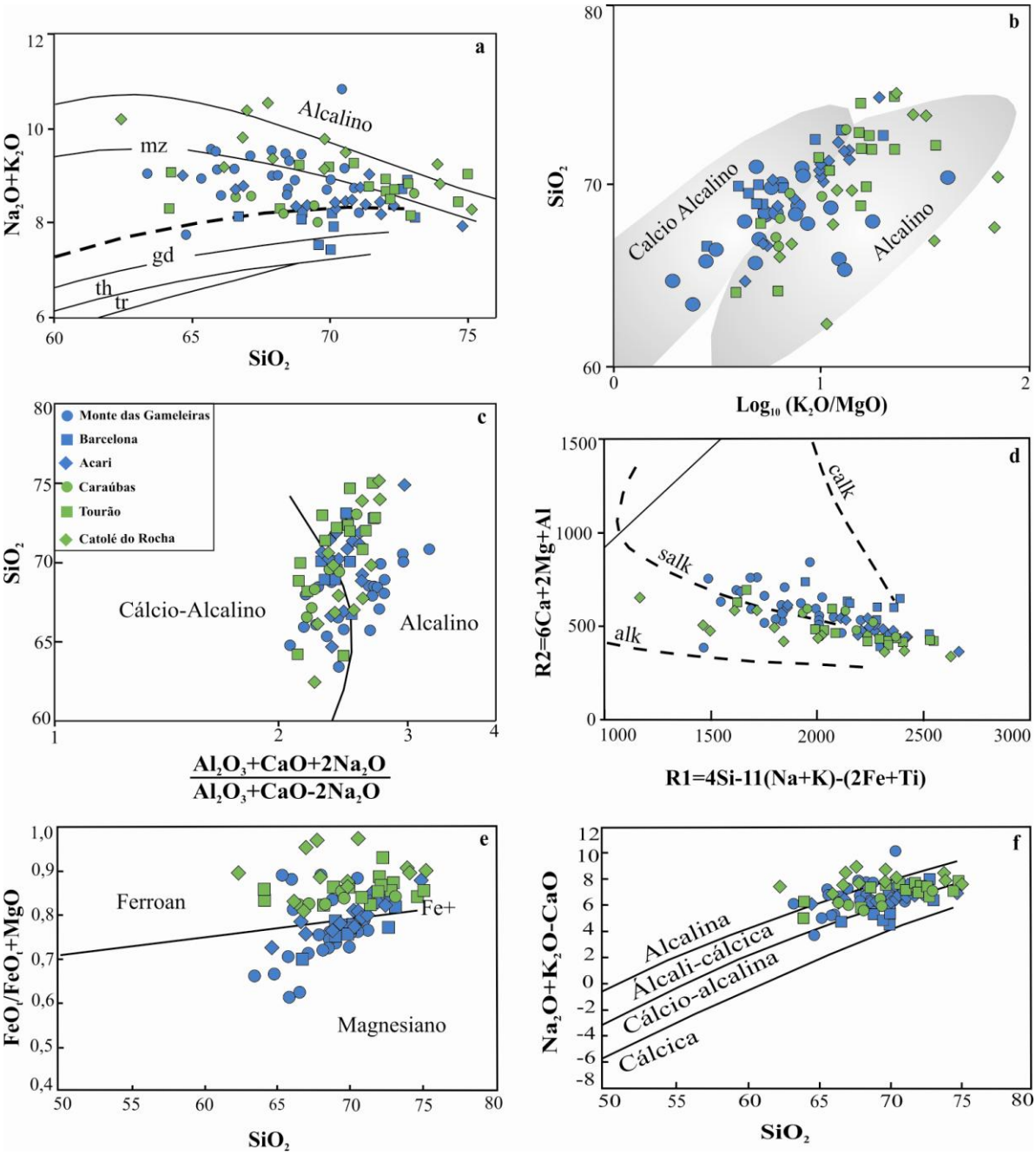

Figura 5.3 - Diagramas para definição de séries magmáticas. (a) total de álcalis *versus* sílica (Lameyre, 1987); (b) Rogers e Greenberg (1981); (c) Wright (1969); (d) R1-R2 de De La Roche *et al*. (1980); (e e f) Frost *et al.* (2001).

As rochas dos plútons pesquisados mostram claramente transição entre rochas de afinidades cálcio-alcalina e alcalina, se portando como rochas de natureza cálcio-alcalina de alto K (ou mesmo conhecida na literatura como rochas de natureza subalcalina ou monzonítica). Porém realizando uma comparação entre os diferentes plútons nota-se que o Plúton Catolé do Rocha tende a ser mais alcalino enquanto que o Plúton Barcelona tende a ser mais cálcio-alcalino (Figuras 5.3b e d). Tais tendências estão relacionadas à maior

quantidade de álcalis (Na_2O+K_2O, principalmente K_2O) e menor quantidade de CaO e MgO contidas no Plúton Catolé do Rocha, já o Plúton Barcelona possuindo maior quantidade de CaO e MgO, e menor quantidade de K_2O.

Observa-se na figura 5.3F que amostras do Plúton Catolé do Rocha, Tourão e Caraúbas plotam no campo de rochas ferrosas, características de rochas cálcio-alcalina de alto K (segundo Frost *et al*. 2001). Já as rochas dos plútons Acari e Monte das Gameleiras caem no campo de transição entre rochas ferrosas a magnesianas e por fim as do Plúton Barcelona plotam no campo de rochas magnesianas. Segundo Frost *et al*. (2001) as rochas que se posicionam no campo ferroso são de características alcalinas, enquanto que as rochas que se posicionam no campo magnesiano têm tendências mais cálcio-alcalinas.

CAPÍTULO 6

CRYSTALLIZATION CONDITIONS OF PORPHYRITIC HIGH-K CALC-ALKALINE GRANITOIDS IN THE EXTREME NORTHEASTERN BORBOREMA PROVINCE, NE BRAZIL, AND GEODYNAMIC IMPLICATIONS[1]

Benedita Cleide Souza Campos[a*]; Frederico Castro Jobim Vilalva[b]; Marcos Antônio Leite do Nascimento[c]; Antônio Carlos Galindo[c]

[a] Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1678, Bairro Lagoa Nova, CEP 59078-970 Natal, RN, Brazil
[b] Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1678, Bairro Lagoa Nova, CEP 59078-970 Natal, RN, Brazil
[c] Departamento de Geologia, Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1678, Bairro Lagoa Nova, CEP 59078-970 Natal, RN, Brazil

*Corresponding author. *E-mail address:* geolcleide@gmail.com

[1] submetido ao Journal of South American Earth Science

ABSTRACT

An integrated textural and chemical study on amphibole, biotite, plagioclase, titanite, epidote, and magnetite was conducted in order to estimate crystallization conditions, along with possible geodynamic implications, for six Ediacaran porphyritic high-K calc-alkaline granite plutons (Monte das Gameleiras, Barcelona, Acari, Caraúbas, Tourão, and Catolé do Rocha) intrusive into Archean to Paleoproterozoic rocks of the São José do Campestre (SJCD) and Rio Piranhas-Seridó (RPSD) domains, northern Borborema Province. The studied rocks include mainly porphyritic leucocratic monzogranites, as well as quartz-monzonites and granodiorites. Textures are marked by K-feldspar megacrysts (5–15 cm long) in a fine- to medium-grained matrix composed of quartz, plagioclase, amphibole, biotite, as well as titanite, epidote, Fe-Ti oxides, allanite, apatite, and zircon as accessory minerals. Amphibole, biotite and titanite share similar compositional variations defined by increasing Al and Fe, and decreasing Mg contents from the plutons emplaced into the SJCP (Monte das Gameleiras and Barcelona) towards those in the RPSD (Acari, Caraúbas, Tourão, and Catolé do Rocha). Estimated intensive crystallization parameters reveal a weak westward range of increasing depth of emplacement, pressure and temperature in the study area. The SJCD plutons (to the east) crystallized at shallower crustal depths (14 – 21 km), under slightly lower pressure (3.8 – 5.5 kbar) and temperature (701 – 718 ^{o}C) intervals, and high to moderate oxygen fugacity conditions ($+0.8 < \Delta_{FQM} < +2.0$). On the other hand, the RPSD plutons (to the west) were emplaced at slightly deeper depths (18 – 23 km), under higher, yet variable pressures (4.8 – 6.2 kbar), temperatures (723 – 776 ^{o}C), and moderate to low oxygen fugacity conditions ($-1.0 < \Delta_{FQM} < +1.8$). These results reinforce the contrasts between the tectono-strutuctural domains of São José do Campestre and Rio Piranhas-Seridó in the northern Borborema Province.

KEYWORDS: Mineral chemistry, crystallization parameters, high-K calc-alkaline granites, Borborema Province, NE Brazil

1. INTRODUCTION

Mineral chemistry of ferromagnesian minerals and coexisting phases has been widely used for estimating intensive crystallization parameters of granitic rocks (e.g., Anderson, 1996; Elliot, 2001; Stein and Dietl, 2001; Helmy et al., 2004; Anderson et al., 2008). This is due to the close relationship between the observed mineral assemblages and the nature and evolution of a crystallizing magma (Abbott, 1985). For instance, amphiboles have been successfully used for geothermobarometry (Hammarstrom and Zen, 1986; Schmidt, 1992; Holland and Blundy 1994; Ridolfi and Renzulli 2012; Erdmann et al., 2014); and their compositional variations can be related to the alumina saturation index and the degree of magma alkalinity, as well as to the redox conditions during crystallization (e.g., Strong and Taylor, 1984; Papoutsa and Pe-Piper, 2014; Vilalva et al., 2016). Biotite is also a major ferromagnesian phase in many granite plutons. Its composition is strongly dependent on the nature and redox conditions of the magma from which it has crystallized (e.g., Wones and Eugster, 1965; Abdel-Rahman, 1994; Stussi and Cuney, 1996). Furthermore, qualitative and quantitative estimates of pressure, temperature and oxygen fugacity can be obtained from the composition of accessory minerals such as titanite, epidote, and Fe-Ti oxides (e.g., Zen and Hammarstrom, 1984; Andersen and Lindsley, 1985; Wones, 1989; Enami et al., 1993; Sial et al., 2008).

Calc-alkaline granites commonly contain the mafic assemblage biotite + hornblende + titanite + Fe-Ti oxides, along with quartz and feldspars; a feature that renders these rocks as important sites for petrologic studies using mineral chemistry (e.g. Vyhnal, et al., 1991; Ague 1997; Stein and Dietl, 2001; Helmy et al., 2004). The northeastern portion of the Borborema Province (NE Brazil) is marked by an extensive Ediacaran granitic magmatism, in which porphyritic high-K calc-alkaline granitoids are the most voluminous varieties (Nascimento et al., 2015). These rocks share similar textures and mineralogy, but contrasted chemical features as seen in their mineral chemistry. Although this is of major importance for understanding the nature and evolution of the magmatism in this region, there are few papers (e.g., Cavalcante et al., 2014) dedicated to report and discuss mineralogical aspects and intensive crystallization parameters for these rocks.

The present work reports textural studies and chemical data for amphibole, biotite, plagioclase, titanite, epidote, and magnetite for six different porphyritic, high-K calc-alkaline granite plutons within the northeastern Borborema Province. The integrated results are used to verify chemical contrasts among the plutons, as well as to provide estimates of

intensive crystallization parameters (temperature, pressure, oxygen fugacity), and to discuss possible geodynamic implications.

2. GEOLOGICAL BACKGROUND

The Borborema Province (NE Brazil) is characterized by expressive Ediacaran to Cambrian granitic magmatism, important shear zones, and evolution through a complex collage of Archean to Paleoproterozoic gneissic-migmatitic crustal blocks, and supracrustal units that include Proterozoic metasediments and metavolcanic rocks (Almeida et al., 1981; Brito Neves et al., 2000; Ganade de Araújo et al., 2014). Angelim et al. (2006) divide the northeasternmost portion of the province into three distinct tectono-structural domains: the Jaguaribeano, the Rio Piranhas-Seridó, and the São José de Campestre domains (Fig. 1). A number of chemically distinct igneous bodies (Nascimento et al., 2015) associated to the Ediacaran magmatism intrude Archean to Paleoproterozoic migmatitic gneisses of the São José do Campestre (SJCD), and Paleoproterozoic migmatitic gneisses (Caicó Complex) and Neoproterozoic supracrustal rocks (Seridó Group) of the Rio Piranhas-Seridó (RPSD) domains. Based on petrographic and chemical properties, Nascimento et al. (2015) define six granitoid suites (Fig. 1), namely shoshonitic, porphyritic high-K calc-alkaline, equigranular high-K calc-alkaline, calc-alkaline, alkaline, and alkaline charnockitic. For the purposes of this work, six different granite bodies from the most voluminous porphyritic high-K calc-alkaline suite were select from both SJCD (Monte das Gameleiras and Barcelona plutons) and RPSD (Acari, Caraúbas, Tourão, and Catolé do Rocha plutons). In common, they all constitute relatively homogeneous bodies of batholithic dimensions (260 – 880 km^2) where porphyritic granites make up 90% or more of the exposed surface:

(i) *Monte das Gameleiras Pluton:* a large subcircular intrusion limited by NE-trending extensional (NW border) and dextral shear zones (SE border) (Antunes et al., 2000). Geochemical parameters are SiO_2 between 63.4 and 71.1 wt. %, A/CNK [Al_2O_3/($CaO+Na_2O+K_2O$)] ratios of 0.82–1.0, and Fe/Mg ratios between 0.61 and 0.89. Available geochronological data (zircon U-Pb) yield an emplacement age of 573 ± 7 Ma (Galindo et al., 2005).

(ii) *Barcelona Pluton:* a NNE-trending, horn shaped, elongate body (Cavalcante et al., 2014). Geochemical parameters include SiO_2 varying from 66.7 to 73.1 wt. %, A/CNK between 0.93 and 1.11, and Fe/Mg in the 0.7–0.82 range.

(iii) *Acari Pluton:* a large NNE-trending, horn shaped, elongate body (Jardim de Sá, 1994). Geochemical parameters are SiO_2 in the 64.7–72.1 wt. % range, and A/CNK and Fe/Mg ratios around 0.94–1.03 and 0.72–0.88, respectively. The emplacement is dated at 577 ± 5 Ma (zircon U-Pb; Archanjo et al., 2013).

(iv) *Caraúbas and Tourão Plutons:* both part of a large (~880 km^2) batholith (Angelim et al., 2006). Geochemical parameters of the Caraúbas Pluton include SiO_2 between 66.6 and 73 wt. %, A/CNK in the 0.93–1.03 range, and Fe/Mg around 0.82–0.85. The Tourão Pluton has SiO_2 between 61.1 and 75 wt. %, A/CNK in the 0.87–1.04 range, and Fe/Mg around 0.82–0.93. Available geochronological data (Trindade, 1999) indicate ages of 574 ± 10 Ma for the Caraúbas Pluton (zircon U-Pb), and 580 ± 4 Ma (monazite U-Pb).

(v) *Catolé do Rocha Pluton:* comprises a main batholitic intrusion and associated stocks (Medeiros et al., 2008), emplaced at 571 ± 3 Ma (zircon U-Pb; Medeiros et al., 2005). Geochemical parameters are SiO_2 ranging from 62.4 to 75.1 wt. %, and A/CNK and Fe/Mg ratios around 0.91–1.02 and 0.81–0.97, respectively.

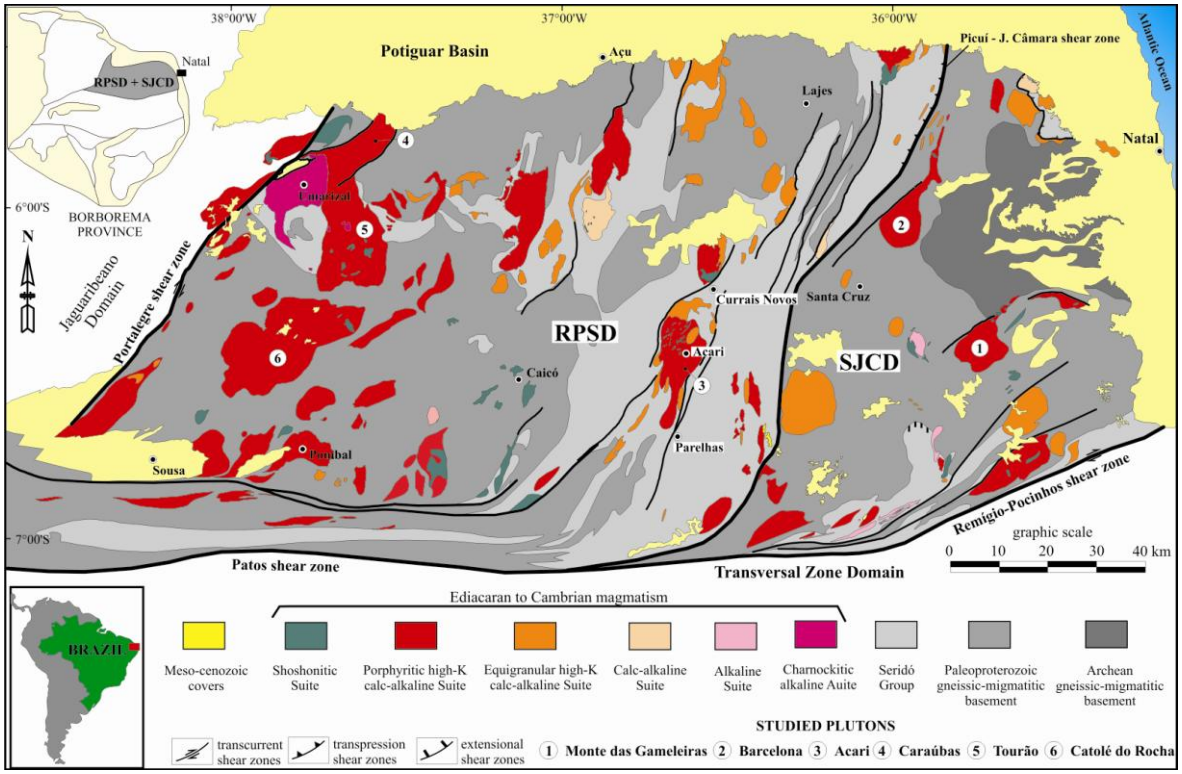

Figure 1: Geological framework of the extreme northeastern Borborema Province (NE Brazil) showing the Jaguaribeano, the Rio Piranhas-Seridó, and the São José de Campestre domains (Medeiros, 2013), and the Ediacaran to Cambrian magmatism (modified from Nascimento et al., 2015), with the location of the studied plutons**.**

3. MATERIALS AND METHODS

Quantitative WDS microanalyses of selected crystals of amphibole, biotite, plagioclase, titanite, epidote, and magnetite were obtained in 30 μm thick polished thin sections of representative samples from the Monte das Gamaleiras (samples MG-01 and MG-20), Catolé do Rocha (sample FT-04), Acari (ED-128), Tourão (samples T-09, T-22, and T-124b) and Caraúbas (sample C-135) plutons. Mineral chemical data for the Barcelona Pluton (sample RC-10) were compiled from Cavalcante et al. (2014).

WDS microanalyses for Monte das Gameleiras, Acari, Tourão, and Caraúbas plutons were perfomed using a Cameca Camebax SX100 electron microprobe at the 'Laboratoire Magmas et Volcans', Blaise Pascal University in Clermont-Ferrand (France). Chemical compositions of the investigated minerals (except for plagioclase) from the Catolé do Rocha Pluton were obtained using a Jeol JXA-8230 equipment at the Electron Microprobe Facility of the University of Brasília (Brazil). In all cases, analytical conditions were 15 kV for the column acceleration voltage, 8–11 nA for beam current, and maximum total pulse integration time of 10 s. Standards were as follows: wollastonite for Si and Ca, orthoclase for K, jadeite for Na, corundum for Al, magnetite for Fe, periclase for Mg, rutile for Ti, pure Mn for Mn, sylvite for Cl, and synthetic fluorphlogopite for F.

Mineral formulae and Fe^{3+}/Fe^{2+} partitions were computed with the software MinCal (G. Gualda and S. Vlach: https://my.vanderbilt.edu/ggualda/mincal). Amphibole calculations followed the suggestion of Gualda and Vlach (2005) and were done based on the method of Schumacher (in Leake et al., 1997) considering maximum Fe^{3+}, which was attained using the 13eCNK option. The nomenclature of the amphibole supergroup was revised by the IMA in the work by Hawthorne et al. (2012). According to the new recommendations the analyzed amphiboles classify mainly as pargasite. However, we prefer to keep the nomenclature scheme of Leake et al. (1997) since this procedure better emphasizes the chemical contrasts between the amphiboles among the investigated plutons. Biotite is computed on the basis of 22 oxygens, assuming that all iron is Fe^{2+} (Dymek, 1983). Cation proportions for plagioclase, titanite, and epidote were calculated on the basis of 32, 5, and 12 oxygens, respectively (Deer et al., 2013). Fe^{3+}/Fe^{2+} partition and cationic proportions for magnetite were done on the basis of 4 oxygens, using the method of Carmichael (1967).

Quantitative estimates of pressure (P) and temperature (T) were calculated with the well-established Al-in-hornblende geobarometer (Hammarstrom and Zen, 1986; Schmidt,

1992; Anderson and Smith, 1995), and the hornblende-plagioclase geothermometer (Holland and Blundy, 1994) by a stepwise iterative process. The Al-in-hornblende geobarometer assumes that the total Al content of hornblende increases with pressure of crystallization through the Tschermak exchange, but an increase in the Al content in amphiboles can also be related to temperature through the edenite substitution, as is the case for the analyzed amphiboles. Thus, the use of the T-corrected recalibration of the Al-in-hornblende of Anderson and Smith (1995) was preferred. Pressures calculated with the T-independent calibration of Schmidt (1992) were used as initial estimates to start the iterative calculations.

Anderson and Smith (1995) emphasized that oxygen fugacity is a limiting factor for the Al-in-hornblende, since it controls the fe# (Fe^{2+}/Fe^{2+}+Mg) and *fox* [$Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+})$] ratios in amphibole. The authors argue that amphiboles with fe# $\geq$ 0.65, and *fox* $\leq$ 0.25 are indicative of low oxygen fugacity and should be avoided in the Al-in-hornblende method, since they yield unrealistic high values. However, as will be later explained, this criterion was not met in the present work, and amphiboles with fe# $\geq$ 0.65, and *fox* $\leq$ 0.25 were considered for pressure calculations.

Temperature estimates with the hornblende-plagioclase thermometry were derived from the calibration of reaction edenite + albite $\leftrightarrow$ richterite + anorthite of Holland and Blundy (1994). Only plagioclase with anorthite (An) contents higher than 20% were considered. Plagioclase was not analyzed for the Catolé do Rocha Pluton. In this case, the An content recovered from the thin sections with the Michel-Lévy method (~An_{23}) was used in the calculations.

4. PETROGRAPHIC ASPECTS

Although distributed over a large area, the studied plutons show very similar textural and mineralogical characteristics. Leucocratic monzogranites (M < 30%) are the main lithotypes, with minor occurrences of quartz monzonites and granodiorites. Rocks are medium to coarse-grained, with porphyritic textures characterized by K-feldspar megacrysts (up to 15 cm long) in a light gray-colored, fine- to medium-grained matrix. Biotite and amphibole are the dominant mafic phases. Accessory minerals are titanite, Fe-Ti oxides, allanite, epidote, apatite, and zircon; chlorite, muscovite, saussurite, and carbonates are products of late- to post-magmatic transformations.

The assemblage quartz + K-feldspar + plagioclase + biotite ± hornblende +magnetite (± ilmenite) ± titanite ± epidote is ubiquitous in the investigated plutons and will be further detailed.

Quartz occurs as anhedral crystals (Fig. 2a) with undulose extinction and poorly-developed subgrains. The most common inclusions are biotite, amphibole, plagioclase, zircon and apatite.

K-feldspar crystallizes as euhedral to subhedral megacrysts showing typical tartan twins, sometimes associated with film and string perthites (Fig. 2b). Sporadic bulbous myrmekite occurs along K-feldspar and plagioclase grain boundaries. Recrystallization leads to neoformation of fine-grained K-feldspar crystals along the borders of highly deformed megacrysts.

Plagioclase forms subhedral to anhedral crystals (Fig. 2a) with normal compositional zoning defined by strongly altered Ca-rich cores. They are found as inclusions in K-feldspar, or in the matrix, where they show polygonal texture and undulose extinction.

Biotite forms subhedral to anhedral platy crystals, with pleochroism in shades of green, yellow-green, and pale brown (Fig. 2c). Some crystals have skeletal boundaries due to simplectitic intergrowths with quartz. Straight or interfingered grain boundaries between biotite and amphiboles suggest co-crystallization. Minute inclusions of opaque minerals, epidote, allanite, titanite, apatite, and zircon (Figs. 2c, 2h) are relatively common. Biotite in the studied plutons is interpreted as a primary/magmatic phase, although few crystals show features related to late-magmatic/subsolidus (hydrothermal) transformations, such as chlorite, Fe-Ti oxides, and muscovite replacement along cleavage planes and fissures.

Amphibole crystallizes mainly as subhedral to anhedral crystals (Fig. 2d), sometimes in aggregates with biotite (Figs. 2e, 2f, 2g), titanite and opaque minerals (Fig. 2g). Crystals have a greenish-brownish pleochroic scheme (Figs. 2d, 2f) and are classified as hornblende-group amphiboles, based on extinction Z^c (24º - 31º), and on $2V_X$ (~70º) angles. Crystals with primary twins are relatively common; simplectitic intergrowths with quartz are rare. Minute titanite, zircon, and apatite grains occur as inclusions (Figs. 2e, 2g).

Opaque minerals crystallize as minute, euhedral to subhedral crystals of magmatic origin. They correspond mainly to magnetite, and subordinate ilmenite. Crystals show straight grain boundaries with biotite and quartz, and are commonly engulfed by allanite,

biotite, quartz, plagioclase, K-feldspar, and titanite. Late-to post-magmatic thin crystals replace biotite along its cleavage planes.

Titanite and epidote appear both in two distinct textural generations. A primary, magmatic generation appears as euhedral inclusions in amphibole (only titanite) and biotite (Figs. 2g, 2h). Irregular, thin titanite mantles over opaque minerals (sphenitization process), and anhedral epidote grains mantling allanite (Fig. 2i), or replacing biotite, amphibole, and plagioclase are typical post-magmatic phases.

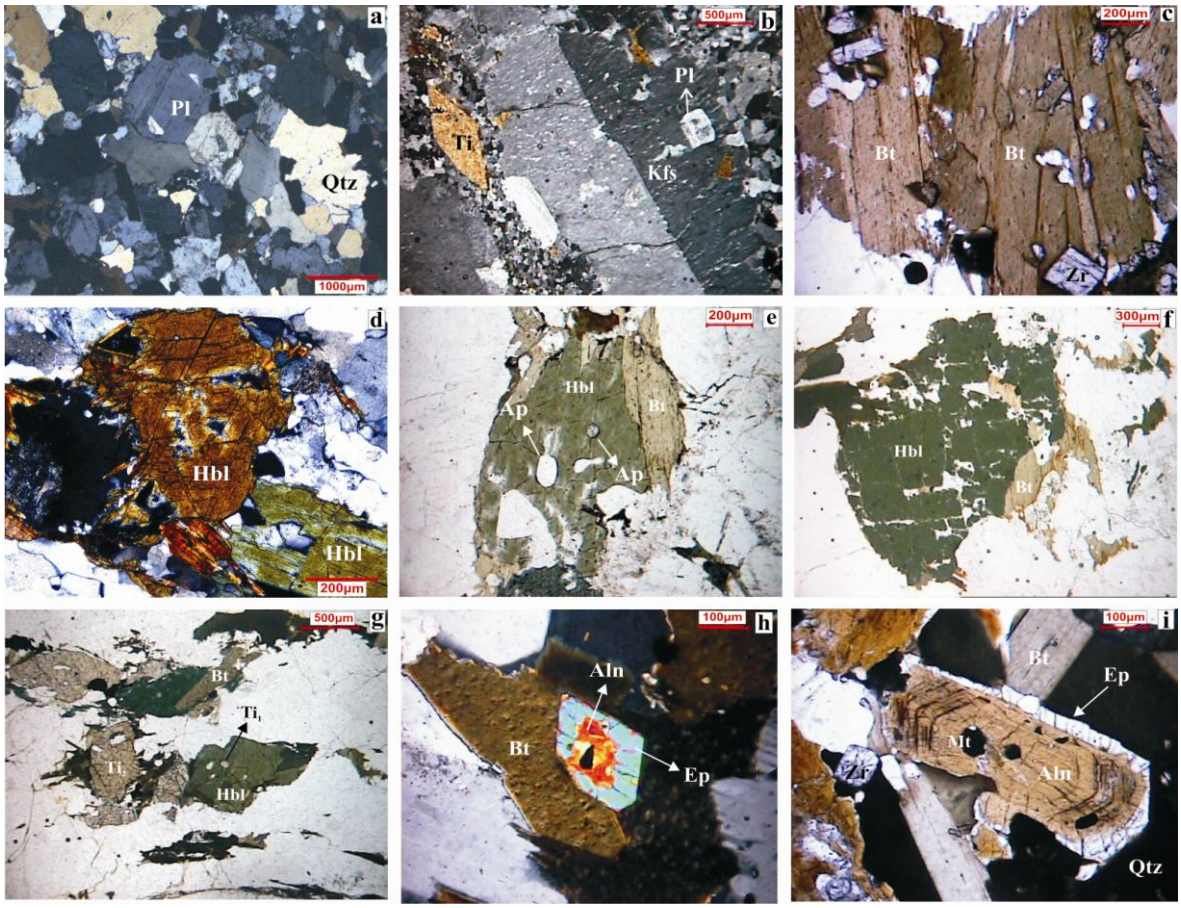

Figure 2: Mineralogical and textural aspects of the studied rocks. (a) Subhedral to anhedral quartz (Qtz) and plagioclase (Pl) crystals from the matrix of porphyritic granite of the Barcelona Pluton. (b) K-feldspar megacryst (Kfs) with Carlsbad twinning and inclusions of plagioclase (Pl) in porphyritic granite from the Tourão Pluton. Note euhedral titanite (Ti) among fine recrystallized quartz grains. (c) Euhedral to subhedral plates of biotite (Bt) showing pleochroism in shades of green and brown, and inclusions of zircon (Zr) from the Tourão Pluton. (d) Subhedral hornblende (Hbl) crystals with greenish-brown pleochroic scheme in rocks from the Barcelona Pluton. (e), (f), (g) textural relationships between hornblende (Hbl) and biotite (Bt) crystals in porphyritic granites from the Caraúbas (e, g) and Catolé do Rocha (f) Plutons. Note: inclusion of apatite (Ap) in hornblende (e); and inclusions of magmatic titanite (Ti_1) in hornblende, as well as large post-magmatic titanite crystals (Ti_2) in (g). (h) Euhedral magmatic epidote (Ep) crystal showing radial fractures along an allanite (Aln) included in biotite (Bt) from the Tourão Pluton. (i) Euhedral titanite (Ti) with inclusions of magnetite (Mt) mantled by epidote (Ep), among crystals of biotite (Bt), quartz (Qtz), and zircon (Zr) from the Tourão Pluton Photomicrographs (a), (b), (d) (h), and (i) obtained under crossed polarizers; (c), (e), (f), and (g) obtained under plane polarized light.

5. MINERAL CHEMISTRY

This section describes the main compositional features of the studied minerals. Representative analyses are given in Tables 1 (amphibole), 2 (biotite) and 3 (plagioclase and accessory minerals).

5.1. Amphibole

Amphibole in the investigated plutons is calcic and classifies mainly as hastingsite, except for the Monte das Gameleiras Pluton, where amphiboles are edenite and magnesium-hastingsite (Fig. 3). Compositions are characterized by variable mg# [$Mg/(Mg+Fe^{2+})$] numbers (0.06 – 0.57) and Al contents (1.49 – 2.2 cations per formula unit – cpfu), with almost constant Ca (1.82 to 1.92 cpfu), and Si (6.08 – 6.62 cpfu) abundances (Table 1); compositional variations that can be partially described by the coupled tschermak [$Al^{IV} + Al^{VI} \leftrightarrow Si + (Mg, Fe^{2+})^{C}$] and edenitic [$Al^{IV} + (Na, K)^{A} \leftrightarrow Si + \square^{A}$; where $\square$ = vacancy] substitution reactions (Deer et al., 1997; Fig. 4). There is a systematic decrease in mg# values parallel to increasing Al contents in amphiboles from the plutons of the São José do Campestre Domain (SJCD) towards those of the Rio Piranhas-Seridó (RPSD). Crystals from the easternmost Monte das Gameleiras Pluton (SJCD) have the highest mg# (0.53 – 0.57) and the lowest Al contents (1.54 – 1.7 cpfu); hastingsite from the Barcelona (SJCD) and Acari (RPSD) plutons shows intermediate contents (mg# = 0.4 – 0.5; Al = 1.84 – 1.88 cpfu), while crystals in the westernmost Caraúbas and Tourão plutons (RPSD) have lower mg# (0.25 – 0.31) and the highest Al (2.03 – 2.2 cpfu) contents. Hastingsite from the Catolé do Rocha Pluton shows the lowest values of mg# (0.06 – 0.09).

Pluton	**Mte. Gameleiras**		**Barcelona**		**Acari**		**Caraúbas**		**Tourão**		**Catolé do Rocha**	
Sample	**MG-01**	**MG-20**	**RC-10**		**ED-128**		**C-135**		**T-124b**		**FT-04**	
Analysis	**42**	**38**	**P-164 rim**	**P-166 rim**	**44**	**45**	**13**	**17**	**5**	**7**	**2**	**5**
SiO_2	43.30	42.20	41.56	41.66	41.44	41.28	39.25	38.98	39.52	38.84	38.91	39.08
TiO_2	0.68	0.50	0.89	0.83	0.85	0.78	0.89	0.77	1.18	0.83	1.40	1.52
Al_2O_3	8.26	9.18	10.15	10.32	9.99	10.27	11.17	11.14	11.01	11.93	10.26	9.97
FeO	19.95	21.10	24.06	23.85	21.85	22.28	26.55	27.45	27.33	27.73	30.83	30.60
MnO	0.51	0.65	0.41	0.38	0.55	0.59	0.57	0.55	0.46	0.50	0.79	0.76
MgO	9.87	9.00	6.70	6.69	8.18	8.10	4.70	4.89	4.41	4.18	1.47	1.07
CaO	11.57	11.41	11.04	11.07	11.57	11.36	10.90	11.03	10.97	10.90	10.63	10.70
Na_2O	1.23	1.42	1.39	1.38	1.54	1.42	1.68	1.66	1.52	1.44	1.37	1.60
K_2O	0.93	1.02	1.48	1.36	1.13	1.19	1.71	1.77	1.72	1.92	1.68	1.67
Total	**96.30**	**96.48**	**97.68**	**97.53**	**97.10**	**97.27**	**99.30**	**98.24**	**98.12**	**98.27**	**97.35**	**96.95**
Structural formulae and ferric-ferrous iron partition based on the method of Schumacher (in Leake et al., 1997)												
Si	6.619	6.482	6.383	6.396	6.379	6.328	6.182	6.104	6.192	6.079	6.268	6.366
Al^{IV}	1.381	1.518	1.617	1.604	1.621	1.672	1.818	1.896	1.808	1.921	1.732	1.634
[T] site	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**
Ti	0.078	0.058	0.102	0.095	0.098	0.090	0.105	0.091	0.139	0.098	0.170	0.186
Al^{VI}	0.108	0.144	0.220	0.263	0.191	0.184	0.255	0.160	0.226	0.280	0.216	0.280
Fe^{3+}	0.780	0.881	0.853	0.832	0.735	0.922	0.817	0.995	0.815	0.968	0.732	0.397
Fe^{2+}	1.719	1.773	2.237	2.230	2.027	1.877	2.643	2.540	2.729	2.612	3.420	3.772
Mg	2.249	2.060	1.534	1.530	1.877	1.851	1.103	1.141	1.030	0.975	0.353	0.260
Mn	0.066	0.085	0.054	0.050	0.072	0.077	0.076	0.073	0.061	0.066	0.108	0.104
[C] site	**5.000**	**5.000**	**5.000**	**5.000**	**5.000**	**5.000**	**5.000**	**5.000**	**5.000**	**5.000**	**5.000**	**5.000**
Ca	1.895	1.878	1.817	1.821	1.908	1.866	1.839	1.851	1.842	1.828	1.834	1.867
Na	0.105	0.122	0.183	0.179	0.092	0.134	0.161	0.149	0.158	0.172	0.166	0.133
[B] site	**2.000**	**2.000**	**2.000**	**2.000**	**2.000**	**2.000**	**2.000**	**2.000**	**2.000**	**2.000**	**2.000**	**2.000**
Na	0.260	0.301	0.232	0.231	0.368	0.288	0.352	0.355	0.303	0.265	0.263	0.371
K	0.181	0.200	0.290	0.266	0.222	0.233	0.344	0.354	0.344	0.383	0.346	0.346
[A] site	**0.441**	**0.500**	**0.522**	**0.497**	**0.590**	**0.521**	**0.696**	**0.708**	**0.647**	**0.648**	**0.609**	**0.717**
Cations	15.88	16.06	16.09	16.00	15.97	15.86	16.05	16.20	15.96	15.94	16.0	16.0
$Mg/(Mg+Fe^{2+})$	0.567	0.538	0.407	0.407	0.481	0.496	0.295	0.310	0.274	0.272	0.094	0.065

Table 1: Representative WDS analysis (wt. %) and structural formulae (cpfu) for amphibole of porphyritic high-K calc-alkaline granites from the Rio Piranhas-Seridó and São José do Campestre domains, Borborema Province.

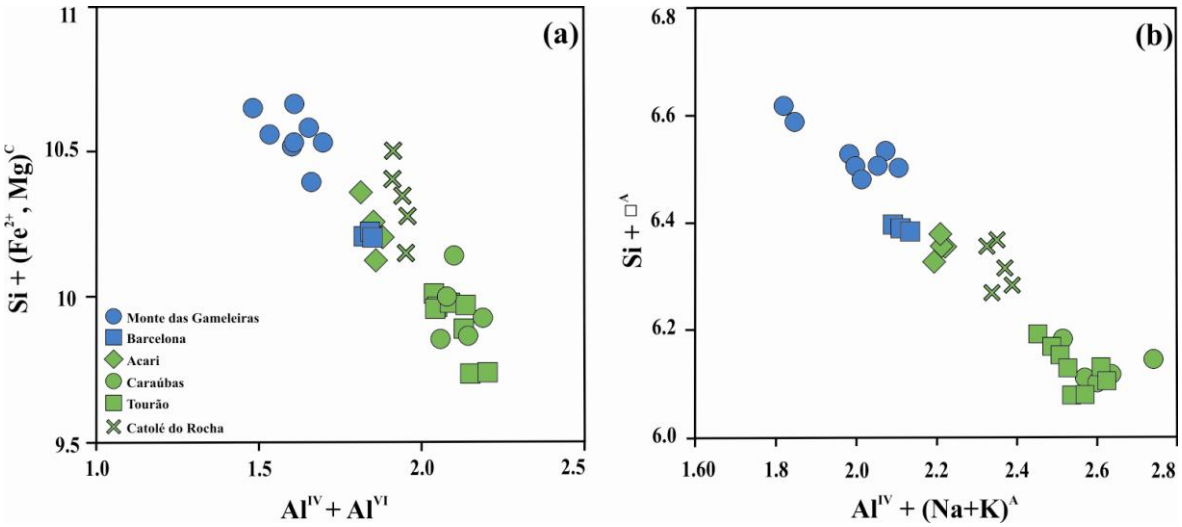

Figure 4: Binary plots showing compositional variations of amphibole from the studied plutons. (a) Cationic Al_{total} versus Si + $(Fe^{2+} + Mg)^C$ plot (Tschermak substitution; cpfu). (b) Cationic Al^{IV} + $(Na + K)^A$ versus Si + $□^A$ plot, where □= vacancy (edenite substitution; cpfu).

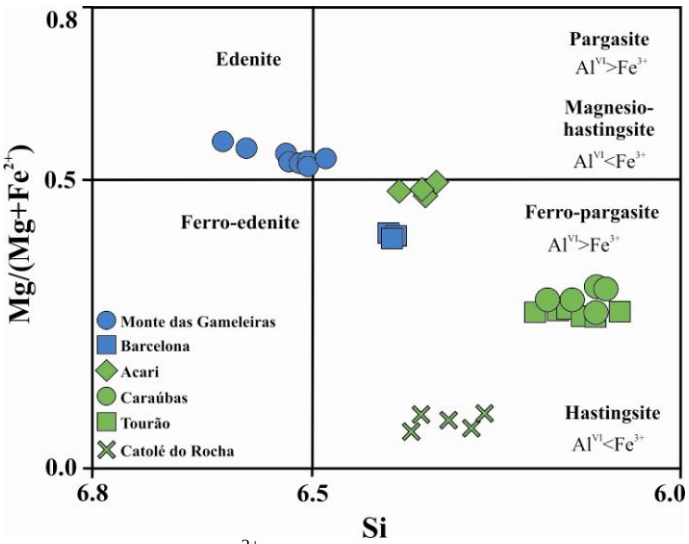

Figure 3: Cationic Si versus Mg/(Mg + Fe^{2+}) plot amphibole classification (Leake et al., 1997) from the studied plutons.

5.2 Biotite

The analyzed biotite is characterized by variable and high Fe contents, with fe# [Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)] ratios between 0.45 and 0.92 (Fig. 5). As verified for amphiboles, there is a decrease of Mg, and a slight enrichment of Al moving from the SJCD to the RPSD plutons. Biotite from Monte das Gameleiras and Acari plutons have the lowest fe# ratios (0.45 – 0.52); its compositions are transitional between phlogopite and annite (with Al^{IV} = 2.27 – 2.37 cpfu) (Table 2). Using the nomenclature scheme of Foster (1960), they have compositions of Mg-biotite. Crystals from the Barcelona pluton show intermediate fe# (0.59 – 0.61), and Al^{IV} (2.34 – 2.46 cpfu) contents comparable to those measured for the

Caraúbas and Tourão plutons (fe# = 0.63 – 0.73; Al^{IV} = 2.29 – 2.62 cpfu) in the RPSD. They correspond to Fe-biotite, according to Foster (1960). Biotite from the Catolé do Rocha pluton is the richest in the annite molecule, with fe# up to 0.92, and Al^{IV} between 2.42 and 2.5 cpfu, approaching siderophyllite compositions in Forster's classification (1960).

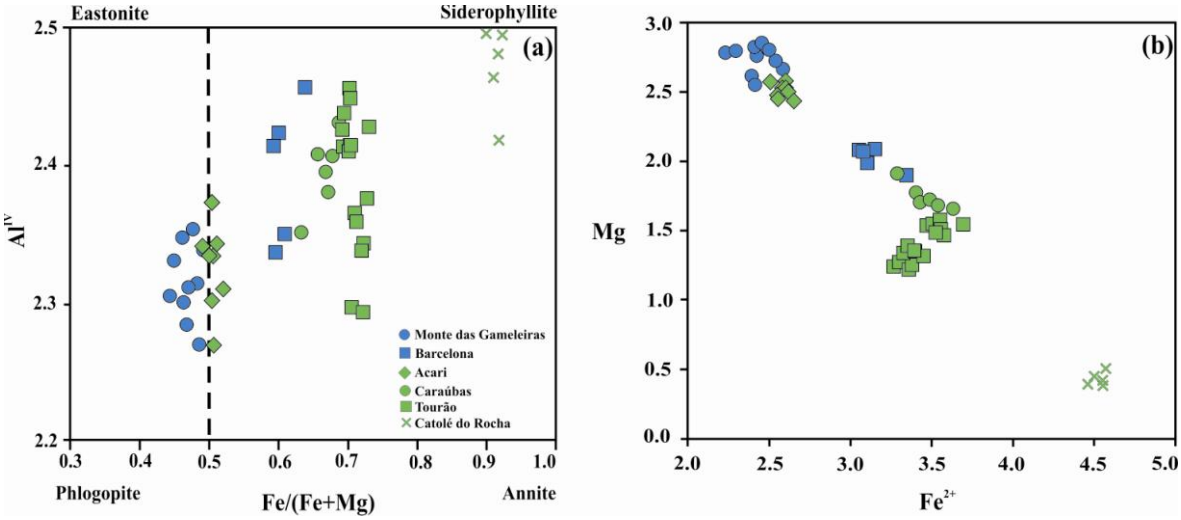

Figure 5: Binary plots displaying compositional variations of biotite in the studied plutons. (a) Cationic Fe/(Fe+Mg) versus Al^{IV} plot (cpfu) with ideal end member compositions. Dashed line separates phlogopite-rich from annite-rich compositions. (b) Cationic Fe^{2+} versus Mg plot (cpfu).

Nachit et al (2005) proposed the ternary diagram 10*TiO_2 – FeO+MnO – MgO based on biotite chemical composition as a quantitative tool for distinguishing between primary magmatic crystals, those that are re-equilibrated, and neoformed by or within a hydrothermal fluid. According to this diagram (Fig. 6a), most of the analyzed crystals have compositions that are akin to hydrothermally re-equilibrated biotite, with only few analysis from Tourão, Caraúbas, Catolé do Rocha and Barcelona plutons falling within the 'primary magmatic biotite' field. However, such chemical signature has to be interpreted with caution, since textural evidences reveal that biotite in the investigated plutons has incipient hydrothermal alteration (see section 4). Furthermore, biotite and amphibole share similar compositional variations (e.g., fe# numbers and Al contents; Figs. 4 and 5) that also follow host-rock compositions (Campos et al, 2015; Fig 6b), and the Mg/Fe partition between these minerals can be partially explained by the co-precipitation of amphibole and biotite, as will be further discussed in the next section. Therefore, it is assumed that biotite has essentially magmatic chemical compositions that follow host-granite geochemistry and are little re-equilibrated during hydrothermal stages, which allow fO_2 estimates based on biotite compositions (e.g., Anderson et al., 2008).

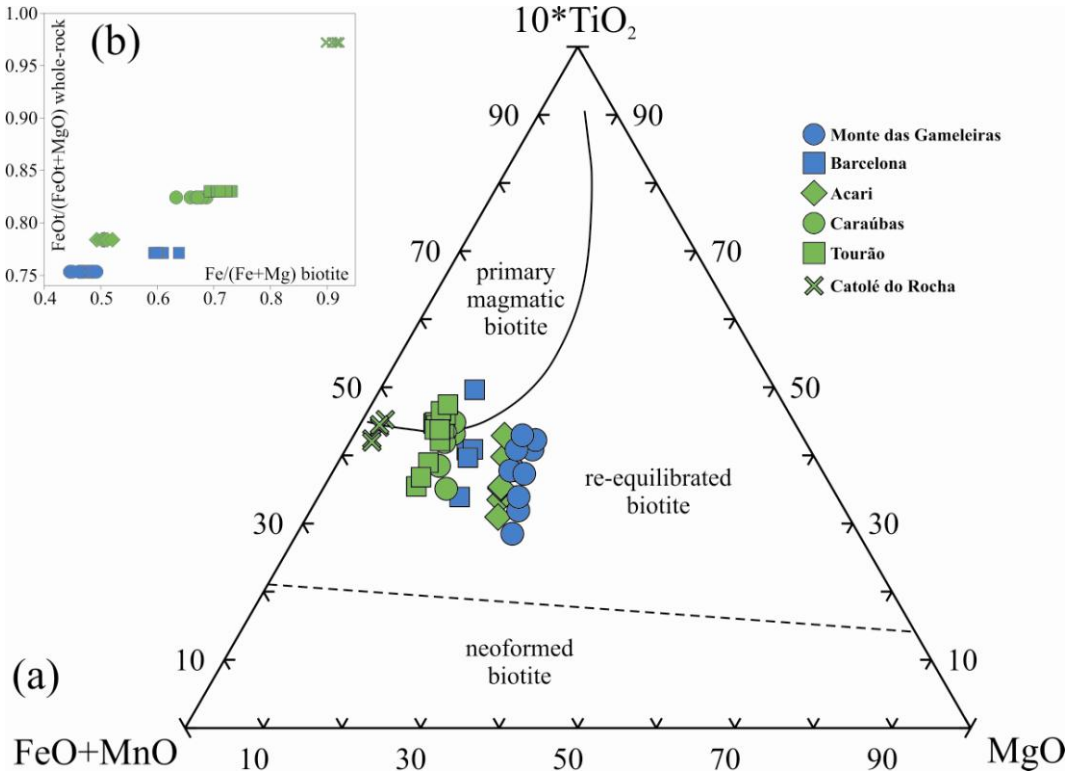

Figure 6: (a) Biotite compositions in the $10*TiO_2$ – FeO+MnO – MgO ternary diagram (wt. %), with limits of the domains for magmatic, re-equilibrated and neoformed biotite after Nachit et al. (2005). (b) A binary plot of Fe/(Fe+Mg) in biotite (cpfu) versus FeOt/(FeOt+MgO) in the host-rock (wt. %).

Nachit et al. (1985; see also Stussi and Cuney, 1996) introduced cationic diagrams as discriminating tools for the appraisal of the granite magma nature using biotite compositions. Based on Mg and Al contents (Fig. 7), most of the analyzed biotite crystals show transitional affinities with calc-alkaline and subalkaline rocks, compatible with the whole rock geochemical data of their host-granites (cf., Nascimento et al., 2015; Campos et al., 2015). They define a nearly horizontal trend due to high and variable Mg, and almost constant Al contents (except for the Tourão Pluton). Biotite from the Catolé do Rocha Pluton has subalkaline affinity but closer to the lower limit with the alkaline field (Fig. 7).

Pluton	**Mte. Gameleiras**		**Barcelona**		**Acari**		**Caraúbas**		**Tourão**		**Catolé do Rocha**	
Sample	**MG-01**	**MG-20**	**RC-10**		**ED-128**		**C-135**		**T-124b**	**T-22**	**FT-04**	
Analysis	**51**	**42IS30**	**P-167**	**P-169**	**55IS27**	**57IS27**	**22**	**25**	**1**	**8IS14**	**2**	**5**
SiO_2	36.64	36.54	36.27	34.94	36.22	36.60	35.44	34.82	35.68	36.08	33.95	33.74
TiO_2	1.26	1.48	2.25	3.31	1.72	2.05	2.57	2.65	2.80	2.49	2.73	2.61
Al_2O_3	14.55	14.26	14.75	13.73	15.25	14.43	14.29	13.81	15.13	15.23	14.79	15.05
FeOt	19.19	18.79	23.83	25.26	20.05	19.55	25.86	27.18	27.39	25.96	32.46	33.39
MnO	0.33	0.50	0.30	0.25	0.41	0.32	0.45	0.39	0.36	0.35	0.37	0.53
MgO	12.13	12.27	8.55	8.03	10.94	10.65	7.52	6.94	6.47	5.62	1.64	1.59
CaO	bd	bd	0.01	0.01	0.03	bd	0.00	bd	0.05	bd	bd	0.01
Na_2O	bd	0.08	0.03	bd	0.08	0.07	0.07	0.13	0.02	0.06	0.06	0.06
K_2O	10.01	9.43	9.77	9.77	9.54	9.61	9.60	9.37	9.89	9.12	8.77	9.24
Cl	nr	nr	0.03	0.02	nr	nr	nr	nr	nr	nr	0.13	0.14
F	nr	nr	0.94	0.49	nr	nr	nr	nr	nr	nr	0.61	0.56
O=(F, Cl)	-	-	*0.22*	*0.12*	-	-	-	-	-	-	*0.19*	*0.19*
Total	**94.11**	**93.35**	**96.50**	**95.68**	**94.24**	**93.28**	**94.14**	**95.29**	**97.79**	**94.91**	**95.31**	**96.74**
	Structural formulae based on 22 O, considering all iron as Fe^{2+} (Dymek, 1983)											
Si	5.700	5.689	5.650	5.543	5.627	5.732	5.593	5.569	5.545	5.707	5.582	5.505
Al^{IV}	2.300	2.311	2.350	2.457	2.373	2.268	2.407	2.431	2.455	2.293	2.418	2.495
[T] site	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**	**8.000**
Al^{VI}	0.321	0.351	0.358	0.110	0.420	0.395	0.250	0.173	0.317	0.546	0.447	0.399
Ti	0.174	0.147	0.264	0.394	0.201	0.241	0.305	0.319	0.327	0.296	0.337	0.321
Fe^{2+}	2.451	2.492	3.104	3.350	2.605	2.560	3.412	3.635	3.560	3.434	4.462	4.555
Mn	0.066	0.043	0.040	0.034	0.054	0.042	0.060	0.053	0.047	0.047	0.051	0.073
Mg	2.853	2.808	1.985	1.898	2.534	2.486	1.769	1.655	1.499	1.325	0.403	0.387
[M] site	**5.865**	**5.841**	**5.751**	**5.787**	**5.813**	**5.725**	**5.797**	**5.834**	**5.750**	**5.648**	**5.701**	**5.735**
Ca	0.000	0.000	0.002	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.001	0.001
Na	0.024	0.000	0.009	0.000	0.024	0.021	0.021	0.040	0.006	0.018	0.018	0.020
K	1.876	1.983	1.941	1.976	1.891	1.920	1.932	1.912	1.961	1.840	1.840	1.922
[I] site	**1.901**	**1.983**	**1.952**	**1.978**	**1.920**	**1.941**	**1.954**	**1.952**	**1.975**	**1.859**	**1.858**	**1.943**
F	nr	nr	0.009	0.005	nr	nr	nr	nr	nr	nr	0.036	0.040
Cl	nr	nr	0.461	0.246	nr	nr	nr	nr	nr	nr	0.315	0.288
$Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$	0.462	0.470	0.610	0.638	0.507	0.507	0.659	0.687	0.704	0.722	0.917	0.922

Table 2: Representative WDS analysis (wt. %) and structural formulae (cpfu) for biotite of porphyritic high-K calc-alkaline granites from the Rio Piranhas-Seridó and São José do Campestre domains, Borborema Province. bd = below detection limit; nr = not reported.

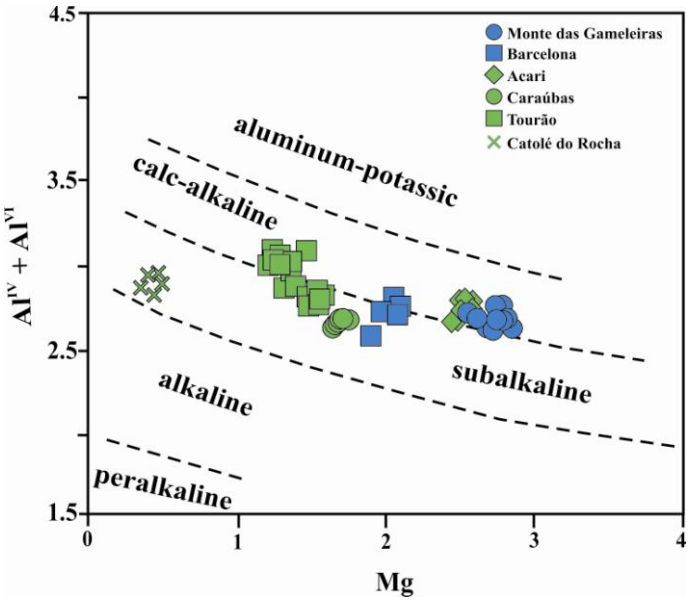

Figure 7: Compositional variations of biotite in the Al_{total} versus Mg binary diagram (fields of Nachit et al., 1985).

5.3. Plagioclase

Plagioclase in all plutons corresponds to oligoclase (Table 3), with a narrow compositional range between $Ab_{74}An_{26}Or_0$ and $Ab_{79}An_{20}Or_1$ for Acari, Barcelona, Tourão and Caraúbas plutons. Compositions are more sodic in the Monte das Gameleiras Pluton, with anorthite molecule contents down to 12 (An_{12-21}). Plagioclase was not analyzed for the Catolé do Rocha Pluton.

5.4. Accessory Minerals

Titanite in the investigated plutons has low Al contents (up to 0.12 cpfu) typical of magmatic titanite in granitoids (e.g. Enami et al., 1993; Morad et al., 2009). Based on $Al+Fe^{3+}$ and Ti contents, it is possible to distinguish the titanite of SJCD (Monte das Gameleiras and Barcelona) and Acari plutons from that of the RPSD plutons (Tourão and Caraúbas). In the former, titanite has lower $Al+Fe^{3+}$ (0.09 – 0.12), and higher Ti contents (0.9 – 0.93 cpfu), while in the latter titanite is $Al+Fe^{3+}$-richer (0.14 – 0.16), with slightly lower Ti contents (0.85 – 0.88 cpfu). Titanite was not analyzed for the Catolé do Rocha Pluton.

Euhedral epidote crystals included in biotite from Monte das Gameleiras and Tourão plutons have low TiO_2 contents (up to 0.11 wt.%), a typical chemical feature of magmatic epidote (Evans and Vance, 1987). Furthermore, values for the pistacite molecule [Ps = molar $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)*100$] vary between 28 – 29 (Tourão) to 30 (Monte das

Gameleiras and Barcelona); these are within the range considered to be typical of magmatic epidotes (Tulloch, 1979; Vyhnal et al., 1991; Schmidt and Poli, 2004). Of note, Galindo (1993) and Sial et al. (1999) report chemical data for magmatic epidote from other similar porphyritic high-K calc-alkaline granites in the RPSD (Prado and São Rafael plutons), and these are equivalent to the compositions here obtained (Ps_{28-29} for Prado Pluton; Ps_{27-29} for São Rafael Pluton).

Magnetite has nearly end-member composition, with very low TiO_2 contents (up to 0.18 wt. %). Al_2O_3 abundances are up to 0.27 wt. %, and the $Fe^{+3}/(Fe^{+3}+ Fe^{+2})$ ratio ranges from 0.66 to 0.67.

Pluton	**Mte. Gameleiras**	**Barcelona**	**Acari**	**Caraúbas**	**Tourão**	**Mte. Gameleiras**	**Acari**	**Tourão**	**Mte. Gameleiras**	**Tourão**	**Mte. Gameleiras**	**Acari**	**Tourão**
Sample	**MG-01**	**RC-10**	**ED-128**	**C-135**	**T-124b**	**MG-20**	**ED-128**	**T-124b**	**MG-01**	**T-124b**	**MG-20**	**ED-128**	**T-124b**
Analysis	**34**	**P-158**	**37**	**17**	**1**	**11**	**17**	**1**	**1**	**2**	**14**	**23**	**2**
Mineral	**plagioclase**					**titanite**			**epidote**		**magnetite**		
SiO_2	62.69	62.89	61.61	61.59	62.61	29.34	29.99	30.38	36.46	37.87	0.03	bd	0.01
TiO_2	nr	nr	nr	nr	nr	35.61	36.63	35.10	0.07	0.11	0.01	0.05	0.06
Al_2O_3	22.89	23.33	23.83	23.32	24.44	1.56	2.07	2.84	22.29	23.10	bd	0.08	bd
FeOt	0.03	0.07	0.12	0.09	0.06	1.75	1.52	1.59	13.57	12.46	92.10	92.44	94.21
MnO	nr	nr	nr	nr	nr	0.07	0.06	0.06	0.20	0.24	0.06	0.13	0.05
MgO	nr	nr	nr	nr	nr	0.01	bd	0.02	0.03	bd	bd	0.02	bd
CaO	4.06	4.46	5.16	4.93	5.39	27.55	28.51	28.09	23.02	22.94	bd	bd	bd
Na_2O	9.46	9.01	8.92	8.89	8.72	0.07	0.02	0.03	bd	bd	0.02	0.13	bd
K_2O	1.80	0.17	0.03	0.18	0.59	bd	bd	bd	0.08	0.01	bd	bd	bd
Total	**100.93**	**99.97**	**99.67**	**99.00**	**101.81**	**96.15**	**98.97**	**98.29**	**95.72**	**96.73**	**92.22**	**92.85**	**94.33**
	cationic prop. based on 32 O					*cationic prop. based on 5 O*			*cationic prop. based on 12 O*		*cationic prop. based on 4 O*		
Si	11.112	11.137	10.975	11.042	10.944	0.987	0.979	0.994	2.942	2.991	0.001	0.000	0.000
Al	4.781	4.869	5.003	4.927	5.034	0.062	0.080	0.110	2.120	2.150	0.000	0.004	0.000
Ti	nr	nr	nr	nr	nr	0.901	0.899	0.864	0.004	0.007	0.000	0.001	0.002
Fe^{3+}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.042	0.044	0.916	0.823	1.997	1.991	1.996
Fe^{2+}	0.004	0.011	0.018	0.013	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.999	0.995	1.000
Mn	nr	nr	nr	nr	nr	0.002	0.002	0.002	0.013	0.016	0.002	0.004	0.002
Mg	nr	nr	nr	nr	nr	0.001	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.001	0.000
Ca	0.771	0.846	0.985	0.947	1.009	0.993	0.997	0.985	1.990	1.941	0.000	0.000	0.000
Na	3.251	3.091	3.080	3.090	2.955	0.005	0.001	0.002	0.000	0.000	0.002	0.010	0.000
K	0.407	0.038	0.007	0.041	0.132	0.000	0.000	0.000	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000
Cations	20.33	19.99	20.07	20.06	20.08	3.00	3.00	3.00	8.00	7.93	3.00	3.01	3.00

Table 3: Representative WDS analysis (wt. %) and cationic proportions (cpfu) for plagioclase, titanite, epidote, and magnetite of porphyritic high-K calc-alkaline granites from the Rio Piranhas-Seridó and São José do Campestre domains, Borborema Province. bd = below detection limit; nr = not reported.

6. INTENSIVE CRYSTALLIZATION PARAMETERS

6.1. Pressure

The presence of the magmatic assemblage quartz + K-feldspar + plagioclase + biotite + hornblende + titanite + Fe-Ti oxides in all studied plutons validates the application of the Al-in-hornblende geobarometer of Anderson and Smith (1995), calibrated with temperatures from the plagioclase-hornblende geothermometer of Holland and Blundy (1994). Calculated pressures vary from 3.8 to 6.2 kbar, increasing towards the RPSD plutons (Fig. 8; Table 4). Low confining pressures define the Monte das Gameleiras Pluton (3.8 – 4.7 kbar); Barcelona and Acari plutons have intermediate pressures (5.3 – 5.5, and 4.8 – 5.1 kbar, respectively), while higher values are found in Catolé do Rocha (5.2 – 5.6 kbar), Tourão (5.3 – 6.0 kbar) and Caraúbas plutons (4.8 – 6.2 kbar). The contrast between the Al-in-hornblende pressures of SJCD and RPSD plutons is more apparent when one considers the values obtained with the T-independent geobarometer of Schmidt (1992). In this case, pressures range from 4.1 – 5.9 kbar in the SJCD, to 5.6 – 7.5 kbar in the RPSD plutons (Table 4).

The obtained pressures are equivalent to the maximum estimates calculated by Sial et al. (1999) for the São Rafael Pluton (up to 4.5 kbar), located east of the Tourão and Caraúbas plutons. Moreover, the presence (in equilibrium) of the mineral assemblage required for Al-in-hornblende geobarometry indicates the magmas are in an advanced stage of crystallization and, thus, the estimated pressures represent the conditions during final emplacement (e.g., Helmy et al., 2004).

Inferences on lithostatic pressures can also be made from the presence and composition of magmatic epidote. Sial et al. (2008) studied in detail a number of calc-alkaline and high-K calc-alkaline, magmatic epidote bearing granitoids from the Borborema Province, including some bodies from RPSD and SJCD. Sial et al. (2008) argued that rocks with epidote in the compositional range Ps_{27-29} crystallized at 3–5 kbar, a conclusion in agreement with the calculated pressures for the Monte das Gameleiras and Barcelona (Ps_{30-31}), and Tourão (Ps_{28-29}) plutons, where epidote was analyzed.

6.2. Temperature

Quasi-solidus hornblende-plagioclase equilibrium temperature estimates (Holland and Blundy, 1994) range from 701 to 776 ºC, and are systematically higher in the RPSD plutons (Fig. 8; Table 4). Average values are 710 (± 7) ºC and 703 (± 2) ºC for Monte das Gameleiras and Barcelona plutons (SJCD), while Acari, Tourão and Caraúbas plutons (RPSD) crystallized under temperatures of 734 (± 7) ºC, 753 (± 5) ºC and 758 (± 13) ºC, respectively. Temperature estimates for the Catolé do Rocha Pluton (RPSD) are slightly lower (732 ± 8 ºC). These results agree with the titanite compositions, with $Al+Fe^{3+}$ up to 0.16 cpfu. According to Enami et al. (1993), titanite composition depends upon temperature and pressure; and so, titanite crystals having $Al+Fe^{3+}$ < 0.35 cpfu crystallized at temperatures higher than ~700 ºC.

Zircon saturation temperatures (Watson and Harrison, 1983; Miller et al., 2003), calculated from whole-rock chemical data, are available for some of the investigated samples (Table 4). All samples are within the calibrated range of Miller et al. (2003), with a *M* factor [= (Na+K+2Ca)/(Al*Si), cation fraction] between 1.3 and 1.9. These temperatures should approach the liquidus, since zircon is an early-crystallized phase in all studied plutons. Therefore, the following average crystallization intervals are suggested: 821 – 734 ºC for the Acari Pluton; 848 – 753 ºC and 852 – 758 ºC for the Tourão and Caraúbas plutons, respectively; and 874 – 732 ºC for the Catolé do Rocha Pluton.

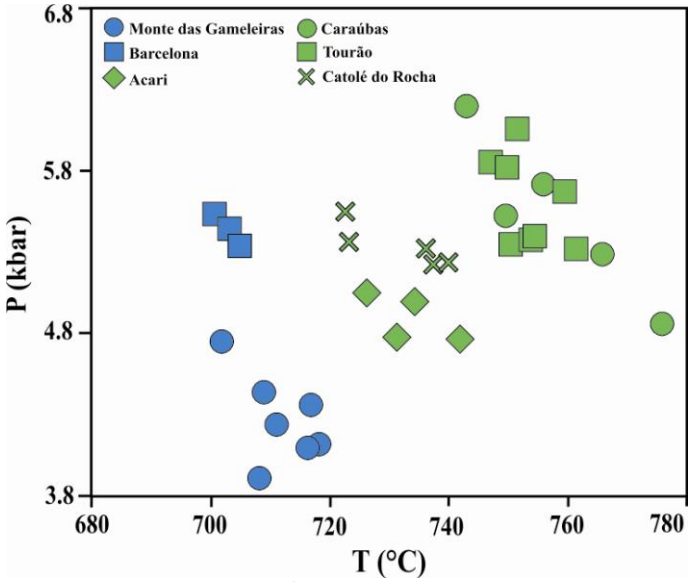

Figure 8: Plagioclase-hornblende temperatures (ºC) of Holland and Blundy (1994) versus Al-in-hornblende pressures (kbar) after Anderson and Smith (1995) calculated for the studied plutons.

6.3. Redox conditions

The observed mineral assemblages and compositions of the main mafic minerals point to crystallization under relatively oxidizing conditions. For instance, the paragenesis biotite ± calcic amphibole + quartz + titanite + magnetite ± ilmenite indicates fO_2 conditions close to or higher than the TMQAI (titanite – magnetite – quartz – amphibole – ilmenite) buffer (Noyes et al., 1983; Wones, 1989). The fe# number [Fe/(Fe+Mg)] of amphibole and biotite (Figs. 9a, 9b) is indicative of oxygen fugacity (e.g., Wones, 1981; Anderson and Smith, 1995; Anderson et al., 2008), and suggests similar conditions. According to Anderson and Smith (1995), fe# values as the ones obtained in the Monte das Gameleiras and Acari amphiboles indicate relatively high oxidizing conditions, whereas the amphiboles of the Catolé do Rocha Pluton crystallized at lower fO_2. Fe# numbers in the remaining plutons point towards moderate to low fO_2 (Fig. 9a). However, the *fox* [$Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$] ratios in these amphiboles vary between 0.2 and 0.3, suggesting a range of fO_2 above the FMQ (fayalite – magnetite – quartz) buffer (Clowe et al., 1988; Papoutsa and Pe-Piper, 2014). A further discussion on the relationship between fO_2 and amphibole composition is offered below.

Anderson et al. (2008) estimated Δ_{FQM} values as a function of fe# numbers in biotite of Mesoproterozoic magnetite-, and ilmenite-bearing granites from Laurentia. Most of biotite compositions in the studied plutons have fe# numbers ranging from 0.4 to 0.7, which result in $\Delta_{FQM} \approx +0.2$ to +2.0. Two intervals are observed: $0.2 < \Delta_{FQM} < +0.9$ for the western Caraúbas and Tourão plutons (RPSD), and $+0.8 < \Delta_{FQM} < +2.0$ for the eastern Acari (RPSD), Barcelona, and Monte das Gameleiras (RPSD) plutons (Fig. 9b; Table 4). Such estimates, along with the presence of dominant magnetite in these granites, are compatible with high oxidizing conditions similar to those found in the Mesoproterozoic Laurentia magnetite-series granites (Anderson et al., 2008).

Biotite in the Catolé do Rocha Pluton has fe# numbers of ~0.9 (thus a $\Delta_{FQM} \approx -1.0$; Fig. 9b; Table 4), pointing to more reducing crystallization conditions, as verified for amphibole, in spite of the presence of magnetite. In fact, the Catolé do Rocha porphyritic granites have high whole-rock FeOt/(FeOt + MgO) ratios (generally between 0.9 and 0.97; Medeiros et al., 2008, their 'Brejo dos Santos' facies) that reflect in amphibole and biotite compositions and indicate crystallization under low fO_2 conditions. Although magnetite-bearing granites are generally interpreted as oxidized (cf. Ishihara, 1981), the presence of

magnetite in granites is not incompatible with a reduced character (cf. Anderson and Smith, 1995; Anderson et al., 2008; Dall'Agnol et al., 2005; Cunha et al., 2016).

Redox conditions can also be evaluated from the magmatic epidote compositions. Sial et al. (2008) argued that magmatic epidote in calc-alkaline and high-K calc-alkaline granitoids from the Borborema Province crystallizes under conditions of high fO_2, between the FQM and NNO (Ni-NiO) buffers, or even up to the MH (magnetite – hematite) buffer.

6.3.1. The relationship between fO_2 and amphibole compositions

The previous section has shown that oxygen fugacity plays a major role on amphibole compositions, since it controls fe# numbers and *fox* ratios. With increasing oxygen fugacity, calcic amphiboles (e.g., hornblende) become progressively Mg-enriched during the crystallization process (Wones, 1981); therefore, hornblende with high fe# is interpreted to have been crystallized under low fO_2 (Anderson and Smith, 1995). In fact, more reducing conditions enhance Fe^{2+} incorporation into hornblende structure, which forces the substitution of Mg by Al through the Tschermak exchange (Fig. 4a). Consequently, a low fO_2 leads to high Al contents in hornblende, which can result in overestimated pressures using the Al-in-hornblende barometer. On the other hand, a high fO_2 enhances the entrance of Fe^{3+} in place of Al into hornblende structure (Hollister et al., 1987; Anderson and Smith, 1995; Stein and Dietl, 2001). Anderson and Smith (1995; see also Anderson, 1996) therefore recommend to use only amphiboles formed under high to moderate fO_2 (fe# $\leq$ 0.65; *fox* $\geq$ 0.25) for geobarometry. Amphiboles in Monte das Gameleiras and Acari plutons have fe# numbers (0.53 – 0.6) typical of oxidizing crystallization conditions, whereas fe# numbers in the Catolé do Rocha Pluton (0.92 –0.94) indicate crystallization under low fO_2. In the remaining plutons (Barcelona, Tourão and Caraúbas), amphiboles have relatively high fe# numbers (0.67 – 0.79), pointing to moderate to low fO_2 (Fig. 9a), as opposed to the high to moderate oxidizing crystallization conditions suggested by many of the aforementioned fO_2 indicators. In fact, Mg abundances in these amphiboles vary mostly between 1.0 and 1.5 cpfu, showing that these minerals did not be become as magnesian as amphiboles crystallized under moderate to high fO_2 do (Papoutsa and Pe-Piper, 2014). Papoutsa and Pe-Piper (2014) suggested the partition of Mg into Fe-rich amphiboles of A-type granites from the Wentworth Pluton (Canada) was influenced by the co-precipitation of annitic biotite that has also incorporated

significant amounts of Mg (up to 2.1 cpfu). This prevented Mg-enrichment of amphiboles, leading to the precipitation of Fe-rich amphiboles under more oxidizing conditions. A similar scenario is proposed for Barcelona, Tourão and Caraúbas plutons, where textural evidences suggest some co-crystallization of amphibole and biotite. Furthermore, Mg abundances in these biotites are up to 2.09 (Barcelona Pluton), which have thus influenced Mg partition into amphibole.

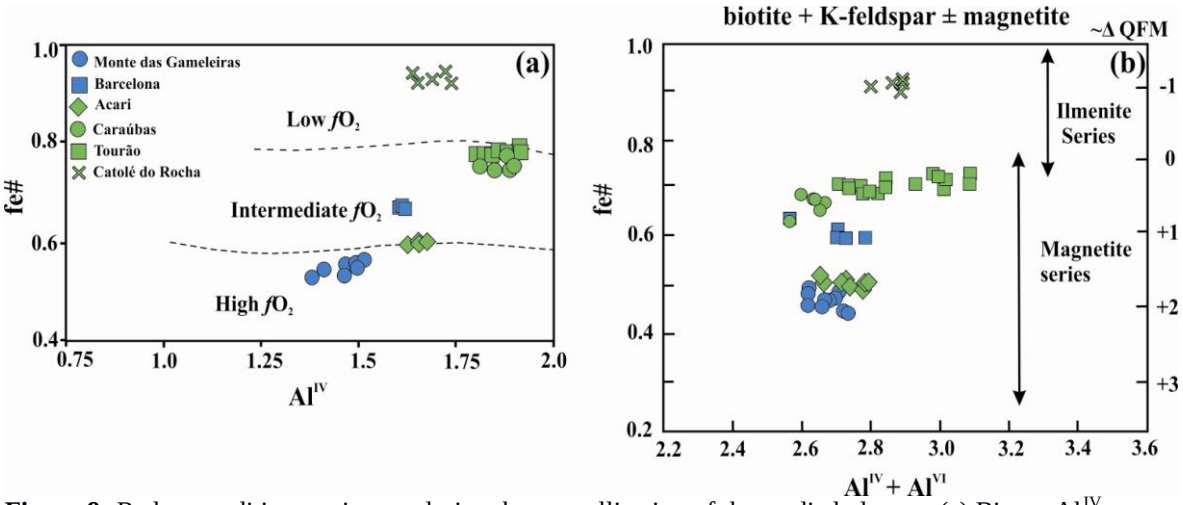

Figure 9: Redox conditions estimates during the crystallization of the studied plutons. (a) Binary Al^{IV} versus fe# number [(Fe/(Fe + Mg)] plot (cpfu) for amphibole. fO_2 fields after Anderson and Smith (1995). (b) Binary Al^{IV} + Al^{VI} (11 oxygens) versus fe# number plot (cpfu) of Anderson et al. (2008) for biotite, compared to Laurentia Mesoproterozoic ilmenite-series and magnetite-series granites, with approximate fO_2 relative to the FQM (fayalite–quartz–magnetite) buffer (P_{H2O} = P_{total}) based on the calibration of Wones (1981).

Pluton	Sample	T_{HB94} (°C)	T_{satZr} (°C)	Zr (ppm)	P_{AS95} (kbar)	P_{S92} (kbar)	Depth (km)	$\sim\Delta_{FQM}$
Monte das Gameleiras	MG-01	701 - 711	nr	nr	3.8 - 4.7	4.1 - 5.1	14 - 18	+1.8 to +2.0
	MG-20	708 - 718	nr	nr	3.9 - 4.4	4.3 - 4.9	15 - 16	+1.8 to +2.0
Barcelona	RC-10	701 - 705	nr	nr	5.3 - 5.5	5.7 - 5.9	20 - 21	+0.8 to +1.0
Acari	ED-128	726 - 742	821	280	4.8 - 5.1	5.6 - 5.9	18 - 19	+1.5 to +1.8
Tourão	T-124b	747 - 761	848	415	5.3 - 6.0	6.7 - 7.5	20 - 23	+0.2 to +0.5
Caraúbas	C-135	743 - 776	852	383	4.8 - 6.2	6.8 - 7.4	18 - 23	+0.5 to +0.9
Catolé do Rocha	FT-04	723 - 739	874	437	5.2 - 5.6	6.1 - 6.3	20 - 21	-1.0

T_{HB94} = plagioclase-hornblende thermometry (°C) of Holland and Blundy (1994). T_{satZr} = zircon saturation thermometry (°C) of Watson and Harrison (1983). Whole-rock Zr contents (ppm) are presented for comparison. P_{AS95} = temperature-corrected Al-in-hornblende barometry (kbar) of Anderson and Smith (1995). P_{S92} = temperature-independent Al-in-hornblende barometry (kbar) of Schmidt (1992). $\sim\Delta_{FQM}$ = qualitative fO_2 estimates relative to the FQM buffer (assuming $P_{H2O} = P_{total}$), based on the calibration of Wones (1981).

Table 4: Summary of the estimated intensive crystallization parameters for porphyritic high-K calc-alkaline granites from the Rio Piranhas-Seridó and São José do Campestre domains, Borborema Province. nr = not reported.

7. GEODYNAMIC IMPLICATIONS

The six porphyritic high-K calc-alkaline granite plutons here investigated intrude rocks of two geological domains in the northeastern Borborema Province (Fig. 1): (a) the São José do Campestre (SJCD: Monte das Gameleiras and Barcelona plutons); and (b) the Rio Piranhas-Seridó (RPSD: Acari, Caraúbas, Tourão and Catolé do Rocha plutons). These granites share similar petrographic and slight contrasted chemical features, as seen in their mineral chemistry, and crystallization ages between 571 and 580 Ma. According to Souza et al. (2015) the magmatism in northern Borborema Province reached its climax at 575 Ma, concomitant with the peak of widespread transpression and synchronous high temperature metamorphism. In fact, the emplacement and crystallization of these granites occurred after the amalgamation of both SJCD and RPSD along the Picuí-João Câmara shear zone (Campelo, 1999; Angelim et al., 2006). Ganade de Araújo et al. (2014) argue that the development of shear zones in northern Borborema Province resulted from a two-stage collision process: the first at 620 – 600 Ma (Collision I – related to the closure of the Pharusian–Goiás Ocean); and the second at 590 – 570 Ma (Collision II – related to the closure of the Sergipano Ocean, and subsequent collision of the Borborema Province against the São Francisco Craton), followed by synkinematic granitoids. Therefore, the Picuí – João Câmara shear zone constitutes an important limit (suture zone) between the SJCD and RPSD.

Based on gravimetric data, Oliveira (2008) proposed that crustal thickness in the study area was modified due to Mesozoic continental drift events. Thus, the SJCD and RPSD should have been thicker when the magmas that formed the investigated plutons were emplaced. The emplacement pressure estimates were converted to depths by using an average crustal density of 2.65 g/cm^3 (Table 4). The calculated emplacement depths range from 14 to 23 km, and it is possible to recognize two intervals: 14–21 km (Monte das Gameleiras, Barcelona and Acari), and 18–23 km (Tourão, Caraúbas and Catolé do Rocha). These results, along with (1) mineral chemistry data that reveal higher Al and lower Mg contents in amphibole, biotite and titanite towards the RPSD plutons (Figs. 3 to 7), and (2) pressure and temperature estimates (Fig. 8; Table 4), suggest a weak westward trend of increasing depth of emplacement (Fig. 10) from SJCD to RPSD.

Another important inference can be obtained from the presence of magmatic epidote. Schmidt and Thompson (1996) demonstrated that at water-saturated and oxidizing conditions, epidote is a stable magmatic phase at minimum pressures of ~5 kbar. However,

magmatic epidote, as an early-crystallized phase, occurs in the Monte das Gameleiras pluton, with calculated confining pressures between 3.8 and 4.7 kbar. From this, it is inferred initial crystallization at depth (with epidote precipitation) and a rather high magma ascension rate (to preserve magmatic epidote) through a network of shear zones, before final crystallization, when amphibole was formed (e.g., Sial et al., 2008; Ferreira et al., 2011).

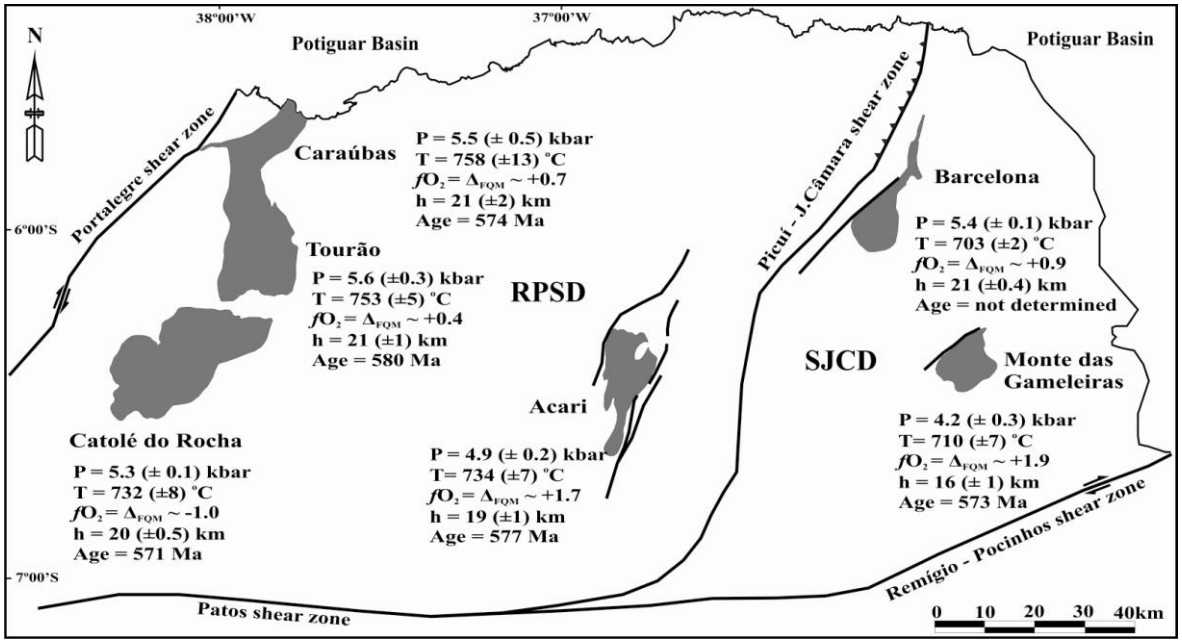

Figure 10: Geological sketch showing the location of the studied plutons along with a summary (average values) of the estimated pressure (P) and temperature (T) intervals, oxygen fugacity (fO_2), and emplacement depths (h), as well as the crystallization ages compiled from previous works. RPSD = Rio Piranhas-Seridó Domain; SJCD = São José de Campestre Domain.

8. CONCLUSIONS

Chemical compositions of the mineral assemblage biotite + hornblende + plagioclase ± titanite ± epidote ± magnetite were used to estimate intensive crystallization parameters of six porphyritic high-K calc-alkaline granite plutons emplaced into Archean to Paleoproterozoic rocks of the São José do Campestre (Monte das Gameleiras and Barcelona plutons), and Rio Piranhas-Seridó (Acari, Caraúbas, Tourão, and Catolé do Rocha plutons) domains, in the northeastern portion of the Borborema Province. Amphibole and biotite, as well as titanite, share similar compositional variations, marked mainly by increasing Al and Fe, and decreasing Mg contents from plutons emplaced in the São José do Campestre towards those in the Rio Piranhas-Seridó Domain.

The studied rocks were emplaced at different crustal depths (14 – 23 km), and crystallized under pressure and temperature ranges of 3.8 – 7.5 kbar, and 701 – 776 ^{o}C,

respectively, at predominantly high to moderate fO_2 conditions, except for the Catolé do Rocha pluton, which appears to have crystallized in a more reducing environment ($\Delta_{FQM} \approx$ -1.0). Shear zone displacements must have played a major role in allowing magmas to reach shallower emplacement levels. Calculated intensive crystallization parameters reveal a weak westward trend of increasing temperature, pressure and emplacement depth, and decreasing fO_2 (Fig. 10). The São José do Campestre plutons crystallized at shallower crustal depths (14 – 21 km), under lower pressure (3.8 – 5.5 kbar) and temperature (701 – 718 ^{o}C) intervals, and high to moderate oxygen fugacity conditions ($+0.8 < \Delta_{FQM} < +2.0$). On the other hand, the Rio Piranhas-Seridó plutons were emplaced at slightly deeper depths (18 – 23 km), under higher, yet variable pressures (4.8 – 6.2 kbar), temperatures (723 – 776 ^{o}C), and moderate to low oxygen fugacity conditions ($-1.0 < \Delta_{FQM} < +1.8$). These results support the individualization and reinforce the contrasts between the aforementioned tectono-structural domains of São José do Campestre and Rio Piranhas-Seridó in the northern Borborema Province.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the support of the Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), Departamento de Geologia, UFRN. B.C.S. Campos benefited from a Master's degree scholarship from Capes Foundation during the preparation of the manuscript. Roberto Gusmão de Oliveira is thanked for his suggestions on the original manuscript. Our special thanks to Drs. Silvio R. F. Vlach and Maria de Fátima A. S. Bitencourt for their insightful comments and suggestions that greatly improved the original manuscript. The careful editorial handling of Reinhardt A. Fuck is also acknowledged.

REFERENCES

Abbott, R.N., 1985. Muscovite-bearing granites in the AFM liquidus projection. Canadian Mineralogist 23, 553–561.

Abdel-Rahman, A.M. 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. Journal of Petrology. 35, 525–541.

Ague, J.J. 1997. Crustal mass transfer and index mineral growth in Barrow's garnet zone, northeast Scotland. Geology. 25, 73–76.

Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. Earth Science Reviews. 17, 1-29.

Andersen, D.J., Lindsley, D.H. 1985. New (and final!) models for the Ti-magnetite/ilmenite geothermometer and oxygen barometer. Abstract AGU 1985 Spring Meeting Eos Transactions. American Geophysical Union. 66–416.

Anderson, J. L. 1996. Status of thermobarometry in granitic batholiths. Transactions of the Royal Society of Edimburgh (Earth Sciences). 87, 125–138.

Anderson, J.L., Smith, D.R. 1995. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. American Mineralogist. 80, 549–559.

Anderson, J.L., Barth, A.P., Mazdab, J.L.W.F., 2008. Thermometers and Thermobarometers in Granitic Systems. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 69, 121–142.

Angelim, L.A.A., Nesi, J.R., Torres, H.H.F., Medeiros, V.C., Santos, C.A., Veiga Junior, J.P., Mendes, V.A., 2006. Geologia e Recursos Minerais do estado do Rio Grande do Norte: Texto Explicativo dos Mapas Geológico e de Recursos Minerais do estado do Rio Grande do Norte Escala 1:500.000. Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), Recife, p. 233.

Antunes A.F., Galindo A.C., Alves da Silva F.C., Jardim de Sá E.F., 2000. Magmatismo Granítico de afinidade Subalcalina/Monzonítica no Maciço São José de Campestre, Província Borborema (NE do Brasil): O exemplo do Plúton de Monte das Gameleiras. Geochimica Brasiliensis 14(1):051-069.

Archanjo, C.J., Viegas, L.G.F., Hollanda, M.H.B., Souza, L.C., Liu, D. 2013. Timing of the HT/LP transpression in the Neoproterozoic Seridó Belt (Borborema Province, Brazil): Constraints from U-Pb (SHRIMP) geochronology and implications for the connections between NE Brazil and West Africa. Gondwana Research. 23, 701–714.

Brito Neves, B.B., Santos, E.J., Van Schmus, W.R. 2000. Tectonic history of the Borborema province. In: U.G.Cordani; E.J. Milani; A Thomaz Filho; D.A. Campos (eds.) Tectonic Evolution of the South America. 31st International Geological Congress, 2000, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 151–182.

Campelo, R.C. 1999. Análise de terrenos na porção setentrional da Província Borborema, NE do Brasil: integração de dados geológicos e gravimétrico. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Unpublished Master's dissertation, 130p.

Campos, B.C.S., Nascimento, M.A.L., Galindo, A. C., Vilava, F.C.J. 2015. Mineral Chemistry of Biotites and Amphiboles from Ediacaran High-K Calc-Alkaline Porphyritic Granites of the Rio Grande do Norte Domain, NE Brazil. In: VIII Hutton Symposium on Granites and Related Rocks, p. 33.

Carmichael, I.S.E. 1967. The mineralogy of Thingmuli, a Tertiary volcano in eastern Iceland. American Mineralogist. 52, 1815–1841.

Cavalcante, R., Galindo, A.C., Silva, F.C.A., Souza, R.F. 2014. Química mineral de cristalização do Plúton Granítico Barcelona, extremo nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil. Pesquisa em Geociências. 41, 257–272.

Clowe, C.A., Popp, R.K., Fritz, S.J. 1988. Experimental investigation of the effect of oxygen fugacity on ferric-ferrous ratios and unit-cell parameters of four natural clinoamphiboles. American Mineralogist. 73, 487 – 99.

Cunha, I. R.V., Dall'Agnol, R., Feio, G.R.L. 2016. Mineral Chemistry and Magnetic Petrology of the Archean Planalto Suite, Carajás Province – Amazonian Craton: Implications for the Evolution of Ferroan Archean Granites. Journal of South American Earth Sciences. 67, 100-121.

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 granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. Lithos 80, 101-129.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1997. Rock- Forming Minerals, Vol. 2B, Double Chain Silicates. 2nd Ed. The Geological Society. London.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 2013. An Introduction to the Rock-forming Minerals. 3rd Ed. The Mineralogical Society, London.

Dymek, R F. 1983. Titanium, aluminum and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses, West Greenland. American Mineralogist. 68, 880–899.

Elliott, B.A. 2001. Crystallization conditions of the Wiborg rapakivi batholith, SE Finland: an evaluation of amphibole and biotite mineral chemistry. Mineralogy and Petrology. 72, 305–324.

Enami, M., Suzuki, K., Liou, J.G., Bird, D.K. 1993. Al – Fe^{3+} and F-OH substitutions in titanite and constraints on their P-T dependence. European Journal of Mineralogy. 5, 219–231.

Erdmann, S., Martel, C., Pichavant, M., Kushnir, A. 2014. Amphibole as an archivist of magmatic crystallization conditions: Problems, potential, and implications for inferring magma storage prior to the paroxysmal 2010 eruption of Mount Merapi, Indonesia, Contributions to Mineralogy and Petrology. 167, 1016.

Evans, B.W., Vance, J.A. 1987. Epidote phenocrysts in dacitic dikes, Boulder County, Colorado. Contributions to Mineralogy and Petrology. 96, 178–185.

Ferreira, V.P., Sial, A.N., Pimentel, M.M., Armstrong, R., Spicuzza, M.J., Guimarães, I.P., da Silva Filho, A.F. 2011. Contrasting sources and P-T crystallization conditions of epidote-bearing granitic rocks, northeastern Brazil: O, Sr, and Nd isotopes. Lithos. 121, 189–201.

Foster, M.D. 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. US Geological Survey, Professional Papers. 354, 1–49.

Galindo, A.C., 1993. Petrologia dos Granitóides Brasilianos da Região de Caraúbas-Umarizal, oeste do Rio Grande do Norte. Unpublished Ph.D. thesis. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, p. 370.

Galindo, A.C., Souza, Z.S., Dantas, E.L., 2005. Geocronologia U-Pb de granitoides tipo Itaporanga (Monte das Gameleiras e Serrinha), Maciço São José de Campestre, NE do Brasil. In: 21^{o} Simpósio de Geologia do Nordeste, Anais. 21, 150–152.

Ganade de Araújo C. E., Weinberg R. F., Cordani U. 2014. Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. Terra Nova, 26, 157–168, 2014.

Gualda, G.A.R., Vlach, S.R.F. 2005. Stoichiometry-based estimates of ferric iron in calcic, sodic-calcic and sodic amphiboles: A comparison of various methods. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 77, 521–534.

Hammarstrom, J.M., Zen, E., 1986. Aluminum-in-hornblende: na empirical igneous geobarometer. American Mineralogist. 71, 1297–1313.

Hawthorne, F.C., Oberti, R., Harlow, G. E., Maresch, W.V., Martin, R.F., Shumacher, J.C., Welch, M.D. 2012. IMA Report Nomenclature of the amphibole supergroup. American Mineralogist. 9, 2031–2048.

Helmy, H.M., Ahmed, A.F., Mahallawi, M.M., Ali, S.M. 2004. Pressure, temperature and oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt, and tectonic implications. Journal of African Earth Sciences. 38, 255–268.

Holland, T., Blundy, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. Contributions to Mineralogy and Petrology. 116, 433–447.

Hollister, L.S., Grissom, G.C. Peters, E.K., Stowell, H.H., Sisson, V.B. 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. American Mineralogist. 72, 231–239.

Ishihara, S., 1981. The granitoid series and mineralization. Economic Geology 75, 458-484.

Jardim de Sá, E.F. 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasiliana/Pan-Africana. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Unpublished PhD thesis. 803p.

Leake, B.E., et al. 1997. Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. Mineralogical Magazine. 61, 295–321.

Medeiros, V.C. 2013. Geologia da Província Mineral Seridó. I Seminário das Províncias Metalogenéticas Brasileiras: a Província de W-Au Seridó (p. 2-35). Currais Novos: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. CD-ROM.

Medeiros, V.C., Amaral, C.A., Rocha, D.E.G.A., Santos, R.B. 2005. Programa Geologia do Brasil e PGB. Sousa. Folha SB.24-Z-A. Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Mapa Geológico. CPRM, Recife. Escala 1:250.000.

Medeiros, V.C., Galindo, A.C., Nascimento, M.A.L. 2008. Litogeoquímica do Batólito de Catolé do Rocha (RN-PB), porção W do Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. Estudos e Pesquisas. 18, 28–44.

Miller, C.F., McDowell, S.M., Mapes, R.W. 2003. Hot and cold granites? Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance. Geology. 31, 529–532.

Morad, S., El-Ghali, M.A.K., Caja, M.A., Al-Ramadan, K., Mansurbeg, H. 2009. Hydrothermal alteration of magmatic titanite: Evidence from Proterozoic granitic rocks, Southeastern Sweden. Canadian Mineralogist. 47, 801–811.

Nachit, H., Razafimahefa, N., Stussi, J.M., Carron, J.P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatiquc des granitoldes. Comptes Rendus Hebdomadaires de I'Academie des Sciences. 301, 813-818.

Nachit, H., Ibhi, A., Abia, E.H., Ohoud, M.B. 2005. Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites. Comptes Rendus Geoscience. 337, 1415–1420.

Nascimento, M.A.L., Galindo, A.C., Medeiros, V.C. 2015. Ediacaran to Cambrian magmatic suítes in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil) Current Knowledge. Journal of South American Earth Sciences. 58, 281–299.

Noyes, H.J., Frey, F.A., Wones, D.R. 1983. A tale of two plutons: geochemical evidence bearing on the origin and differentiation of the Red Lake and Eagle Peak plutons, central Sierra Nevada. California. Journal of Geology. 91, 487–509.

Oliveira, R.G. 2008. Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozóico da Província Borborema e de sua Margem Continental (Nordeste do Brasil). Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Unpublished PhD thesis. 411p.

Papoutsa, A., Pe-Piper, G. 2014. Geochemical variation of amphiboles in A-type granites as an indicator of complex magmatic systems: Wentworth pluton, Nova Scotia, Canada. Chemical Geology. 384, 120–134.

Ridolfi, F., Renzulli, A. 2012. Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1130 ^{o}C and 2.2 GPa. Contributions to Mineralogy and Petrology. 163, 877–895.

Schmidt, M.W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. Contributions to Mineralogy and Petrology. 110, 304–310.

Schmidt, M.W., Poli, S. 2004. Magmatic epidote. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 56, 346–372.

Schmidt M. W., Thompson A. B. 1996. Epidote in calc-alkaline magmas: An experimental study of stability, phase relationships, and the role of epidote in magmatic evolution. American Mineralogist, V 81, 462-474.

Sial, A.N., Toselli, A.J., Saavedra, J., Parada, M.A., Ferreira, V.P. 1999. Emplacement, petrological and magnetic susceptibility characteristics of diverse magmatic epidote-bearing granitoid rocks in Brazil, Argentina and Chile. Lithos. 46,367–392.

Sial, A.N., Vasconcelos, P.M., Valderez, P. F., Pessoa, R.R., Brasilino, R.G., Morais Neto, J.M. 2008. Geochronological and mineralogical constraints on depth of emplacement and ascencion rates of epidote–bearing magmas from northeastern Brazil. Lithos. 105, 225–238.

Souza, Z.S., Kalsbeek, F., Deng, X., Frei, R., Kokfelt, T.F., Dantas, E.L., Li, J., Pimentel, M.M., Galindo, A.C. 2015. Generation of continental crust in the northern part of the Borborema Province, northeastern Brazil, from Archaean to Neoproterozoic. Journal of South American Earth Sciences, http://dx.doi.org/10.1016/ j.jsames.2015.10.006.

Stein, E., Dietl, C. 2001. Hornblende thermobarometry of granitoids from the Central Odenwald (Germany) and their implications for the geotectonic development of the Odenwald. Mineralogy and Petrology. 72, 185–207.

Strong, D.F., Taylor, R.P., 1984. Magmatic-subsolidus and oxidation trends in composition of amphiboles from silica-saturated peralkaline igneous rocks. Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen. 32, 211–222.

Stussi, J.M., Cuney, M. 1996. Nature of biotites from alcaline, calc-alkaline and peraluminous magmas by Abdel-Fattah M. Abdel-Rahman: A comment. Journal of Petrology. 37, 1025-1029.

Trindade R.I. 1999. Magnetismo de Corpos Graníticos e a Evolução Tectônica Brasiliana da Porção Ocidental da Faixa Seridó (NE do Brasil) (Ph.D. thesis). Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, 184 p.

Tulloch, A. J. 1979. Secondary Ca-Al Silicates as Low-Grade Alteration Products of Granitoid Biotite. Contributions to Mineralogy and Petrology. 69, 105–117.

Vilalva, F.C.J., Vlach, S.R.F., Simonetti, A. 2016. Chemical and O-isotope compositions of amphiboles and clinopyroxenes from A-type granites of the Papanduva Pluton, South Brazil: Insights into late- to post-magmatic evolution of peralkaline systems. Chemical Geology. 420, 186–199.

Vyhnal, C.R., McSween Jr,. H.Y., Speer, J.A. 1991. Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids: Implications for aluminium hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability. American Mineralogist.76, 176–188.

Watson, E.B., Harrison, T.M. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. Earth and Planetary Science Letters. 64, 295–304.

Wones, D.R. 1981. Mafic silicates as indicators of intensive variables in granitic magmas. Mining Geology. 31, 181–212.

Wones, D.R., 1989. Significance of the assemblage titanite+magnetite +quartz in granitic rocks. American Mineralogist. 74, 744–749.

Wones, D.R., Eugster, H. P. 1965. Stability of biotite: experiment, theory and application. American Mineralogist. 50, 1228–72.

Zen, E., Hammarstrom, J.M. 1984. Magmatic epidote and its petrologic significance. Geology. 12, 515–518.

CAPÍTULO 7 – Conclusões

Com a integração dos dados petrográficos, litoquímicos e de química mineral é possível chegar às seguintes conclusões:

1) Os plútons estudados possuem composição petrográfica semelhante com destaque para quartzo, plagioclásio (do tipo oligoclásio) e K-feldspato (microclina) como assembleia principal, tendo ainda em diferentes proporções de0 biotita e anfibólio (com predomínio do primeiro), além de titanita, allanita, epídoto, minerais opacos, zircão e apatita. Como minerais secundários foram descritos clorita, muscovita, carbonatos, além de minerais opacos. Uma característica marcante nessas rochas é sua composição petrográfica definida por monzogranito, quartzo monzonitos, quartzo monzodiorito chegando a granodioritos, tendendo a granodioritos, ambos com fenocristais de K-feldspato com tamanhos que medem até 15 cm (textura porfirítica);

2) Litoquimicamente são rochas de natureza transicional entre cálcio-alcalina e alcalina, com afinidade a rochas de série cálcio-alcalina de alto K. Contudo é possível identificar sutis diferenças entre os plútons pesquisados, com destaque para o Plúton Catolé do Rocha que tende a ser mais alcalino enquanto que rochas do Plúton Barcelona tende a ser mais cálcio-alcalino. Essas tendências estão relacionadas à maior quantidade de álcalis (Na_2O+K_2O, principalmente K_2O) e menor quantidade de CaO e MgO contidas no Plúton Catolé do Rocha, enquanto que o Plúton Barcelona tende ao contrário;

3) Embora as diferenças petrográficas e químicas sejam sutis notam-se nos dados de química mineral na assembleia máfica principal estudada (biotita e anfibólio) que existem diferenças entre os plútons situados nos domínios Rio Piranhas-Seridó e São José de Campestre.

4) A relação $Mg/(Mg+Fe_2)$ do mineral anfibólio mostram valores entre 0,40 a 0,57 para os granitos Monte das Gameleiras e Barcelona (Domínio São José de Campestre) e para os granitos Acari, Caraúbas, Tourão e Catolé (Domínio Rio Piranhas-Seridó), valores são entre 0,07 a 0,50. As composições químicas classificam como anfibólios cálcicos com valores de Ca_B superiores a 1,82 pfu e soma de $(Na+K)_A$ superiores a 0,50 pfu, como hastingsita, exceto para o granito Monte das Gameleiras que é classificado como edenite-magnésio hastingsite.

5) As composições das biotitas analisadas mostram menores razões de Fe# [$Fe^{2+}/(Fe^{2+}$ + Mg)] (0,45 - 0,52) para os plutons Monte das Gamaleiras e Acari com transição entre Flogopita e annita. O pluton Barcelona apresenta razões Fe# (0,59-0,64), conteúdos que são comparáveis com os plutons Caraúbas e Tourão Fe# (0,63-0,73), correspondendo à classificação Fe-biotita. A Biotita do plúton Catolé do Rocha é mais rica na molécula annita, com Fe# até 0,92, e Al^{IV} entre 2,42 e 2,5 cpfu, aproximando-se da composições siderofilita.

6) Os parâmetros intensivos de cristalização revelam que os granitoides do Domínio São José de Campestre (Monte das Gameleiras e Barcelona) foram cristalizados a uma pressão de 3.8 kbar a 5.5 kbar, com profundidades que variam de 14 km a 21 km a uma temperatura entre 701 - 718 ºC, a partir de magmas oxidados (ΔFQM +0.8 a +2.0).

7) Para os granitoides do Domínio Rio Piranhas-Seridó (Acari, Caraúbas, Tourão e Catolé do Rocha) os parâmetros intensivos de cristalização mostram que foram cristalizados a uma pressão de 4.8 kbar a 6.2 kbar, com profundidades que variam de 18 km a 23 km a uma temperatura entre 723 - 776 ºC, a partir de magmas oxidados a reduzidos (ΔFQM -1 a 1.8).

8) Os resultados mostram um aumento sistemático de temperatura, pressão e profundidade de cristalização dos batólitos de leste para oeste, o que sugere um provável espessamento crustal nessa direção, corroborando com a individualização de dois blocos (os domínios São José de Campestre e Rio Piranhas-Seridó).

CAPÍTULO 8 – Referências

Abbott, R.N.Jr.1985. Muscovite-bearing granites in the AFM liquidus projection. Canadian Mineralogist. 23, 553–561.

Abbott Jr., R.N., Clarke, D.B., 1979. Hypothetical liquidus relationships in the subsystem Al2O3–FeO–MgO projected from quartz, alkali feldspar and plagioclase for a (H2O) 61. Canadian Mineralogist 17, 549–560.

Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: Na Introduction . Earth Science Reviews., 17: 1-29.

Almeida, F.F.M.; Hasui, Y; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SBG/Núcleo Nordeste, Simp. Geol. NE, 8, Campina Grande, Atas, 363-391.

Almeida F.F., Leonardos JR, O.H., Valença, J. 1967. Review on granitic rocks of northeast South America. IUGS/UNESCO. Symp., Recife, 41pp.

Angelim L.A.A. 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Recife, 119 p.

Antunes A.F., Galindo A.C., Alves da Silva F.C., Jardim de Sá E.F., 2000. Magmatismo Granítico de afinidade Subalcalina/Monzonítica no Maciço São José de Campestre, Província Borborema (NE do Brasil): O exemplo do Plúton de Monte das Gameleiras. Geochimica Brasiliensis 14(1):051-069.

Araujo C. E. G., Weinbeg R. F., Cordani U. 2014. Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. Terra Nova, 26, 157–168, 2014.

Araújo J.M.M., Trindade R.I., Galindo A.C., Souza Z.S., Jardim de Sá E.F. 1993. Características petrográficas preliminares do granito Serra do Algodão (Barra de Santa Rosa - PB): um plutão alcalino na região do Seridó. In: SBG/Núcleo Nordeste, Simp. Geol. NE, 15, Natal, Boletim 13, 101-103.

Archanjo C.J., Viegas L.G.F., Hollanda M.H.B., Souza L.C., Liu D. 2013. Timing of the HT/LP transpression in the Neoproterozoic Seridó Belt (Borborema Province, Brazil): Constraints from U-Pb (SHRIMP) geochronology and implications for the connections between NE Brazil and West Africa. Gondwana Research, 23: 701-714.

Archanjo C.J. 1993. Fabriques de plutons granitiques et deformation crustale du Nort-Est du Brésil. Univ. de Toulouse III, Tese de Doutorado, 167p.

Beurlen H., Rhede D., Silva M.R.R., Thomas R. 2007. Petrography, geochemistry and chemical electron microprobe U-Pb-Th dating of pegmatitic granites: a possible source of the rare element granitic pegmatites of the Borborema Province, NE-Brasil. In: SBGq, Cong. Bras. Geoquímica, 11, Atibaia, em Cd-Rom.

Borges S.V.F. 1996. Geologia da região do médio Curimataú (PB) e o alojamento do granito de Dona Inês associado a zonas de cisalhamento transcorrentes brasilianas. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 139p.

Brito Neves B. B., Santos E. J., Van Schmus W. R. 2000. Tectonic History of the Borborema Province. in: Cordani, U. G.; Milani E. J., Thomaz filho A., Campos D. A . (ed.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro: [s.n.], p.151-182.

Brito Neves B.B. 1983. O mapa geológico do nordeste oriental do Brasil escala 1/100.000. São Paulo, 177p. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Brito Neves B.B., Kawashita K., Pessoa D.R. 1975. A posição estratigráfica do Complexo Caicó. In:SBG/Núcleo Nordeste, Simp. Geol. NE, 7, Fortaleza, Atas, 289-197.

Caby, R.; Sial, A.N.; Arthaud, M.H.; Vauchez, A. 1991. Crustal evolution and the Brasiliano orogeny in Northeast Brazil. In: Dallmeyer, R.D. & Lécorché, J.P.

(eds.). The West African orogens and Circum-Atlantic correlatives. Springer-Verlag, 373-397.

Cavalcante R., Galindo A.C., Silva F.C.A., Souza R.F. 2014. Química mineral de cristalização do Plúton Granítico Barcelona, extremo nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 41(3): 257-272.

Campos T.F.C. 1997. Geoquímica de rochas granitóides e seus minerais do batólito da Serra Negra do Norte-RN e Rio Espinharas-PB, Nordeste do Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Tese de Doutorado, 408p.

Coney P. J. 1989. Structural aspects of suspect terranes and accretionary tectonics in western North America. Journ. Strut. Geol., v.11, p.107-125.

Coney P. J., Jones D. L., Monger J. W. H. 1980. Cordilleran suspect terranes. Nature, v.288, p.329-333.

Dantas E.L., Roig H.L. 2013. Programa Geologia do Brasil. Mapa Geológico da Folha João Câmara SB.25-V-C-IV. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro: CPRM.

Dantas E.L., Galindo A.C., Laux J.H., Maia S.M.C., Souza Z.S., Alves da Silva F.C. 2005. Magmatismo anorogênico ordovinciano na porção centro norte do Domínio Seridó, Província Borborema: o Granito Flores. In: SBG/Núcleo NE, Simp. Geol. Do NE, 21, Recife, Res. Expand., 135-137.

Dantas E. L., Van Schmus, Hackspacher W. R., Fetter P. C., Brito Neves A. H., Cordani B. B., Nutman U. G., Williams A. P., I. S. 2004. The 3.4-3.5 Ga São José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. Precambrian Research, 130: 113-137.

Dantas E.L., 1997. Geocronologia U e Pb e Sm e Nd de Terrenos Arqueanos e paleoproterozoicos do Maciço Caldas Brandão, NE do Brasil (Ph.D. thesis). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, p. 206.

De La Roche, H.; Leterrier, J.; Granclaude, P.; Marchal, M. 1980. A classification

of volcanic and plutonic rocks using R1- R2 diagram and major element analyses. Its relationship with current nomenclature. Chem. Geol., 29 : 183-210.

Delgado I. M., Souza J. D., Silva L. C., Silveira Filho N. C., Santos R. A., Pedreira A. J., Guimarães J. T., Angelim L. A. A., Vasconcelos A. M., Gomes I. P.,

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 2013. An Introduction to the Rock-forming Minerals.3rd ed. The Mineralogical Society, London.

Dymek, R F. 1983. Titanium, aluminum and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses, West Greenland. American Mineralogist, 68, 880-899 Eugster, H.P., and Wones, D.R.

Frost R.B., Barners C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology, 42 (11): 2033-2048.

Galindo A.C., Souza Z.S., Dantas E.L. 2005. Geocronologia U-Pb de granitóides tipo Itaporanga (Monte das Gameleiras e Serrinha), Maciço São José de Campestre, NE do Brasil. In: SBG/Núcleo NE, Simp. Geol. do NE, 21, Recife, Res. Expand., 150-152.

Galindo A.C. 1993. Petrologia dos granitóides brasilianos da região de Caraúbas-Umarizal, oeste do Rio Grande do Norte. Tese de Doutorado, Centro de Geociências da UFPA, área de Petrologia, 319p.

Galindo A.C. 1982. Estudo petrologico do corpo granítico de Monte das Gameleiras (RN-PB). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, 99p.

Gualda, G. A.R., Vlach S. R.F. 2005. Stoichiometry-based estimates of ferric iron in calcic, sodic-calcic and sodic amphiboles: A comparison of various methods. Annals of the Brazilian Academy of Sciences. 77(3): 521-534.

Guimarães I. P., Araújo D.B., Silva Filho A.F., Silva F.M.V., Armstrong R. 2009. Idades U-Pb em zircão por shrimp do magmatismo máfico e félsico do Complexo Serrinha - Pedro Velho, Província Borborema, NE Brasil In:

SBG/Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 23, Fortaleza, Boletim 21, 105-105.

Hawthorne, F.C., Oberti R., Harlow, G. E., Maresch, W.V., Martin, R.F., Shumacher, J.C., Welch, M.D. 2012. IMA Report Nomenclature of the amphibole supergroup. American Mineralogist. 9, 2031–2048.

Hackspacher P.C., Van Schums W.R, Dantas E.L. 1990. Um embasamento transamazônico na província Borborema. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia. Natal, SBG-NE. v.6, p.2683-2696.

Hollanda, M.H.B.M., Archanjo, J.C., Souza, L.C., Dunyi, L., Armstrong, R. 2011. Long-lived Paleoproterozoic granitic magmatism in the Seridó-Jaguaribe domain, Borborema Province–NE Brazil. Journal of South American Earth Sciences, vol. 32, 4, dec. 2011, p. 287-300

Hollanda M.H.B.M. 1998. Mecanismos de alojamentos de magmas granitóides: exemplo do Plúton de Japi (RN). Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 126p.

Holland T., Blundy J. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. Contributions to Mineralogy and Petrology. 116, 433–447.

Howell D. G. 1995. Principles of terrane analysis. New application for global tectonics. 2.ed. [S.l]: Chapman & Hall. 245p.

Jardim de Sá E.F. 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasiliana/Pan-Africana. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 803p.

Jardim de SÁ E. F, Macedo M. H. F., Torres H. H. F, Kawashita K.1988. Geocronology of metaplutonics na the evolution of supracrustal belts in the Borborema Procince, NE Brazil. In: VII Congresso Latino-Americano de Geologia. Belém SBG/DNPM. 617p. il. p.49-62.

Jardim de Sá E.F., Macedo M.H.F., Legrand J.M., McReath I., Galindo A.C., Sá J.M. 1987. Proterozoic granitoids in a polycyclic setting: the Seridó region, NE Brazil. In: SBG/BASE, Symp. Granites Assoc. Min., 1, Salvador, Ext. Abstr., 1: 102-110

Jardim de Sá E.F., Legrand J.M., Galindo A.C., Sa J.M., Hackspacher P.C., 1986. Granitogênese brasiliana no Serido: o maciço de Acari (RN). Rev. Bras. Geoci. 16, 95 e 105.

Lameyre J.1987. Granites and evolution of the crust. Revista Brasileira de Geociências, 17(4):349-359.

Leake B.E., Wooley A.R., Arps C.E.S, Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H, Schumacher J., Smith J.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. 1997. Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. Mineralogical Magazine, 61: 295-321.

Leterrier J., Jardim de Sá E.F., Bertrand J.M., Pin, C., 1994. Ages U e Pb sur zircon de granitoides “brasilianos” de la ceinture do Seridó (Province Borborema, NE Bresil). C. R. Acad. Sci. 318, 1505e1511.

Maniar P.D., Piccoli P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitóides. Geol. Soc. Amer. Bull., 101:635-643.

McMurry J.; Long L.E.; Sial A.N. 1987a. Evolution of a heterogeneus, continentally derived granite: Dona Inês pluton northeastern Brazil. J. Geol., 95: 107-117.

McReath I., Galindo A.C., Dall´Agnol R. 2002. The Umarizal igneous association, Borborema Province, NE Brazil: implications for the genesis of A-type granites. Gondwana Research, 5: 339-353.

Medeiros V. C. de., Nascimento M. A. L., Galindo A. C., Dantas E. Luiz. 2012. Augen gnaisses riacianos no Domínio Rio Piranhas-Seridó - Província Borborema, Nordeste do Brasil. Geologia USP. V.12, 2:3-14.

Medeiros, V. C. de. Contexto geológico regional. 2011. In: RODRIGUES, S. W. O et al. Geologia e Recursos Minerais da Folha Campina Grande - SB.25-Y-C-I. Estados da Paraíba e Pernambuco. Escala 1:100.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Programa Geologia do Brasil - PGB.

Medeiros V.C., Galindo A.C., Nascimento M.A.L., Freire A.G. 2008. Geologia, petrografia e idade do Batólito de Catolé do Rocha (RN-PB), porção W do Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. Revista de Geologia, Vol. 20, nº 2,219-230.

Medeiros V.C., Galindo A.C., Nascimento M.A.L. 2007. Litogeoquímica do Batólito de Catolé do Rocha (RN-PB), porção W do Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. In: SBG/Núcleo Nordeste, Simp. Geol. NE, 22, Natal, Boletim 20, 179-179.

Medeiros, V.C.; Amaral, C.A.; Rocha, D.E.G.A.; Santos, R.B. 2005. Programa Geologia do Brasil – PGB. Sousa. Folha SB.24-Z-A. Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Mapa Geológico. Recife: CPRM, 1 mapa, color., 66cm x 108cm. Escala 1:250.000.

Medeiros V. C. 2004. Evolução geodinâmica e condicionamento estrutural dos terrenos Piancó-Alto Brígida e Alto Pajeú, Domínio da Zona Transversal, NE do Brasil. Natal, 2004. 200p. Tese (Doutourado) – Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Miyashiro A. 1978. Nature of alkalic volcanic rocks series. Contrib. Mineral. Petrol., 66:91-104.

Nascimento M.A.L., Galindo A.C., Medeiros V.C. 2015. Ediacaran to Cambrian magmatic suítes in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil) Current Knowledge. Journal of South American Earth Sciences. 1-19

Nascimento M.A.L., Medeiros V.C., Galindo A.C. 2008. Magmatismo Ediacarano a Cambriano no Domínio Rio Grande do Norte, Província Borborema, NE do Brasil. Estudos Geológicos, 18(1): 4-25.

Nascimento M.A.L., Souza Z.S., Hollanda M.H.B.M., Pimentel M.M., Macedo M.H.F., Nascimento R.S.C., Galindo A.C. 2001. Geocronologia e assinatura isotópica Rb-Sr e Sm-Nd do magmatismo alcalino neoproterozóico no Maciço São José de Campestre, Nordeste da Província Borborema (NE do Brasil). Estudos Geológicos, 11: 67- 79.

Nascimento M.A.L., Antunes A.F., Galindo A.C., Jardim de Sá, E.F. e Souza, Z.S. 2000. Geochemical signatures of the Brasiliano-age plutonism in the Seridó belt, Northeastern Borborema Province (NE Brazil). Revista Brasileira de Geociências, 30: 161-164.

Neves S. P., Bruguier O., Vauchez A., Bosh D., Silvia J.M.R., Mariano G. 2006. Timing of crust formation, deposition of supracrustal sequences, and Transamazonian and Brasiliano metamorphism in the East Pernambuco belt (Borborema Province, Ne Brazil): implications for western Gondwana assembly. Precambrian Research, 149:197-216.

Neves S. P. 2003. Proterozoic history of the Borborema province (NE Brazil): Correlations with neighboring cratons and Pan-African belts and implications for the evolution of western Gondwana. Tectonics, VOL. 22, NO. 4, 1031, doi:10.1029/2001TC001352.

Ridolfi F., Renzulli A. 2012. Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1,130ºC and 2.2 GPa. Contrib Mineral Petrol163:877–895.

Rogers J.J.W., Greenberg J.K. 1981. Trace elements in continental margin magmatism. Part III. Alkali granites and their relationship to cratonization. Bull. Geol. Soc. Amer., 92:6-9.

Roig H.L., Dantas E.L. 2013. Programa Geologia do Brasil. Mapa Geológico da Folha São José do Campestre SB.25-Y-A-I. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro: CPRM.

Shand S.J. 1943. Eruptive Rocks. Their Gnesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite, New York: John Wiley & Sons, 488p.

Santos E.J., Brito Neves B.B. 1984. Província Borborema. In: Almeida, F.F.M e Hasui, Y. (eds). O Pré-Cambriano do Brasil. Edgard Blucher, São Paulo, 123-186.

Schmidt, M.W., 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer.Contributions to Mineralogy and Petrology 110, 304–310.

Schobbenhaus C. et al. 1984. Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil incluindo depósitos minerais escala 1: 2.500.000. Brasília: DNPM, Brasília, 501p. il.

Souza Z.S., Kalsbeek F., Xiaodong D., Frei R., Kokfelt T.F., Dantas E.L., Li J., Pimentel M.M., Galindo A.C. 2015. Generation of continental crust in the northern part of the Borborema Province, northeastern Brazil, from Archean to Neoproterozoic. Journal of South American Earth Sciences. 1-29.

Souza Z.S., Kalsbeek F. 2011. Datação de zircões por laser ablation e isótopos de Nd de unidades arqueanas a neoproterozoicas da Província Borborema, NE do Brasil. In: SBG/Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 24, Aracaju, 250-250.

Souza Z.S., Xiaodong D., Li J., Dantas E.L., Galindo A.C. 2010. Multiple late-neoproterozoic intrusions in the Seridó Domain, NE Brazil. In: SBG/Núcleo Nordeste, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45, Belém, Cd-Rom.

Souza Z.S., Montel J.M., Gioia S.M.L.C., Hollanda M.H.B.M., Nascimento M.A.L., Jardim de Sá E.F., Amaro V.E., Pimentel M., Lardeaux J.M., Veschambre M. 2006. Electron microprobe dating of monazite from high-T

shear zones in the São José de Campestre Massif, NE Brazil. Gondwana Res. 9, 441-455.

Trindade R.I. 1999. Magnetismo de corpos graníticos e a evolução tectônica brasiliana da porção ocidental da Faixa Seridó (NE do Brasil). Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, Tese de Doutorado, 184p.

Wones, D.R., 1989. Significance of the assemblage titanite+magnetite +quartz in granitic rocks. American Mineralogist 74, 744– 749.

Wright J.B. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to question of non-orogenic granite genesis. Geol. Magaz., 106:370-384.

Anexo I

Tabelas de Litoquímica

Anexo I: Tabela de Litoquímica do Plúton Monte das Gameleiras

	Plúton Monte das Gameleiras											
Análises	**GA-10B**	**GA-12B**	**CG-42**	**GA-15A**	**CG-47B**	**GA-05**	**GA-16**	**CG-27A**	**GA-10D**	**GA-01**	**MG-30**	**MG-17**
SiO_2	63.40	64.77	65.35	65.78	65.90	66.06	66.51	68.00	68.49	68.75	68.90	69.91
Al_2O_3	17.25	15.21	15.95	14.98	15.95	16.30	15.73	16.20	14.98	15.22	15.18	14.85
Fe_2O_3	4.22	4.73	3.40	3.49	3.55	3.33	3.10	2.72	3.26	2.61	2.13	2.35
MnO	0.06	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
MgO	1.97	2.17	0.38	2.00	0.44	0.70	1.70	0.31	0.94	0.47	0.70	0.81
CaO	2.94	4.06	3.99	2.80	3.99	3.33	2.52	2.72	2.94	2.54	1.85	2.03
Na_2O	4.21	3.40	4.01	3.77	3.71	3.81	3.81	3.54	3.50	3.63	4.04	3.97
K_2O	4.85	4.37	4.94	5.72	5.42	4.77	5.33	5.48	5.21	5.27	5.42	4.75
TiO_2	0.42	0.50	0.67	0.30	0.63	0.60	0.35	0.55	0.20	0.43	0.38	0.40
P_2O_5	0.07	0.01	0.33	0.04	0.23	0.25	0.00	0.08	0.01	0.18	0.17	0.14
Loi+	-	-				-	-		-	-	0.53	0.94
Total	99.39	99.27	99.08	98.92	99.86	99.19	99.09	99.64	99.57	99.14	99.33	100.18
Na_2O+K_2O	9.06	7.77	8.95	9.49	9.13	8.58	9.14	9.02	8.71	8.90	9.46	8.72
K_2O/Na_2O	1.15	1.29	1.23	1.52	1.46	1.25	1.40	1.55	1.49	1.45	1.34	1.20
Al/CNK	0.98	0.86	0.83	0.86	0.83	0.93	0.95	0.97	0.89	0.93	0.95	0.97
A/NK	1.42	1.47	1.33	1.21	1.33	1.42	1.31	1.38	1.31	1.30	1.21	1.27

Anexo I: Tabela de Litoquímica do Plúton Monte das Gameleiras (Continuação).

	Plúton Monte das Gameleiras											
Análises	**MG-28**	**MG-15**	**MG-06**	**MG-01**	**MG-19**	**MG-31**	**MG-02**	**MG-20**	**MG-27**	**MG-10A**	**MG-07A**	**MG-05**
SiO_2	65.70	67.10	67.88	68.05	68.42	68.43	68.51	70.42	70.55	70.89	71.07	70.04
Al_2O_3	16.46	15.63	15.70	15.23	14.79	15.48	15.15	15.37	14.65	14.30	14.41	14.89
Fe_2O_3	2.84	2.76	2.18	3.18	2.49	2.12	2.79	1.07	2.20	2.30	2.71	2.54
MnO	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04
MgO	1.08	1.02	0.65	1.12	0.86	0.72	0.88	0.13	0.62	0.57	0.76	0.74
CaO	2.39	2.21	1.67	2.39	2.00	1.87	2.14	0.75	1.77	1.47	2.00	1.92
Na_2O	4.31	4.18	4.00	4.19	3.92	4.03	3.95	5.55	4.08	4.16	4.47	4.18
K_2O	5.24	5.24	5.54	4.84	4.68	5.42	5.36	5.28	5.08	4.59	3.76	4.74
TiO_2	0.51	0.48	0.35	0.53	0.41	0.37	0.47	0.06	0.34	0.31	0.40	0.43
P_2O_5	0.23	0.22	0.14	0.23	0.18	0.16	0.18	0.04	0.13	0.14	0.19	0.17
Loi+	0.57	0.84	1.01	0.75	1.39	0.52	0.06	1.92	0.85	1.08	0.73	1.08
Total	99.37	99.72	99.15	100.55	99.17	99.15	99.52	100.62	100.30	99.85	100.53	100.77
Na_2O+K_2O	9.55	9.42	9.54	9.03	8.60	9.45	9.31	10.83	9.16	8.75	8.23	8.92
K_2O/Na_2O	1.22	1.25	1.39	1.16	1.19	1.34	1.36	0.95	1.25	1.10	0.84	1.13
Al/CNK	0.96	0.94	1.00	0.92	0.97	0.97	0.93	0.95	0.95	0.99	0.96	0.96
A/NK	1.29	1.24	1.25	1.25	1.28	1.24	1.23	1.03	1.20	1.21	1.26	1.24

Anexo I: Tabela de Litoquímica do Plúton Barcelona.

	Plúton Barcelona									
Análises	**RC-7**	**RC-5**	**RC-65**	**RC-10**	**RC-4**	**RC-13**	**RC-16**	**RC-1**	**RC-49**	**RC-89**
SiO_2	66.70	69.00	69.00	69.60	70.00	70.10	70.10	72.60	72.80	73.10
Al_2O_3	16.00	15.80	15.80	14.80	15.50	14.60	15.00	14.40	14.70	13.80
Fe_2O_3	3.60	3.10	3.30	3.30	3.10	2.80	3.00	2.10	1.40	1.90
MnO	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02
MgO	1.40	0.92	0.84	0.88	0.91	0.75	0.83	0.57	0.27	0.39
CaO	3.30	2.60	2.60	2.50	2.80	2.00	2.50	1.40	0.86	1.60
Na_2O	4.20	3.70	3.80	3.60	3.80	3.30	3.80	3.40	3.60	3.30
K_2O	3.90	4.50	4.30	3.90	3.60	4.90	4.10	5.30	5.30	4.80
TiO_2	0.62	0.46	0.49	0.47	0.43	0.35	0.41	0.19	0.16	0.23
P_2O_5	0.21	0.14	0.18	0.14	0.16	0.12	0.12	0.07	0.06	0.06
Loi+	0.75	0.58	0.55	0.65	0.56	0.58	0.84	0.80	0.70	0.35
Total	100.73	100.84	100.90	99.88	100.91	99.53	100.74	100.87	99.87	99.55
Na_2O+K_2O	8.10	8.20	8.10	7.50	7.40	8.20	7.90	8.70	8.90	8.10
K_2O/Na_2O	0.93	1.22	1.13	1.08	0.95	1.48	1.08	1.56	1.47	1.45
A/CNK	0.93	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	0.98	1.04	1.11	1.02
A/NK	1.44	1.44	1.45	1.46	1.53	1.36	1.40	1.27	1.26	1.30
Rb	75.00	138.00	118.00	-	93.00	122.00	72.00	270.00	78.00	122.00
Ba	874.00	712.00	926.00	-	668.00	688.00	699.00	524.00	590.00	-
Sr	367.00	280.00	330.00	-	334.00	220.00	290.00	168.00	214.00	-
Ga	26.00	27.00	29.00	-	28.00	23.00	26.00	25.00	31.00	23.00
Nb	26.00	25.00	20.00	-	20.00	17.00	15.00	22.00	17.00	12.00
Zr	22.00	81.00	91.00	-	66.00	62.00	65.00	155.00	56.00	-
Y	14.00	9.70	9.10	-	9.10	8.20	9.10	15.00	7.10	-

Anexo I: Tabela de Litoquímica do Plúton Acari.

	Plúton Acari															
Análises	**MS-253B**	**ED-128**	**AC-11C**	**AC-06**	**AC-9D**	**MS-124B**	**AC-101**	**AC-124A**	**AC-7C**	**AC-7B**	**ED-131**	**ED-135**	**AC-123A**	**MS-122A**	**MS-122D**	**ED-136**
SiO_2	64.68	66.62	66.89	68.80	69.19	70.21	70.24	70.59	70.82	71.12	71.32	71.44	71.84	71.87	72.34	74.82
Al_2O_3	16.14	15.35	15.51	14.46	14.60	14.28	14.42	14.43	13.82	14.08	13.93	14.10	14.17	13.51	13.42	12.64
Fe_2O_3	3.50	3.75	3.32	2.72	2.45	2.37	3.08	2.45	2.24	2.32	2.45	2.61	2.12	2.00	2.15	1.91
MnO	0.04	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.01
MgO	1.20	0.93	0.96	0.76	0.63	0.51	0.83	0.53	0.53	0.53	0.46	0.43	0.40	0.36	0.43	0.24
CaO	2.87	2.47	2.32	2.08	2.02	1.79	2.04	1.86	1.66	1.64	1.75	1.47	1.67	1.50	1.45	0.97
Na_2O	3.89	3.64	3.79	3.70	3.72	3.25	3.44	3.22	3.33	3.50	3.42	3.17	3.29	3.34	3.18	3.40
K_2O	5.12	5.08	4.99	4.65	4.66	5.20	4.87	5.25	5.16	5.25	4.98	5.87	5.16	4.85	5.19	4.55
TiO_2	0.54	0.51	0.45	0.39	0.32	0.25	0.48	0.28	0.30	0.29	0.29	0.35	0.22	0.22	0.24	0.20
P_2O_5	0.29	0.34	0.24	0.20	0.19	0.15	0.25	0.16	0.17	0.17	0.25	0.26	0.15	0.12	0.13	0.20
Loi+	0.58	0.84	0.92	0.88	0.72	0.55	0.68	0.47	0.77	0.74	0.79	0.74	0.47	0.55	0.49	0.83
Total	98.85	99.56	99.44	98.67	98.53	98.59	100.37	99.26	98.82	99.67	99.66	100.47	99.52	98.36	99.06	99.77
Na_2O+K_2O	9.01	8.72	8.78	8.35	8.38	8.45	8.31	8.47	8.49	8.75	8.40	9.04	8.45	8.19	8.37	7.95
K_2O/Na_2O	1.32	1.40	1.32	1.26	1.25	1.60	1.42	1.63	1.55	1.50	1.46	1.85	1.57	1.45	1.63	1.34
Al/CNK	0.94	0.96	0.98	0.97	0.98	1.00	0.98	1.00	0.98	0.97	0.98	0.99	1.01	1.00	0.99	1.03
A/NK	1.35	1.33	1.33	1.30	1.31	1.30	1.32	1.31	1.25	1.23	1.26	1.22	1.29	1.26	1.24	1.20
Rb	133.00	140.00	222.00	185.00	147.00	218.00	160.00	213.00	148.00	164.00	153.00	237.00	249.00	234.00	245.00	167.00
Ba	1,682.00	1,674.00	1,154.00	1,009.00	1,098.00	1,178.00	1,161.00	1,244.00	901.00	859.00	827.00	1,260.00	970.00	648.00	693.00	338.00
Sr	516.00	416.00	277.00	298.00	349.00	228.00	308.00	236.00	247.00	239.00	261.00	324.00	189.00	155.00	156.00	114.00
Ga	18.00	4.00	18.00	5.00	15.00	17.00	14.00	17.00	5.00	4.00	4.00	12.00	17.00	17.00	16.00	13.00
Nb	18.00	4.00	37.00	8.00	10.00	16.00	16.00	16.00	10.00	5.00	5.00	4.00	15.00	22.00	23.00	19.00
Zr	286.00	280.00	276.00	211.00	165.00	214.00	280.00	231.00	163.00	161.00	186.00	250.00	185.00	157.00	180.00	143.00
Y	10.00	14.00	22.00	8.00	5.00	14.00	19.00	-	7.00	7.00	8.00	14.00	21.00	17.00	15.00	8.00

Anexo I: Tabela de Litoquímica do Plúton Caraúbas.

	Plúton Caraúbas					
Análises	**C-135**	**C-284**	**C-134**	**C-82**	**C-79**	**C-189**
SiO_2	66.59	67.15	68.30	69.40	69.57	73.04
Al_2O_3	14.56	14.60	14.11	13.91	13.88	14.20
Fe_2O_3	4.48	4.66	4.17	3.29	3.94	2.35
MnO	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05
MgO	0.86	0.88	0.80	0.51	0.68	0.40
CaO	2.27	2.41	2.45	1.67	2.00	1.34
Na_2O	3.16	3.25	3.20	3.25	3.22	3.42
K_2O	5.40	5.32	5.01	5.12	4.80	5.21
TiO_2	0.60	0.69	0.60	0.43	0.54	0.32
P_2O_5	0.29	0.28	0.40	0.22	0.26	0.11
Loi+	0.39	0.28	0.53	0.64	0.37	-
Total	98.66	99.58	99.62	98.48	99.31	100.44
Na_2O+K_2O	8.56	8.57	8.21	8.37	8.02	8.63
K_2O/Na_2O	1.71	1.64	1.57	1.58	1.49	1.52
A/CNK	0.96	0.94	0.93	1.00	0.98	1.03
A/NK	1.32	1.31	1.32	1.28	1.32	1.26
Rb	269.00	272.00	247.00	270.00	249.00	360.00
Ba	1,156.00	1,099.00	1,097.00	830.00	911.00	-
Sr	332.00	325.00	320.00	249.00	256.00	198.00
Ga	22.00	23.00	-	19.00	21.00	-
Nb	23.00	24.00	26.00	23.00	22.00	34.00
Zr	383.00	339.00	344.00	285.00	326.00	287.00
Y	33.00	37.00	44.00	36.00	34.00	29.00

Anexo I: Tabela de Litoquímica do Plúton Tourão.

	Plúton Tourão														
Análises	**T-178**	**T-124B**	**T-84**	**T-10A**	**T-183A**	**T-145**	**T-85**	**T-126**	**T-09**	**T-50**	**T-78**	**T-137**	**T-222**	**T-83**	**T-76**
SiO_2	64.13	64.19	68.15	68.84	69.93	70.82	71.37	71.98	72.03	72.14	72.27	72.76	72.92	74.62	74.96
Al_2O_3	14.79	15.13	14.80	14.33	14.17	14.61	14.49	13.88	13.63	13.61	13.91	13.84	13.11	13.84	14.32
Fe_2O_3	7.37	5.05	4.84	2.70	2.61	2.91	2.84	2.05	1.87	2.43	2.15	2.05	2.47	1.90	1.50
MnO	0.12	0.06	0.06	0.02	0.02	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03
MgO	1.13	0.93	0.96	0.40	0.38	0.51	0.56	0.31	0.24	0.34	0.15	0.31	0.34	0.33	0.24
CaO	3.24	2.66	2.39	1.77	1.54	1.55	1.50	1.22	1.27	1.41	1.18	1.31	1.41	1.27	1.14
Na_2O	3.86	3.27	3.28	2.97	2.92	3.66	3.24	3.45	3.24	3.16	3.27	3.55	2.91	3.30	3.60
K_2O	4.44	5.80	5.02	6.26	6.25	5.60	5.52	5.48	5.41	5.33	5.41	5.30	5.24	5.14	5.43
TiO_2	0.98	0.81	0.80	0.38	0.34	0.38	0.39	0.24	0.17	0.27	0.24	0.25	0.35	0.25	0.20
P_2O_5	0.31	0.32	0.24	0.17	0.17	0.11	0.12	0.08	0.12	0.28	0.13	0.07	0.19	0.06	0.06
Loi+	-	0.50	-	0.65	0.34	-	-	-	0.51	0.69	0.95	-	0.27	-	-
Total	100.37	98.72	100.54	98.49	98.67	100.20	100.07	98.72	98.52	99.68	99.68	99.48	99.23	100.74	101.48
Na_2O+K_2O	8.30	9.07	8.30	9.23	9.17	9.26	8.76	8.93	8.65	8.49	8.68	8.85	8.15	8.44	9.03
K_2O/Na_2O	1.15	1.77	1.53	2.11	2.14	1.53	1.70	1.59	1.67	1.69	1.65	1.49	1.80	1.56	1.51
Al/CNK	0.87	0.92	0.97	0.96	0.98	0.98	1.03	1.00	1.01	1.00	1.04	0.99	1.01	1.04	1.03
A/NK	1.32	1.30	1.36	1.23	1.22	1.21	1.28	1.19	1.22	1.24	1.24	1.19	1.25	1.26	1.21
Rb (ppm)	163.00	193.00	274.00	236.00	207.00	376.00	316.00	363.00	319.00	327.00	325.00	332.00	215.00	287.00	358.00
Ba	-	1,546.00	-	1,215.00	1,167.00	-	-	-	568.00	866.00	892.00	-	861.00	-	-
Sr	368.00	380.00	360.00	286.00	276.00	338.00	334.00	238.00	165.00	226.00	208.00	205.00	238.00	242.00	198.00
Ga	-	19.00	-	19.00	20.00	-	-	-	17.00	-	23.00	-	19.00	-	-
Nb	31.00	27.00	31.00	11.00	11.00	33.00	31.00	22.00	17.00	22.00	21.00	26.00	14.00	24.00	22.00
Zr	438.00	415.00	350.00	266.00	225.00	349.00	348.00	271.00	175.00	226.00	228.00	267.00	267.00	221.00	225.00
Y	48.00	37.00	26.00	20.00	18.00	30.00	27.00	20.00	18.00	27.00	22.00	23.00	17.00	29.00	23.00

Anexo I: Tabela de Litoquímica do Plúton Catolé do Rocha.

	Plúton Catolé do Rocha											
Análises	**VC-634**	**VC-635**	**VC-631**	**VC-177A**	**VC-626**	**VC-180**	**VC-168**	**VC-630B**	**VC-633**	**VC-643**	**VC-642**	**VC-641**
SiO_2	62.41	66.12	66.83	66.97	67.73	67.90	69.79	69.79	70.55	73.89	73.97	75.12
Al_2O_3	16.65	14.98	15.41	15.53	15.31	14.73	14.57	14.27	14.39	13.61	13.26	12.44
Fe_2O_3	5.89	5.02	4.00	4.34	3.51	4.56	3.25	3.86	3.47	2.03	1.93	2.36
MnO	0.09	0.06	0.04	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03
MgO	0.61	0.92	0.85	0.19	0.10	0.52	0.44	0.50	0.09	0.19	0.20	0.23
CaO	2.78	2.31	2.27	1.81	1.60	1.70	1.06	1.37	1.41	0.83	0.93	0.77
Na_2O	3.74	3.37	3.65	3.79	3.79	3.43	3.59	3.21	3.19	3.23	3.33	3.09
K_2O	6.46	5.82	6.16	6.59	6.76	5.94	6.20	5.94	6.31	6.02	5.51	5.21
TiO_2	0.67	0.75	0.57	0.39	0.29	0.54	0.40	0.47	0.25	0.17	0.17	0.23
P_2O_5	0.21	0.29	0.15	0.09	0.06	0.15	0.12	0.13	0.03	0.05	0.03	0.06
Loi+	0.10	0.10	0.10	0.10	0.60	0.30	0.40	0.20	0.10	0.10	0.60	0.40
Total	99.61	99.74	100.03	99.87	99.81	99.82	99.87	99.79	99.84	100.15	99.96	99.94
Na_2O+K_2O	10.20	9.19	9.81	10.38	10.55	9.37	9.79	9.15	9.50	9.25	8.84	8.30
K_2O/Na_2O	1.73	1.73	1.69	1.74	1.78	1.73	1.73	1.85	1.98	1.86	1.65	1.69
A/CNK	0.91	0.93	0.92	0.93	0.93	0.97	1.00	1.00	0.98	1.02	1.01	1.02
A/NK	1.26	1.26	1.21	1.16	1.13	1.22	1.15	1.22	1.19	1.15	1.16	1.16
Ba	1,822.80	1,247.60	1,547.10	1,610.40	950.70	794.60	880.90	1,004.30	576.30	392.90	356.60	447.80
Sr	349.20	303.50	392.30	234.80	156.60	167.40	188.60	233.00	109.00	106.80	99.30	94.50
Ga	23.80	21.60	18.60	22.10	21.00	21.20	20.60	18.30	22.90	17.20	19.20	17.10
Ta	1.90	1.90	0.50	1.30	0.90	1.40	2.10	0.70	1.20	0.80	1.50	1.20
Nb	44.60	33.20	14.80	36.40	28.60	29.30	31.40	23.00	32.40	19.10	22.80	19.40
Zr	913.80	551.60	384.80	676.70	561.90	481.10	315.40	469.60	437.40	166.70	160.40	204.70
Y	56.80	44.70	27.30	39.10	45.10	39.80	58.10	33.40	33.10	22.70	33.10	18.40

Anexo II

Tabelas de Química Mineral

Anexo II: Tabela de Química Mineral para Anfibólio dos Plútons Monte das Gameleiras, Barcelona, Acari e Caraúbas.

	Monte das Gameleiras MG01				Monte das Gameleiras MG20				Barcelona RC10			Acari ED128				Caraúbas C135				
Análises	**39**	**40**	**41**	**42**	**35**	**36**	**37**	**38**	**P-164 b**	**P-165 c**	**P-166 b**	**43**	**44**	**45**	**48**	**13**	**14**	**16**	**17**	**18**
SiO_2	42.47	42.54	42.61	43.30	43.16	42.58	42.21	42.20	41.56	41.33	41.66	41.12	41.44	41.28	41.24	39.25	38.72	39.05	38.98	39.00
TiO_2	0.73	0.59	0.90	0.68	0.57	1.00	0.94	0.50	0.89	0.83	0.83	0.51	0.85	0.78	0.74	0.89	0.97	0.89	0.77	0.64
Al_2O_3	9.40	9.16	8.93	8.26	8.53	8.91	8.83	9.18	10.15	10.18	10.32	10.19	9.99	10.27	10.33	11.17	11.53	11.34	11.14	11.85
FeO	20.16	20.53	19.64	19.95	20.59	20.43	20.76	21.10	24.06	24.09	23.85	22.16	21.85	22.28	21.98	26.55	26.20	26.15	27.45	27.28
MnO	0.56	0.41	0.49	0.51	0.54	0.52	0.49	0.65	0.41	0.34	0.38	0.56	0.55	0.59	0.58	0.57	0.54	0.54	0.55	0.55
MgO	9.11	9.40	9.61	9.87	9.50	9.15	9.13	9.00	6.70	6.54	6.69	8.12	8.18	8.10	7.95	4.70	4.85	4.92	4.89	4.33
CaO	11.34	11.59	11.50	11.57	11.49	11.26	11.55	11.41	11.04	11.11	11.07	11.63	11.57	11.36	11.27	10.90	10.89	11.01	11.03	11.09
Na_2O	1.52	1.52	1.60	1.23	1.38	1.47	1.36	1.42	1.39	1.35	1.38	1.45	1.54	1.42	1.56	1.68	1.63	1.85	1.66	1.62
K_2O	1.30	1.33	1.24	0.93	0.75	1.17	0.96	1.02	1.48	1.36	1.36	1.07	1.13	1.19	1.21	1.71	1.73	2.33	1.77	1.99
H_2O+	1.94	1.95	1.94	1.95	1.95	1.94	1.93	1.94	1.92	1.91	1.92	1.93	1.94	1.94	1.93	1.88	1.88	1.89	1.90	1.90
Total	98.53	99.02	98.46	98.25	98.46	98.43	98.16	98.42	99.60	99.04	99.45	98.74	99.04	99.21	98.79	99.30	98.94	99.97	100.14	100.25
Si	6.51	6.50	6.53	6.62	6.59	6.53	6.50	6.48	6.38	6.39	6.40	6.35	6.38	6.33	6.35	6.18	6.11	6.15	6.10	6.12
Al^{IV}	1.49	1.50	1.47	1.38	1.41	1.47	1.50	1.52	1.62	1.61	1.60	1.65	1.62	1.67	1.65	1.82	1.89	1.85	1.90	1.88
Soma T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ti	0.08	0.07	0.10	0.08	0.07	0.12	0.11	0.06	0.10	0.10	0.10	0.06	0.10	0.09	0.09	0.11	0.12	0.11	0.09	0.08
Al^{VI}	0.21	0.16	0.15	0.11	0.13	0.14	0.11	0.14	0.22	0.24	0.26	0.20	0.19	0.18	0.23	0.26	0.26	0.25	0.16	0.31
Fe^{III}	0.68	0.70	0.61	0.78	0.84	0.74	0.76	0.88	0.85	0.83	0.83	0.83	0.73	0.92	0.83	0.82	0.87	0.65	0.99	0.81
Fe^{2+}	1.87	1.88	1.87	1.72	1.74	1.85	1.86	1.77	2.24	2.28	2.23	1.96	2.03	1.88	1.96	2.64	2.54	2.77	2.54	2.72
Mg	2.08	2.14	2.20	2.25	2.16	2.09	2.10	2.06	1.53	1.51	1.53	1.87	1.88	1.85	1.83	1.10	1.14	1.15	1.14	1.01
Mn	0.07	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06	0.08	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
Soma C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Ca	1.86	1.90	1.89	1.90	1.88	1.85	1.91	1.88	1.82	1.84	1.82	1.92	1.91	1.87	1.86	1.84	1.84	1.86	1.85	1.86
Na	0.14	0.10	0.11	0.10	0.12	0.15	0.09	0.12	0.18	0.16	0.18	0.08	0.09	0.13	0.14	0.16	0.16	0.14	0.15	0.14
Soma B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Na	0.31	0.35	0.37	0.26	0.29	0.29	0.31	0.30	0.23	0.24	0.23	0.36	0.37	0.29	0.33	0.35	0.34	0.42	0.35	0.36
K	0.25	0.26	0.24	0.18	0.15	0.23	0.19	0.20	0.29	0.27	0.27	0.21	0.22	0.23	0.24	0.34	0.35	0.47	0.35	0.40
Soma A	0.57	0.61	0.61	0.44	0.43	0.52	0.50	0.50	0.52	0.51	0.50	0.57	0.59	0.52	0.56	0.70	0.69	0.89	0.71	0.75
[ ] A	0.43	0.41	0.48	0.44	0.43	0.39	0.39	0.56	0.57	0.48	0.50	0.50	0.38	0.34	0.34	0.35	0.34	0.48	0.49	0.50

Anexo II: Tabela de Química Mineral para Anfibólio dos Plútons Tourão e Catolé do Rocha

	Tourão T124b								Catolé do Rocha FT04				
Análises	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
SiO_2	38.88	39.35	39.41	39.32	39.52	39.05	38.84	39.45	39.06	38.91	39.10	38.28	39.08
TiO_2	0.98	0.93	1.09	1.18	1.18	0.99	0.83	1.17	1.47	1.40	1.40	1.51	1.52
Al_2O_3	11.69	11.60	11.15	11.33	11.01	11.57	11.93	11.15	10.19	10.26	9.97	10.09	9.97
FeO	28.06	27.95	27.72	27.82	27.33	27.62	27.73	27.43	30.50	30.83	30.31	30.72	30.60
MnO	0.45	0.48	0.47	0.53	0.46	0.53	0.50	0.58	0.83	0.79	0.64	0.68	0.76
MgO	4.19	4.22	4.49	4.26	4.41	4.28	4.18	4.36	1.35	1.47	1.47	1.08	1.07
CaO	10.96	11.18	11.25	11.02	10.97	11.24	10.90	11.01	10.65	10.63	10.60	10.54	10.70
Na_2O	1.42	1.48	1.45	1.54	1.52	1.54	1.44	1.51	1.62	1.37	1.56	1.56	1.60
K_2O	1.79	1.75	1.73	2.20	1.72	1.95	1.92	1.78	1.64	1.68	1.67	1.56	1.67
H_2O+	1.90	1.91	1.91	1.90	1.89	1.90	1.89	1.90	2.25	2.29	2.86	3.54	2.70
Total	100.32	100.85	100.67	101.10	100.01	100.67	100.16	100.34	99.55	99.64	99.56	99.55	99.65
Si	6.08	6.13	6.15	6.13	6.19	6.11	6.08	6.17	6.32	6.27	6.36	6.29	6.37
Al^{IV}	1.92	1.87	1.85	1.87	1.81	1.89	1.92	1.83	1.68	1.73	1.64	1.71	1.63
Soma T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ti	0.12	0.11	0.13	0.14	0.14	0.12	0.10	0.14	0.18	0.17	0.17	0.19	0.19
Al^{VI}	0.23	0.26	0.20	0.21	0.23	0.25	0.28	0.22	0.26	0.22	0.27	0.24	0.28
Fe^{III}	1.00	0.87	0.85	0.80	0.81	0.78	0.97	0.83	0.53	0.73	0.51	0.57	0.40
Fe^{2+}	2.62	2.72	2.72	2.79	2.73	2.79	2.61	2.71	3.59	3.42	3.61	3.64	3.77
Mg	0.98	0.98	1.04	0.99	1.03	1.00	0.98	1.02	0.33	0.35	0.35	0.26	0.26
Mn	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07	0.07	0.08	0.11	0.11	0.09	0.09	0.10
Soma C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Ca	1.84	1.87	1.88	1.84	1.84	1.89	1.83	1.84	1.84	1.83	1.85	1.85	1.87
Na	0.16	0.13	0.12	0.16	0.16	0.11	0.17	0.16	0.16	0.17	0.15	0.15	0.13
Soma B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Na	0.27	0.31	0.32	0.31	0.30	0.35	0.27	0.30	0.35	0.26	0.34	0.35	0.37
K	0.36	0.35	0.34	0.44	0.34	0.39	0.38	0.36	0.34	0.35	0.35	0.33	0.35
Soma A	0.62	0.66	0.66	0.74	0.65	0.74	0.65	0.66	0.69	0.61	0.68	0.68	0.72
[ ] A	0.27	0.17	0.29	0.30	0.31	0.11	0.29	0.25	0.31	0.39	0.32	0.32	0.28

Anexo II: Tabela de Química Mineral para biotita dos Plútons Monte das Gameleiras e Barcelona

	Monte das Gameleiras-MG20						**Monte das Gameleiras-MG01**				**Barcelona**				
Análises	**42IS30**	**43IS30**	**44IS29**	**45IS28**	**46IS31**	**47IS30**	**48**	**49**	**50**	**51**	**P-167**	**P-169**	**P-175 borda**	**P-176 centro**	**P-177**
SiO2	36.54	36.87	36.42	36.63	36.76	36.34	36.97	37.37	36.98	36.64	36.27	34.94	35.69	35.56	36.04
TiO2	1.48	1.59	1.92	1.94	2.09	1.85	2.18	2.10	2.30	1.26	2.25	3.31	2.26	2.18	1.66
Al2O3	14.26	14.62	14.22	14.39	14.96	14.50	15.02	14.98	14.97	14.55	14.75	13.73	14.84	14.66	15.02
FeO (t)	18.79	18.67	19.46	20.01	17.74	18.56	17.32	18.84	18.70	19.19	23.83	25.26	23.39	24.03	23.36
MnO	0.50	0.38	0.40	0.40	0.35	0.38	0.38	0.37	0.36	0.33	0.30	0.25	0.31	0.28	0.24
MgO	12.27	11.97	11.68	11.57	12.17	12.15	12.10	11.17	11.50	12.13	8.55	8.03	8.94	8.91	8.83
CaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05
Na2O	0.08	0.09	0.06	0.04	0.04	0.06	0.12	0.10	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00
K2O	9.43	9.50	9.35	9.99	9.54	9.91	9.55	9.84	11.15	10.01	9.77	9.77	9.98	9.84	9.21
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.04	0.05	0.02
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	0.49	0.49	0.75	0.31
H2O	3.81	3.82	3.80	3.83	3.82	3.80	3.82	3.83	3.83	3.82	3.36	3.52	3.57	3.42	3.65
Total	97.16	97.51	97.32	98.80	97.62	97.55	97.46	98.60	99.79	97.93	100.08	99.32	99.52	99.73	98.39
Si	5.70	5.72	5.69	5.66	5.67	5.65	5.69	5.73	5.65	5.69	5.65	5.54	5.59	5.58	5.66
Al^{IV}	2.30	2.28	2.31	2.34	2.33	2.35	2.31	2.27	2.35	2.31	2.35	2.46	2.41	2.42	2.34
Soma T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ti	0.17	0.19	0.23	0.23	0.24	0.22	0.25	0.24	0.26	0.15	0.26	0.39	0.27	0.26	0.20
Al^{VI}	0.32	0.39	0.30	0.28	0.39	0.31	0.42	0.44	0.34	0.35	0.36	0.11	0.32	0.29	0.45
Fe	2.45	2.42	2.54	2.59	2.29	2.41	2.23	2.42	2.39	2.49	3.10	3.35	3.06	3.15	3.07
Mn	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03
Mg	2.85	2.77	2.72	2.67	2.80	2.82	2.78	2.55	2.62	2.81	1.99	1.90	2.09	2.08	2.07
Soma M	5.87	5.81	5.84	5.81	5.76	5.81	5.73	5.70	5.66	5.84	5.75	5.79	5.78	5.81	5.81
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
K	1.88	1.88	1.86	1.97	1.88	1.97	1.88	1.92	2.17	1.98	1.94	1.98	1.99	1.97	1.85
Soma I	1.90	1.91	1.88	1.98	1.91	1.98	1.91	1.95	2.17	1.98	1.95	1.98	2.00	1.98	1.86
CL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.25	0.24	0.37	0.15
Fe/Fe+Mg	0.46	0.47	0.48	0.49	0.45	0.46	0.45	0.49	0.48	0.47	0.61	0.64	0.59	0.60	0.60

Anexo II: Tabela de Química Mineral para biotita dos Plútons Acari e Caraúbas

	Acari-ED128								Caraúbas-C135					
Análises	**52IS27**	**53IS28**	**54IS27**	**55IS27**	**56IS27**	**57IS27**	**58IS27**	**59IS26**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**
SiO2	36.89	36.42	36.61	36.22	36.77	36.60	36.23	36.51	35.44	36.09	35.19	34.82	35.34	35.69
TiO2	1.58	1.62	1.68	1.72	1.43	2.05	2.07	2.35	2.57	1.83	2.70	2.65	2.48	2.14
Al2O3	14.93	15.17	15.26	15.25	15.05	14.43	14.80	14.45	14.29	14.53	14.18	13.81	14.15	14.39
FeO (t)	20.02	19.34	19.78	20.05	20.21	19.55	20.11	20.38	25.86	25.21	25.71	27.18	26.75	26.58
MnO	0.34	0.39	0.41	0.41	0.42	0.32	0.43	0.36	0.45	0.44	0.36	0.39	0.45	0.37
MgO	11.02	11.16	10.82	10.94	11.25	10.65	10.77	10.52	7.52	8.19	7.14	6.94	7.11	7.29
CaO	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.07
Na2O	0.07	0.06	0.19	0.08	0.07	0.07	0.05	0.05	0.07	0.06	0.02	0.13	0.05	0.01
K2O	9.93	9.84	9.74	9.54	9.90	9.61	9.17	9.36	9.60	9.72	9.60	9.37	9.62	9.70
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	3.82	3.80	3.81	3.81	3.84	3.75	3.79	3.78	3.75	3.78	3.70	3.70	3.74	3.76
Total	98.60	97.80	98.30	98.05	99.01	97.03	97.43	97.77	99.55	99.86	98.60	98.99	99.72	100.00
Si	5.70	5.66	5.67	5.63	5.67	5.73	5.66	5.69	5.59	5.65	5.61	5.57	5.59	5.62
Al^{IV}	2.30	2.34	2.33	2.37	2.33	2.27	2.34	2.31	2.41	2.35	2.39	2.43	2.41	2.38
Soma T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ti	0.18	0.19	0.20	0.20	0.17	0.24	0.24	0.28	0.31	0.22	0.32	0.32	0.30	0.25
Al^{VI}	0.42	0.44	0.45	0.42	0.40	0.39	0.38	0.34	0.25	0.22	0.27	0.17	0.23	0.29
Fe	2.59	2.51	2.56	2.60	2.60	2.56	2.63	2.66	3.41	3.30	3.42	3.64	3.54	3.50
Mn	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05
Mg	2.54	2.59	2.50	2.53	2.58	2.49	2.51	2.44	1.77	1.91	1.70	1.65	1.68	1.71
Soma M	5.77	5.78	5.76	5.81	5.81	5.72	5.81	5.77	5.80	5.70	5.76	5.83	5.81	5.80
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Na	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02	0.00
K	1.96	1.95	1.92	1.89	1.95	1.92	1.83	1.86	1.93	1.94	1.95	1.91	1.94	1.95
Soma I	1.98	1.97	1.98	1.92	1.98	1.94	1.84	1.88	1.95	1.96	1.96	1.95	1.96	1.96
CL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe/Fe+Mg	0.50	0.49	0.51	0.51	0.50	0.51	0.51	0.52	0.66	0.63	0.67	0.69	0.68	0.67

Anexo II: Tabela de Química Mineral para biotita dos Plútons Tourão.

	Tourão-T124b							Tourão-T09					Tourão-T22			
Análises	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**11IS13**	**12IS13**	**13IS14**	**14IS14**	**15IS14**	**16IS13**	**8IS14**	**9IS15**	**10IS14**
SiO2	35.68	35.90	35.77	35.27	35.37	35.28	35.28	35.36	35.95	35.81	32.25	35.54	35.47	36.08	35.97	35.40
TiO2	2.80	2.68	2.64	2.24	2.42	2.83	2.83	2.53	2.58	1.76	1.87	2.43	2.62	2.49	2.46	2.78
Al2O3	15.13	15.21	14.90	14.73	15.20	14.66	14.66	16.61	16.18	16.24	15.68	16.02	15.95	15.23	15.21	15.60
FeO (t)	27.39	27.06	27.22	28.12	26.36	26.62	26.62	25.57	25.83	25.78	25.73	24.75	24.55	25.96	25.31	25.00
MnO	0.36	0.40	0.41	0.37	0.34	0.36	0.36	0.48	0.51	0.44	0.46	0.31	0.36	0.35	0.34	0.08
MgO	6.47	6.70	6.46	6.61	6.56	6.27	6.27	5.26	5.40	5.82	5.91	5.36	5.27	5.62	5.92	5.71
CaO	0.05	0.07	0.00	0.03	0.03	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.02	0.04	0.07	0.02	0.08	0.11	0.11	0.08	0.05	0.01	0.04	0.09	0.12	0.06	0.08	0.00
K2O	9.89	9.73	9.68	9.59	9.65	9.48	9.48	9.43	9.58	9.54	9.46	9.43	9.49	9.12	9.20	9.64
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	3.79	3.80	3.77	3.77	3.74	3.71	3.71	3.70	3.73	3.72	3.55	3.65	3.64	3.70	3.68	3.66
Total	101.58	101.59	100.92	100.75	99.75	99.39	99.39	99.02	99.81	99.12	94.95	97.58	97.47	98.61	98.17	97.87
Si	5.55	5.56	5.59	5.55	5.57	5.59	5.59	5.57	5.62	5.64	5.38	5.66	5.66	5.71	5.70	5.64
Al^{IV}	2.45	2.44	2.41	2.45	2.43	2.41	2.41	2.43	2.38	2.36	2.62	2.34	2.34	2.29	2.30	2.36
Soma T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ti	0.33	0.31	0.31	0.27	0.29	0.24	0.34	0.30	0.30	0.21	0.23	0.29	0.31	0.30	0.29	0.33
Al^{VI}	0.32	0.34	0.33	0.28	0.40	0.39	0.33	0.66	0.61	0.65	0.47	0.67	0.66	0.55	0.55	0.56
Fe	3.56	3.51	3.56	3.70	3.47	3.55	3.53	3.37	3.38	3.40	3.59	3.30	3.27	3.43	3.36	3.33
Mn	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.06	0.07	0.04	0.05	0.05	0.05	0.01
Mg	1.50	1.55	1.50	1.55	1.54	1.57	1.48	1.24	1.26	1.37	1.47	1.27	1.25	1.33	1.40	1.36
Soma M	5.75	5.76	5.76	5.85	5.74	5.80	5.72	5.63	5.62	5.68	5.83	5.57	5.55	5.65	5.64	5.59
Ca	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.03	0.02	0.02	0.00	0.01	0.03	0.04	0.02	0.02	0.00
K	1.96	1.92	1.93	1.93	1.94	1.94	1.92	1.90	1.91	1.92	2.01	1.92	1.93	1.84	1.86	1.96
Soma I	1.98	1.95	1.95	1.94	1.97	1.95	1.96	1.92	1.93	1.92	2.03	1.94	1.97	1.86	1.89	1.96
CL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe/Fe+Mg	0.70	0.69	0.70	0.70	0.69	0.69	0.70	0.73	0.73	0.71	0.71	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71

Anexo II: Tabela de Química Mineral para biotita dos Plútons Catolé do Rocha.

	Catolé do Rocha - FT04				
Análises	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
SiO2	33.74	33.95	33.95	33.69	33.74
TiO2	2.56	2.73	2.73	2.88	2.61
Al2O3	14.99	14.79	14.79	14.46	15.05
FeO (t)	33.29	32.46	32.46	32.79	33.39
MnO	0.33	0.37	0.37	0.28	0.53
MgO	1.70	1.64	1.64	1.84	1.59
CaO	0.04	0.00	0.00	0.05	0.01
Na2O	0.05	0.06	0.06	0.02	0.06
K2O	9.10	8.77	8.77	9.43	9.24
Cl	0.15	0.13	0.13	0.12	0.14
F	0.50	0.61	0.61	0.52	0.56
H2O	3.45	4.68	3.84	3.95	3.09
Total	99.89	100.18	99.34	100.04	100.02
Si	5.52	5.58	5.50	5.54	5.50
Al^{IV}	2.48	2.42	2.50	2.46	2.50
Soma T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ti	0.31	0.34	0.28	0.36	0.32
Al^{VI}	0.41	0.45	0.39	0.34	0.40
Fe	4.55	4.46	4.57	4.51	4.56
Mn	0.05	0.05	0.05	0.04	0.07
Mg	0.42	0.40	0.52	0.45	0.39
Soma M	5.74	5.70	5.80	5.69	5.74
Ca	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Na	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
K	1.90	1.84	1.88	1.98	1.92
Soma I	1.92	1.86	1.90	1.99	1.94
CL	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04
F	0.26	0.32	0.28	0.27	0.29
Fe/Fe+Mg	0.92	0.92	0.90	0.91	0.92

Anexo II: Tabela de Química Mineral para plagioclásio dos Plútons Monte das Gameleiras e Barcelona.

	Monte das Gameleiras MG01			Monte das Gameleiras MG 20						Barcelona Pl 1 (Fenocristal)				
Análises	**34**	**35**	**36**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**P-153 borda**	**P-154 b-centro**	**P-155 centro**	**P-156 c-borda**	**P-157 borda**
SiO_2	62.69	62.41	62.36	62.14	62.10	62.31	64.15	62.04	62.36	63.59	63.59	62.64	62.52	62.58
Al_2O_3	22.89	23.35	23.41	22.85	22.60	22.74	21.49	22.79	22.63	23.13	23.67	23.69	23.76	24.05
FeO	0.03	0.07	0.10	0.12	0.11	0.04	0.02	0.06	0.02	0.02	0.06	0.02	0.11	0.02
Cao	4.06	4.44	4.36	4.48	4.18	4.44	2.69	4.49	4.33	4.30	5.14	5.08	4.99	5.10
Na_2O	9.46	9.08	9.26	9.22	9.07	9.19	10.27	9.09	9.27	9.29	8.70	8.87	8.77	8.69
K_2O	1.80	0.14	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.23	0.12	0.15	0.25	0.21	0.19	0.24
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.04	0.00	0.01	0.12
Total	100.93	99.49	99.66	98.81	98.06	98.73	98.62	98.70	98.73	100.64	101.45	100.51	100.36	100.81
Si	11.11	11.11	11.09	11.14	11.19	11.17	11.46	11.14	11.18	11.19	11.11	11.05	11.05	11.02
Al	4.78	4.90	4.91	4.83	4.80	4.80	4.52	4.82	4.78	4.80	4.87	4.93	4.95	4.99
Soma T	15.89	16.00	16.00	15.97	16.00	15.97	15.98	15.97	15.97	15.99	15.98	15.98	15.99	16.01
Fe	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00
Ca	0.77	0.85	0.83	0.86	0.81	0.85	0.51	0.86	0.83	0.96	0.96	0.96	0.94	0.96
Na	3.25	3.13	3.19	3.20	3.17	3.19	3.56	3.16	3.22	2.94	2.94	3.03	3.00	2.97
K	0.41	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Soma M	4.43	4.02	4.08	4.08	3.99	4.05	4.07	4.09	4.09	3.98	3.98	4.04	4.01	3.99
Soma - Cát.	20.33	20.03	20.07	20.05	19.99	20.03	20.06	20.06	20.05	19.96	19.96	20.02	20.00	20.00
Soma - O	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Ab (%mol)	73.40	78.10	78.60	78.83	79.70	78.88	87.36	77.54	78.95	79.00	74.31	75.07	75.25	74.50
An (%mol)	17.41	21.10	20.45	21.17	20.30	21.06	12.64	21.17	20.38	20.18	24.28	23.76	23.65	24.17
Or (%mol)	9.19	0.79	0.95	0.00	0.00	0.06	0.00	1.29	0.67	0.86	1.41	1.17	1.09	1.33

Anexo II: Tabela de Química Mineral para plagioclásio dos Plútons Barcelona e Acari

	Barcelona PL 3 (Mirmequitico)				Barcelona Pl 2 (Inclusão)			Barcelona PL 4 (Matriz)	Acari ED128			
Análises	**P-158**	**P-159**	**P-160**	**P-161**	**P-171**	**P-172**	**P-191**	**P-180**	**37**	**38**	**39**	**40**
SiO_2	62.89	63.13	63.25	63.43	61.79	66.71	63.04	63.28	61.61	61.39	61.77	62.15
Al_2O_3	23.33	23.30	23.20	23.54	23.35	20.49	23.59	22.88	23.83	23.65	23.70	23.29
FeO	0.07	0.02	0.14	0.01	0.05	0.03	0.05	0.23	0.12	0.10	0.13	0.10
Cao	4.46	4.46	4.28	4.51	4.77	1.54	4.69	4.30	5.16	5.40	5.36	4.93
Na_2O	9.01	9.12	9.13	8.93	8.70	11.16	9.06	9.08	8.92	8.52	8.55	8.79
K_2O	0.17	0.12	0.22	0.19	0.19	0.11	0.18	0.18	0.03	0.00	0.21	0.06
BaO	0.04	0.12	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.97	100.29	100.29	100.61	98.86	100.04	100.61	99.95	99.67	99.06	99.72	99.32
Si	11.14	11.15	11.17	11.15	11.07	11.72	11.10	11.20	10.97	10.99	11.00	11.09
Al	4.87	4.85	4.83	4.88	4.93	4.24	4.89	4.78	5.00	4.99	4.97	4.90
Soma T	16.01	16.00	16.00	16.02	16.00	15.96	15.99	15.98	15.98	15.98	15.97	15.98
Fe	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01
Ca	0.85	0.84	0.81	0.85	0.92	0.29	0.88	0.82	0.98	1.04	1.02	0.94
Na	3.09	3.12	3.13	3.04	3.02	3.80	3.09	3.12	3.08	2.96	2.95	3.04
K	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.01	0.00	0.05	0.01
Ba	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soma M	3.99	4.01	4.01	3.94	3.99	4.12	4.03	4.01	4.09	4.01	4.04	4.01
Soma - Cát.	19.99	20.00	20.01	19.96	20.00	20.07	20.02	19.99	20.07	19.99	20.01	19.99
Soma - O	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Ab (%mol)	77.8	78.2	78.4	77.3	75.9	92.4	77.0	78.5	75.65	74.06	73.39	76.08
An (%mol)	21.27	21.14	20.31	21.58	22.99	7.07	22.01	20.53	24.18	25.94	25.42	23.58
Or (%mol)	0.96	0.69	1.26	1.09	1.08	0.58	0.99	1.00	0.17	0.00	1.19	0.34

Anexo II: Tabela de Química Mineral para plagioclásio dos Caraúbas e Tourão.

	Caraúbas C135				Caraúbas 284					Tourão T222						Tourão T124b				
Elementos	**17**	**18**	**19**	**20**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
SiO_2	61.59	61.96	62.15	62.50	62.58	62.48	63.22	62.81	63.97	62.59	62.43	63.86	64.26	64.09	63.52	62.61	62.15	62.09	62.91	63.10
Al_2O_3	23.32	24.07	23.44	23.18	23.83	23.21	23.80	23.74	22.96	23.29	23.24	23.24	23.16	23.31	23.40	24.44	24.35	24.29	23.84	23.95
FeO	0.09	0.05	0.00	0.09	0.20	0.12	0.16	0.00	0.00	0.12	0.12	0.00	0.02	0.42	0.00	0.06	0.09	0.12	0.00	0.06
Cao	4.93	5.24	5.14	4.52	4.70	4.85	5.14	5.20	4.36	4.39	5.27	3.70	4.37	4.51	4.55	5.39	5.39	5.29	4.78	4.85
Na_2O	8.89	8.73	8.93	9.28	8.75	8.97	9.09	8.56	9.26	8.66	8.51	8.77	8.82	8.93	9.32	8.72	8.78	8.96	9.13	9.16
K_2O	0.18	0.09	0.00	0.00	0.21	0.20	0.26	0.21	0.13	0.31	0.38	0.22	0.11	0.50	0.14	0.59	0.27	0.20	0.17	0.12
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.00	100.14	99.66	99.57	100.27	99.83	101.67	100.52	100.68	99.36	99.95	99.79	100.74	101.76	100.93	101.81	101.03	100.95	100.83	101.24
Si	11.04	10.98	11.06	11.12	11.06	11.10	11.05	11.07	11.23	11.14	11.09	11.26	11.25	11.17	11.14	10.94	10.93	10.93	11.06	11.05
Al	4.93	5.02	4.91	4.86	4.96	4.86	4.90	4.93	4.75	4.89	4.86	4.83	4.78	4.79	4.84	5.03	5.05	5.04	4.94	4.94
Soma T	15.97	16.00	15.97	15.98	16.02	15.96	15.95	16.00	15.98	16.03	15.95	16.10	16.03	15.96	15.98	15.98	15.98	15.98	16.00	15.99
Fe	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01
Ca	0.95	0.99	0.98	0.86	0.89	0.92	0.96	0.98	0.82	0.84	1.00	0.70	0.82	0.84	0.86	1.01	1.02	1.00	0.90	0.91
Na	3.09	3.00	3.08	3.20	3.00	3.09	3.08	2.92	3.15	2.99	2.93	3.00	2.99	3.02	3.17	2.95	2.99	3.06	3.11	3.11
K	0.04	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05	0.06	0.05	0.03	0.07	0.09	0.05	0.02	0.11	0.03	0.13	0.06	0.04	0.04	0.03
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soma M	4.09	4.02	4.06	4.08	3.96	4.08	4.12	3.95	4.00	3.91	4.04	3.75	3.84	4.03	4.06	4.10	4.08	4.12	4.05	4.06
Soma - Cát.	20.06	20.02	20.03	20.05	19.98	20.04	20.07	19.95	19.98	19.94	19.99	19.84	19.87	20.00	20.04	20.08	20.07	20.10	20.05	20.05
Soma - O	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Ab (%mol)	75.77	74.71	75.87	78.79	76.18	76.13	75.11	73.97	78.78	76.71	72.91	80.02	78.00	75.99	78.15	72.15	73.56	74.57	76.83	76.85
An (%mol)	23.22	24.78	24.13	21.21	22.61	22.75	23.47	24.83	20.50	21.49	24.95	18.66	21.36	21.21	21.08	24.64	24.95	24.33	22.23	22.49
Or (%mol)	1.01	0.51	0.00	0.00	1.20	1.12	1.41	1.19	0.73	1.81	2.14	1.32	0.64	2.80	0.77	3.21	1.49	1.10	0.94	0.66

Anexo II: Tabela de Química Mineral para Magnetita dos Monte das Gameleiras e Barcelona

	Monte das Gameleiras-MG20					Monte das Gameleiras-MG01				Barcelona				
Análises	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**P-168**	**P-173 centro**	**P-174 borda**	**P-182**	**P-183**
SiO_2	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.07	0.03	0.06	0.00	0.02	0.08	0.00	0.03	0.09
TiO_2	0.01	0.05	0.07	0.06	0.01	0.03	0.13	0.01	0.00	0.04	0.08	0.06	0.01	0.02
Al_2O_3	0.00	0.00	0.03	0.05	0.09	0.08	0.27	0.02	0.05	0.02	0.06	0.04	0.07	0.04
Fe_2O_3	68.35	68.63	67.94	68.11	68.50	68.97	68.33	69.21	69.49	67.86	67.57	69.28	68.94	68.78
FeO	30.65	30.52	30.60	30.73	30.78	30.92	31.08	31.16	30.80	30.60	30.61	31.25	31.14	30.94
MnO	0.06	0.00	0.03	0.07	0.02	0.06	0.10	0.12	0.07	0.03	0.02	0.08	0.00	0.08
MgO	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.12	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na_2O	0.02	0.05	0.02	0.00	0.01	0.07	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K_2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.11	0.06	0.11	0.02
V_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.16	0.15	0.24	0.21
Total	99.12	99.41	98.73	99.02	99.45	100.20	99.99	100.59	100.54	98.74	98.70	100.91	100.54	100.17
Si	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.03
Al	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.09	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00
Fe^{+3}	15.98	15.97	15.95	15.96	15.97	15.92	15.84	15.95	15.98	15.93	15.84	15.91	15.87	15.87
Ti	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00
Soma T	15.99	15.98	15.98	15.99	16.00	15.97	15.96	15.98	16.00	15.96	15.92	15.95	15.93	15.92
Mg	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe^{+2}	8.00	7.97	8.01	8.00	7.98	8.01	8.00	7.99	7.96	8.01	8.01	7.99	8.01	8.01
Mn	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02
Ca	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soma M	8.01	8.02	8.02	8.01	8.00	8.03	8.04	8.02	8.00	8.01	8.02	8.01	8.01	8.03
$Fe^{+3}/(Fe^{+3}+Fe^{+2})$	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.66	0.67	0.67	0.67	0.66	0.67	0.66	0.66

Anexo II: Tabela de Química Mineral de Magnetita para os plútons Acari, Caraúbas e Tourão.

	Acari-ED128						Caraúbas-C135				Tourão-T124b						Tourão-T22	
Análises	23	24	25	26	27	28	**10**	**11**	**12**	**13**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
SiO_2	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00	0.10	0.01	0.01	0.05	0.01	0.04	0.04	0.02	0.05	0.00	0.00
TiO_2	0.05	0.03	0.07	0.03	0.03	0.01	0.18	0.00	0.02	0.07	0.06	0.06	0.04	0.03	0.09	0.03	0.00	0.00
Al_2O_3	0.08	0.03	0.01	0.00	0.02	0.02	0.23	0.12	0.10	0.13	0.03	0.00	0.06	0.07	0.07	0.04	0.00	0.00
Fe_2O_3	69.11	69.46	68.61	68.22	68.39	68.77	68.99	69.48	70.72	69.08	69.77	69.79	69.87	69.95	70.08	70.36	66.39	66.68
FeO	30.31	31.07	30.97	30.80	30.85	30.43	31.10	31.48	30.38	31.15	31.49	31.47	31.47	31.39	31.49	30.97	29.41	29.36
MnO	0.13	0.10	0.06	0.00	0.06	0.05	0.01	0.07	0.10	0.07	0.09	0.05	0.05	0.04	0.07	0.07	0.02	0.00
MgO	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
CaO	0.00	0.07	0.04	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05	0.00	0.00
Na_2O	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.01	0.07	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.06	0.11
K_2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.19	0.00	0.00
Cr_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.83	100.84	99.79	99.08	99.38	99.58	100.59	101.27	101.69	100.55	101.50	101.38	101.56	101.58	101.90	101.76	95.93	96.15
Si	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Al	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.08	0.04	0.03	0.04	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe^{+3}	15.95	15.96	15.95	15.97	15.96	15.97	15.85	15.90	15.95	15.95	15.94	15.97	15.94	15.94	15.93	15.95	16.00	16.00
Ti	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00
Soma T	15.99	15.99	15.98	15.98	15.98	15.99	15.96	15.97	15.99	16.00	15.97	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	16.00	16.00
Mg	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Fe^{+2}	7.97	7.95	8.00	8.02	8.00	7.93	8.04	8.01	7.98	7.98	8.01	8.00	8.00	8.01	8.01	7.99	7.97	8.00
Mn	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00
Ca	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Soma M	8.01	8.01	8.02	8.02	8.02	8.01	8.04	8.03	8.01	8.00	8.03	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.00	8.00
$Fe^{+3}/(Fe^{+3}+Fe^{+2})$	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67

Anexo II: Tabela de Química Mineral de epidoto para os plútons Barcelona, Monte das Gameleiras e Tourão.

	Barcelona P-179	**Monte das Gameleiras-MG01**	**Tourão-T124b**		
Analises	**1**	**1**	**1**	**2**	**3**
SiO_2	36.05	36.46	37.58	37.87	37.52
TiO2	0.07	0.07	0.06	0.11	0.11
Al_2O_3	22.26	22.29	22.89	23.10	22.94
FeO	13.38	13.57	13.05	12.46	12.97
MnO	0.18	0.20	0.22	0.24	0.21
MgO	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00
CaO	22.96	23.02	23.13	22.94	23.22
Na_2O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
K_2O	0.01	0.08	0.00	0.01	0.00
H_2O	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	96.69	95.72	96.98	96.73	96.97
Si	2.94	2.95	2.99	3.01	2.99
Al^{IV}	0.06	0.05	0.01	0.00	0.01
Soma T	3.00	3.00	3.00	3.01	3.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Al^{VI}	2.09	2.08	2.14	2.17	2.14
Fe^{3+}	0.91	0.92	0.87	0.83	0.86
Soma M	3.00	3.00	3.00	3.00	3.01
Mn	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Ca	2.01	2.00	1.97	1.95	1.98
K	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Soma I	2.02	2.02	1.99	1.97	1.99
Soma Cát.	8.02	8.02	7.99	7.98	8.00
PS= $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Al^{VI})$	0.30	0.31	0.29	0.28	0.29

Anexo II: Tabela de Química Mineral de titanita para os plútons Monte das Gameleiras, Barcelona, Acari, Caraúbas e Tourão.

	Monte das Gameleiras MG20			**Monte das Gameleiras MG01**			**Barcelona**			**Acari ED128**			**Caraúbas C135**			**Tourão T124b**		
Análises	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**RC-10**	**RC-10**	**RC-10**	**17**	**18**	**19**	**4**	**5**	**6**	**1**	**2**	**3**
SiO2	29.34	28.81	29.22	28.81	29.28	29.51	P-151	P-181	P-184	29.99	29.84	29.42	29.53	29.85	29.76	30.38	30.56	30.39
TiO2	35.61	35.60	36.12	36.15	37.01	36.70	30.01	30.51	29.58	36.63	37.39	36.27	34.90	35.53	34.44	35.10	35.53	35.24
Al2O3	1.56	1.63	1.48	1.39	1.42	1.52	35.71	36.24	35.94	2.07	1.63	1.53	2.38	2.74	3.06	2.84	2.84	2.86
Fe2O3	1.94	2.19	2.02	2.08	1.91	1.62	1.63	1.67	1.60	1.69	1.29	1.79	1.83	2.02	1.79	1.77	1.84	1.78
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55	1.53	1.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.07	0.16	0.07	0.06	0.08	0.11	0.00	0.00	0.00	0.06	0.10	0.12	0.11	0.11	0.12	0.06	0.11	0.11
MgO	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.05	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
CaO	27.55	27.01	27.49	26.82	27.78	27.04	0.02	0.03	0.01	28.51	28.41	27.32	27.78	27.76	28.20	28.09	28.10	29.05
Na2O	0.07	0.02	0.00	0.08	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.07	0.08	0.02	0.04	0.03	0.02	0.05
Si	0.987	0.979	0.983	0.980	0.974	0.992	1.005	1.008	0.993	0.979	0.979	0.987	0.984	0.982	0.981	0.994	0.993	0.981
Ti	0.901	0.910	0.914	0.925	0.925	0.928	0.899	0.901	0.907	0.899	0.923	0.915	0.874	0.879	0.854	0.864	0.869	0.856
Al	0.062	0.065	0.059	0.056	0.056	0.060	0.064	0.065	0.063	0.080	0.063	0.061	0.093	0.106	0.119	0.110	0.109	0.109
Fe^{3+}	0.049	0.056	0.051	0.053	0.048	0.041	0.039	0.038	0.038	0.042	0.032	0.045	0.046	0.050	0.045	0.044	0.045	0.043
Fe^{2+}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.002	0.005	0.002	0.002	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003
Mg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000
Ca	0.993	0.983	0.991	0.978	0.990	0.974	0.986	0.986	0.998	0.997	0.999	0.982	0.991	0.978	0.996	0.985	0.979	1.005
Na	0.005	0.001	0.000	0.005	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.005	0.005	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Soma Cat.	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

Anexo III

Tabela de Temperatura e Pressão

Anexo III: Tabela de temperatura e pressão para os plútons analisados.

Plúton	T (C) HB2	P[AS95]_T[HB94_2]	P[S92]	Prof (km)
Acari ED128	726	5.1	5.8	19
Acari ED128	731	4.8	5.6	18
Acari ED128	742	4.8	5.8	18
Acari ED128	735	5.0	5.9	19
Monte das Gameleiras MG01	702	4.7	5.1	18
Monte das Gameleiras MG01	709	4.4	4.8	17
Monte das Gameleiras MG01	711	4.2	4.7	16
Monte das Gameleiras MG01	701	3.8	4.1	14
Monte das Gameleiras MG20	708	3.9	4.3	15
Monte das Gameleiras MG20	718	4.1	4.7	16
Monte das Gameleiras MG20	717	4.1	4.6	15
Monte das Gameleiras MG20	717	4.4	4.9	16
Tourão	759	5.7	7.2	21
Tourão	747	5.8	7.1	22
Tourão	753	5.4	6.8	20
Tourão	761	5.3	6.9	20
Tourão	751	5.3	6.7	20
Tourão	750	5.8	7.2	22
Tourão	752	6.0	7.5	23
Tourão	754	5.4	6.8	20
Barcelona RC10	705	5.3	5.7	20
Barcelona RC10	703	5.4	5.8	21
Barcelona RC10	701	5.5	5.9	21
Caraubas C135	750	5.5	6.9	21
Caraubas C135	756	5.7	7.2	22
Caraubas C135	766	5.3	7.0	20
Caraubas C135	776	4.8	6.8	18
Caraubas C135	743	6.2	7.4	23
Catolé do Rocha	738	5.2	6.2	20
Catolé do Rocha	723	5.6	6.3	21
Catolé do Rocha	739	5.2	6.3	20
Catolé do Rocha	723	5.4	6.1	20
Catolé do Rocha	736	5.3	6.3	20