



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JEREMIAS VITÓRIO PINTO FEITOSA

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA
DOS RIOLITOS DO NOROESTE DO CEARÁ –
ALVOS: PENANDUBA, MUMBABA E JORDÃO**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

**BELÉM - PA
2010**

JEREMIAS VITÓRIO PINTO FEITOSA

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA
DOS RIOLITOS DO NOROESTE DO CEARÁ –
ALVOS: PENANDUBA, MUMBABA E JORDÃO**

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

Orientador: Prof. Dr. Cândido A. V. Moura.

**BELÉM - PA
2010**

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

F311p Feitosa, Jeremias Vitório Pinto

Petrografia, geoquímica e geocronologia dos Riólitos do noroeste do Ceará – Alvos Penanduba, Mumbaba e Jordão/ Jeremias Vitório Pinto Feitosa; Orientador: Cândido Augusto Veloso Moura – 2010

63 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Primeiro Período de 2010.

1. Petrografia 2. Geoquímica 3. Geocronologia 4. Riólito Penanduba 5. Riólito Mumbaba 6. Riólito Jordão 7. Província Borborema. I. Universidade Federal do Pará. II. Moura, Cândido, *orient.* III. Título.

CDD 20ª ed.: 552.4098132

JEREMIAS VITÓRIO PINTO FEITOSA

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA
DOS RIOLITOS DO NOROESTE DO CEARÁ –
ALVOS: PENANDUBA, MUMBABA E JORDÃO**

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

Data de Aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. Candido A V Moura – Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Moacir José Buenano Macambira – Relator
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

*A meus pais: José Vítório Feitosa (in memorian)-Pai
Nadir Pinto Feitosa-Mãe*

AGRADECIMENTOS

Registro aqui meus sinceros e profundos agradecimentos às pessoas e entidades que direta ou indiretamente prestaram sua contribuição para que este trabalho fosse concluído com êxito, em especial:

- À Deus, por sua infinita misericórdia em sempre abençoar um filho que por muitas vezes O deixou de lado pelos estudos e motivos vãos.

- À Universidade Federal do Pará (UFPA) que através do Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, pelo fornecimento de infra-estrutura necessária à realização deste trabalho.

- Ao CNPq/Pibic pela concessão da bolsa de estudo durante o decorrer da graduação.

- Ao Grupo de Pesquisa de Geologia Isotópica (PARÁ-ISO), do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de estágio e aprendizado.

- Ao Prof. Dr. Candido Moura, por sua disponibilidade em orientar e confiança no trabalho.

- Ao Prof. Dr. Paulo Gorayeb (co- orientador), pelos ensinamentos e pela coragem no auxílio à execução deste trabalho.

- À Profa. Dra. Rosemery Nascimento, pela oportunidade de trabalho de campo.

- Aos professores e técnicos do Laboratório PARÁ-ISO, pela paciência, compreensão e informações doadas durante o estágio.

- Ao Prof. Dr. Marco Antônio Galarza, por toda dedicação e inestimável ajuda dada no decorrer das análises geocronológicas e no tratamento dos dados durante o estágio.

- Ao Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira, relator e avaliador deste trabalho, pelas críticas e sugestões.

- Ao Prof. Dr. Francisco Matos, coordenador do projeto de mapeamento da CPRM no Ceará, pela disposição e apoio no trabalho de campo e infra-estrutura necessária.

- Aos integrantes do Laboratório Geocart e LAIT pela disponibilização de material.

- Aos amigos Amélia Parente e Lucios Kleber, do curso de Geologia desta instituição.

- Aos colegas de turma da turma de Geologia 2005, e em especial aos grandes amigos: Patrick Santos, Bruno Leal, Diogo Santos, Eduardo Souza, João Neto, Fabrício da Silva, integrantes da "DIRETORIA", pela fiel amizade construída ao longo da graduação.

- À família Feitosa, e à Ana Cristina dos Santos Pinto (tia), por trilhar caminhos onde pude me espelhar, e ainda, pelo imenso apoio, incentivo e compreensão nos momentos de ausência em virtude do árduo período de graduação.

- À Nara Cristina Moraes de Freitas (namorada), pela imensa compreensão e paciência ao longo dos anos em que estamos convivendo juntos.

- À Srª Nadir Pinto Feitosa (minha mãe), uma grande mulher, e principalmente mãe, pelas orações e lutas diárias em manter a nossa família, o que me encorajou a enfrentar a vida.

Ao Sr. José Vitorio Feitosa, PAI e amigo (in memorian), que pelo pouco tempo que Deus nos permitiu conviver juntos, me ensinou a ser muito do que sou hoje como pessoa de caráter justo e verdadeiro.

*Só quem já perdeu na vida sabe o que é ganhar.
Porque encontrou na derrota o motivo para lutar.
E construir o seu próprio caminho,
Uma vez que as trilhas só levam até onde os outros foram.
Pe. Fábio de Melo*

RESUMO

Os chamados Riolito Penanduba (FRE-02), Riolito Mumbaba (SOB-02) e Riolito Jordão (SOB-05), alvos deste estudo, localizam-se inseridos no contexto da Província Borborema (PB), estado do Ceará. Em geral, essas rochas apresentam características semelhantes, petrograficamente são rochas porfíricas com teores que variam de 68 a 75% de SiO_2 , classificadas como riolitos porfíricos, e no caso do alvo Penanduba um riolito pórfirítico milonitizado, em virtude de suas características. Os dados geoquímicos permitiram a classificação dessas rochas como riolitos, metaluminosos e pertencentes à série shoshonítica. Os elementos Terras Raras no diagrama mostram um padrão entrelaçado para as amostras, evidenciando um maior enriquecimento de ETR Leves em relação aos ETR Pesados com uma pequena anomalia de Eu. A geocronologia não possibilitou a definição da idade de cristalização dessas rochas, entretanto os dados mostraram que o material precursor de algumas dessas rochas podem ter uma gênese comum, em virtude de que as idades de 1,72 Ga., do alvo Penanduba e, 1,88 Ga. do alvo Mumbaba são próximas. Já para o alvo Jordão, os cristais de zircão acusaram idades entre 2,3 e 2,6 Ga., diante disso, é mais plausível pensar na possibilidade de que os cristais de zircão dessas rochas são “herdados”, uma vez que a cristalização desses corpos deve ter ocorrido no final do Neoproterozóico.

Palavras-chave: Província Borborema, Riolito Penanduba, Riolito Mumbaba, Riolito Jordão, Petrografia, Geoquímica, Geocronologia.

ABSTRACT

The so-called rhyolite Penanduba (FRE-02), rhyolite Mumbaba (SOB-02) and rhyolite Jordão (SOB-05), targets of this study are located within the context of the Province Borborema (PB), state of Ceará. In general, these rocks have characteristics similar petrographically are porphyritic rocks with levels ranging from 68-75% SiO₂, classified as porphyritic rhyolites, and in case of a rhyolite porphyry target Penanduba milonitizado because of its characteristics. The geochemical data allowed the classification of these rocks as rhyolites, metaluminous and belong to the shoshonitic series. Rare Earth Elements in the diagram shows an interlace pattern for the samples, showing a greater enrichment of LREE compared to HREE with a small anomaly Eu. The geochronology not possible to define the crystallization age of these rocks, however the data showed the precursor of some of these rocks may have a common genesis, due to the ages of 1.72 Ga., target Penanduba and 1.88 Ga. Target Mumbaba are nearby. As for the target Jordão, accused the zircons ages between 2.3 and 2.6 Ga. Before it is more plausible to consider the possibility that the zircons in this rock are "legacy", since the crystallization of that body must have occurred towards the end of the Neoproterozoic.

Keywords: Province Borborema, rhyolite Penanduba, rhyolite Mumbaba, rhyolite Jordão, Petrography, Geochemistry, Geochronology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mapa de localização da área de estudo, mostrando as ocorrências dos riolitos na região noroeste do Ceará.....	13
Figura 02: Mapa geológico da Província Borborema subdividido a partir de domínios tectônicos e estruturas da Província. Zonas de cisalhamento: Sobral-Pedro II (SO), Senador Pompeu (SP), Orós-Aiuaba (OR), Porto Alegre (PO), São Vicente (SV), Pauí-João Camara (JC), Malta (MA), Serra do Caboclo (SC), Congo-Cruzeiro do Nordeste (CC), Serra da Jabitaca (SJ), Jatobá-Itaíba (JI), Macururé-Riacho Seco (MR), Belo Monte-Jeremoabo (BJ), São Miguel do Aleixo (SA) e Itaporanga (IA); Lineamentos: Patos (PA) e Pernambuco (PE); ‘Nappes’ da Faixa Riacho do Pontal (RP).....	15
Figura 03: Domínios estruturais da Província Borborema e seus respectivos terrenos, maciços e faixas.....	16
Figura 04: Mapa geológico do Domínio Tectônico Médio Coreaú (MCo).....	17
Figura 05: Espectrômetro de massa FINNIGAN 262, utilizado nas análises geocronológicas.....	28
Figura 06: Mapa Geológico e das ocorrências dos alvos de riolitos estudados.....	31
Figura 07: Aspectos texturais do Riolito Penanduba. A) riolito marrom com tons avermelhados. B-C) Feldspato alcalino pertítico. D) Cristal de quartzo com hábito bipiramidal. E) Substituição do feldspato alcalino por albita. F) Intercrescimento granofírico. G-H) Minerais acessórios.....	33
Figura 08: Aspectos texturais do Riolito Mumbaba. A) riolito marrom com tons avermelhados. B) Visão geral da rocha ao microscópio. C) Cristais tabulares de plagioclásio. D-E) Minerais Acessórios (Clorita e Titanita, respectivamente). F) Microvênulas preenchidas por muscovita e carbonato.....	35
Figura 09: Aspectos texturais do Riolito Jordão. A) riolito marrom de tonalidade avermelhada. B) Aspecto geral ao microscópio. C) Cristal de feldspato com aspecto	

de corrosão. D) Cristais de quartzo preenchendo cavidades. E-F) Minerais acessórios.....	36
Figura 10: Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas, segundo Cox (1979), que limita as amostras estudadas ao campo dos riolitos.....	39
Figura 11: Diagrama R1-R2 de De La Roche (1980) de classificação de rochas vulcânicas.....	40
Figura 12: Diagrama de classificação K_2O versus SiO_2 de Pecerrillo & Taylor (1976) para as amostras estudadas.....	41
Figura 13: Diagrama de classificação nos teores de A/NK versus A/CNK de Shand (1943).....	42
Figura 14: Diagrama binário K_2O x Rb.....	43
Figura 15: Diagrama binário Sr x Ba.....	44
Figura 16: Diagrama de multielementos mostrando a disposição dessas rochas normalizados pelo padrão condritico de Sun et al. 1980.....	45
Figura 17: Diagrama dos elementos terras raras para os riolitos Penanduba, Mumbaba e Jordão, normalizados pelo padrão condritico de Nakamura (1974).....	46
Figura 18: Diagrama de elementos terras raras comparando o padrão do Granito Meruoca com aqueles dos riolitos.....	47
Figura 19: Diagrama de elementos terras raras comparando o padrão do Granito Mucambo e os riolitos.....	48
Figura 20: Diagramas geotectônicos de Pearce (1985), que sugerem que o magmatismo riolítico é similar ao magmatismo granítico intraplaca.....	49
Figura 21: Diagrama R1-R2 de Batchelor e Bowden (1985) que classifica as rochas como de ambientes de granitos anorogênico e de orogenia final.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 APRESENTAÇÃO.....	11
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	12
1.3 GEOLOGIA REGIONAL.....	14
1.4 JUSTIFICATIVA	25
1.5 OBJETIVOS	25
1.6 ATIVIDADES E MÉTODOS DO TRABALHO.....	25
1.6.1 Pesquisa Bibliográfica.....	25
1.6.2 Petrografia.....	26
1.6.3 Geoquímica.....	27
1.6.4 Geocronologia.....	27
2 GEOLOGIA DOS ALVOS PENANDUBA, MUMBABA E JORDÃO.....	29
2.1 REGIÃO DE PENANDUBA.....	29
2.2 REGIÃO DE MUMBABA.....	30
2.3 REGIÃO DE JORDÃO.....	30
3 PETROGRAFIA.....	32
3.1 RIOLITO PENANDUBA.....	32
3.2 RIOLITO MUMBABA.....	34
3.3 RIOLITO JORDÃO.....	34
4 GEOQUÍMICA.....	37
5 GEOCRONOLOGIA.....	51
6 CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A Província Borborema (PB), termo introduzido por Almeida et al. (1977 apud Hachspacher, 1988) , compreende uma extensa área de cerca de 450.000 Km², definida como uma “complexa região dobrada do tipo mosaico” (BRITO NEVES et al. 2001). Esta representa e registra a evolução geológica pré-cambriana policíclica de grande complexidade, que teve início no Arqueano culminando no final do Neoproterozóico, quando ocorreram efetivos e importantes eventos tectônicos, termais e magmáticos pertencentes ao Ciclo Brasileiro. Esta província é parte integrante da Província Benin/Nigéria, na África, com a qual possui notáveis semelhanças geológicas. (ARTHAUD, 2007).

O Domínio Tectônico Médio Coreaú (MC), também chamado de região de dobramentos noroeste do Ceará (ABREU et al., 1988 apud OLIVEIRA 1992), ou sistema de dobramentos Médio Coreaú (NEVES, 1975 apud OLIVEIRA op cit.), representa a parte mais ocidental desta província no estado do Ceará. Este domínio é limitado na porção oeste pela Serra da Ibiapaba, flanco leste da Bacia do Parnaíba, representado pelos arenitos e conglomerados do grupo Serra Grande. O limite leste do domínio Médio Coreaú é dado pelo Lineamento Sobral-Pedro II.

Os riolitos que foram estudados neste trabalho de conclusão de curso, Riolito Penanduba, Riolito Mumbaba e Riolito Jordão, ocorrem no domínio tectônico Médio Coreaú, mas em locais diferenciados, principalmente pelas características dos terrenos que os envolvem, e podem representar eventos magmáticos correlacionáveis ou não. Nesse sentido, um trabalho petrográfico minucioso, aliado à análises geoquímicas e dados geocronológicos faz-se necessário, para investigar essa questão e assim contribuir para o entendimento desse magmatismo riolítico no contexto evolutivo do Domínio Médio Coreau.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo deste trabalho localiza-se no noroeste do estado do Ceará e está inserida nas folhas Frecheirinha (SA.24-Y-C-VI) e Sobral (SA.24-X-D-IV). O estudo envolve três alvos de ocorrência de rochas vulcânicas riolíticas, conforme identificados na figura 01 (Riolito Penanduba (FRE-02), Riolito Mumbaba (SOB-02), Riolito Jordão (SOB-05), tendo a cidade de Sobral como ponto de referência da região de trabalho. O acesso à região a partir de Belém, por meio rodoviário, é feito pela BR-316 até a cidade de Teresina, capital do estado do Piauí, de onde segue pela BR-222 até a cidade de Sobral (CE). O deslocamento para as áreas alvo é feito através de rodovias estaduais e estradas vicinais que promovem a articulação entre os municípios dessa região.

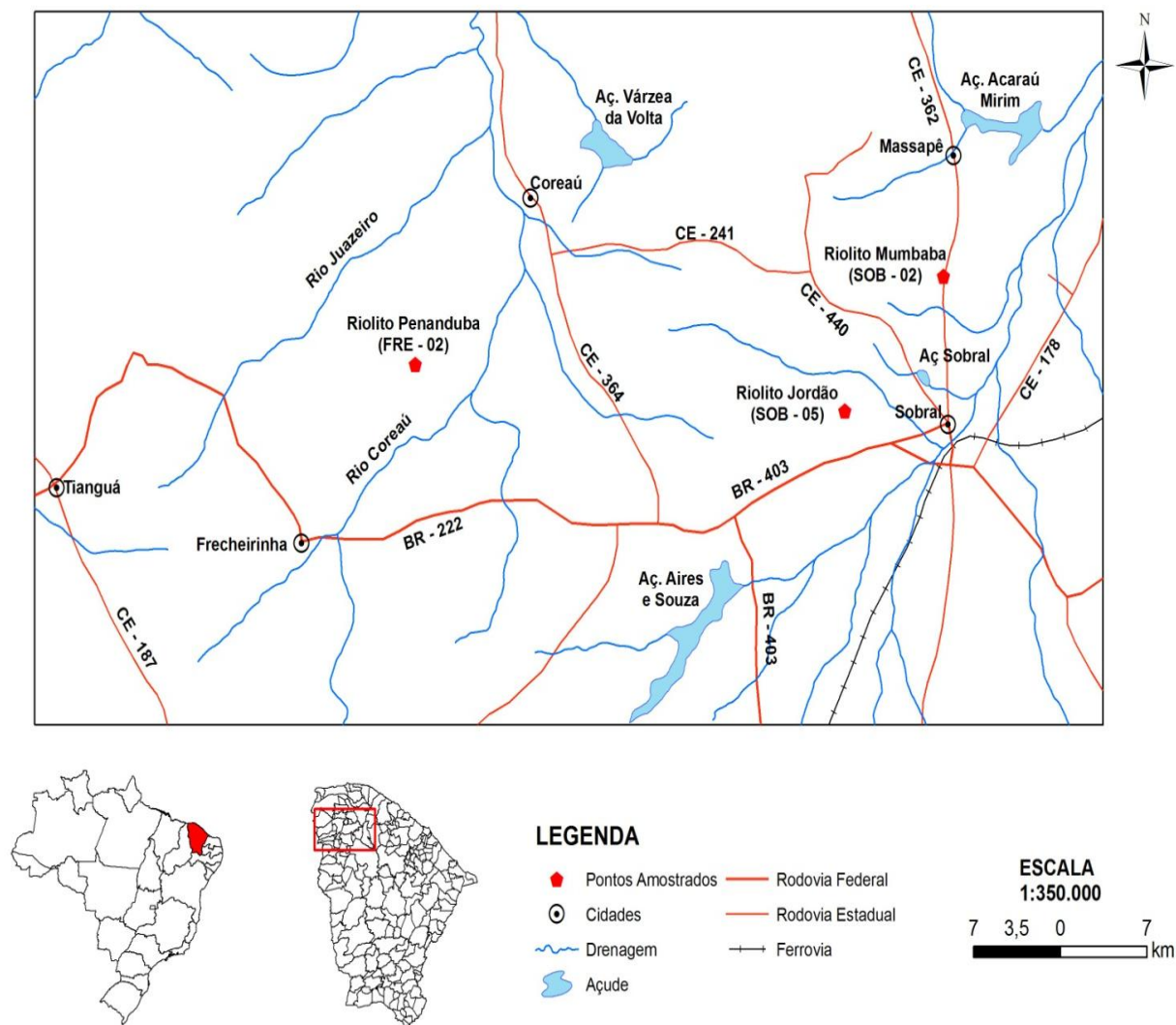


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo, mostrando as ocorrências estudadas de riolito na região noroeste do Ceará.

Fonte: Modificado de DNIT 2002.

1.3 GEOLOGIA REGIONAL

GENERALIDADES

A Província Borborema (PB), termo introduzido por Almeida et al. (1977 apud BRITO NEVES et al., 2001), compreende uma extensa área de cerca de 450.000 Km² na região nordeste do Brasil, abrangendo os estados do Maranhão, Piauí e, principalmente, Ceará, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco e norte da Bahia, definida como um retalho de terrenos de diferentes composições, separados por falhas e lineamentos importantes (Figura 02). Essa província faz parte, de uma unidade tectônica bem maior encontrada entre os crátons Oeste-Africano, Amazônico e São Francisco-Congo, sendo representada na África pelas províncias Oeste-Nigeriano, Leste-Nigeriano, Camarões e, possivelmente, Touareg (MABESSONE, 2002). A PB exhibe o registro de uma evolução geológica precambriana policíclica complexa, iniciada no Arqueano e encerrada, no final do Neoproterozóico, com a Orogenia Brasileira/Pan-Africana. Segundo Almeida et al. (1977) in Mabessone *op. cit.* essa província estende-se por baixo da bacia sedimentar do Parnaíba e parece incluir também a chamada Faixa Araguaia, parte setentrional da província tectônica do Tocantins.

A orogenia Transamazônica (Paleoproterozóico) foi o primeiro evento tectônico com amplo registro nas rochas da PB, mas grande parte das estruturas e dos litotipos da província desenvolveram-se durante a evolução de dois diferentes ciclos tectônicos: a orogenia Cariris Velho (Neoproterozóico/Toniano-Criogeniano Inferior) e a orogenia Brasileira (Neoproterozóico/Criogeniano Superior-Vendiano). A orogenia Brasileira herdou *trends* estruturais e crosta retrabalhada, que foi formada durante a orogenia Cariris Velhos (MABESSONE, 2000).

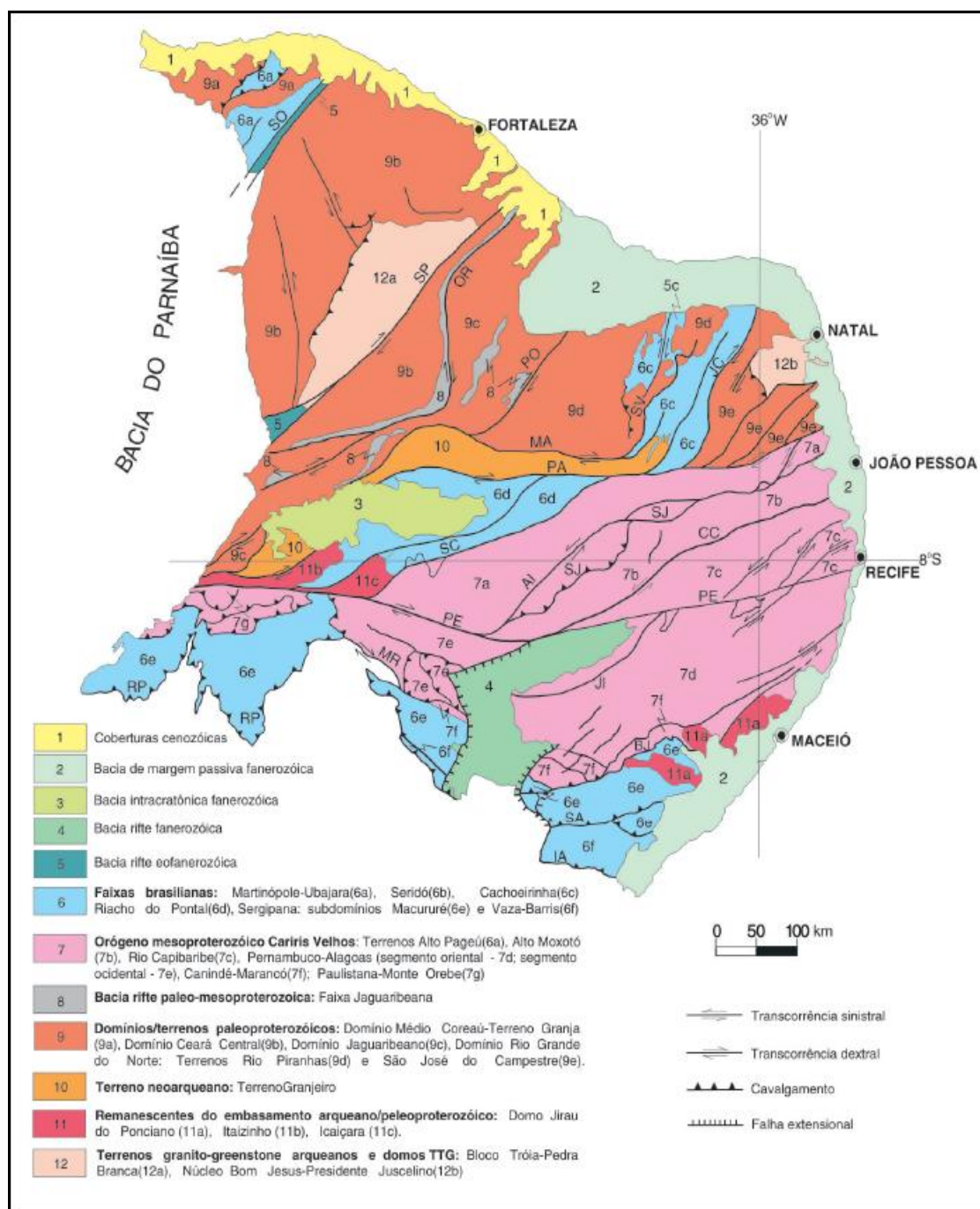


Figura 02: Mapa geológico da Província Borborema subdividido a partir de domínios tectônicos e estruturas da Província. Zonas de cisalhamento: Sobral-Pedro II (SO), Senador Pompeu (SP), Orós-Aiuaba (OR), Porto Alegre (PO), São Vicente (SV), Pauí-João Camara (JC), Malta (MA), Serra do Caboclo (SC), Congo-Cruzeiro do Nordeste (CC), Serra da Jabitaca (SJ), Jatobá-Itaíba (JI), Macururé-Riacho Seco (MR), Belo Monte-Jeremoabo (BJ), São Miguel do Aleixo (SA) e Itaporanga (IA); Lineamentos: Patos (PA) e Pernambuco (PE); 'Nappes' da Faixa Riacho do Pontal (RP).

Fonte: BIZZI et al, (2003).

DOMÍNIOS ESTRUTURAIS DA PROVÍNCIA BORBOREMA

Segundo Brito Neves *et. al.* (2001) é possível individualizar cinco domínios estruturais dentro da Província Borborema, denominados de Domínio Médio Coreau (MCo), Domínio Ceará Central (CC), Domínio Rio grande do Norte (DRGN), Domínio de Zona Transversal (Tz) e Domínio Sul (SD), provavelmente originados, na atual configuração, por volta do Cambriano (545 – 505 M.a). (Figura 03).

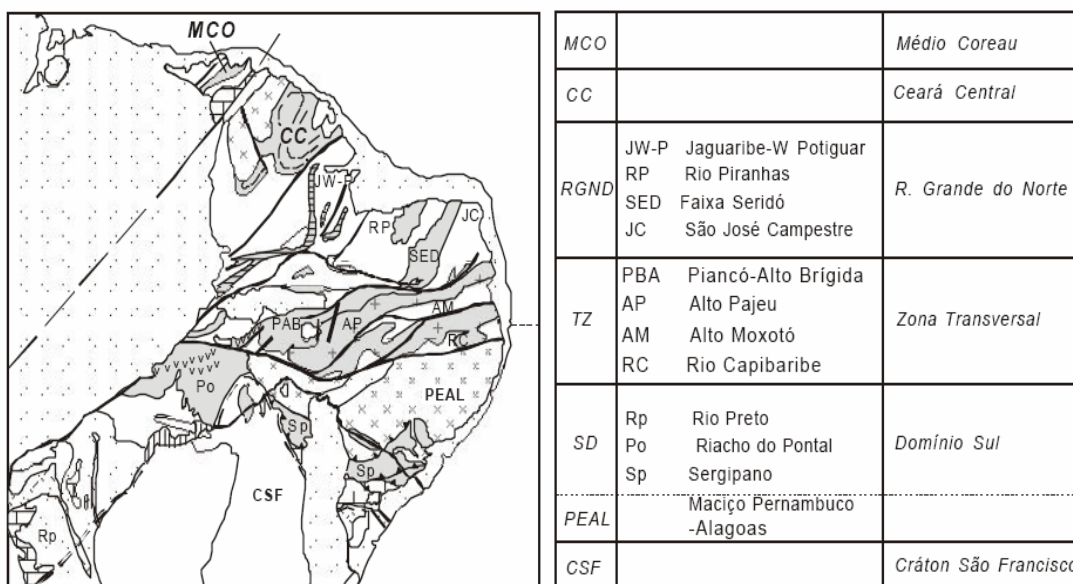


Figura 03: Domínios estruturais da Província Borborema e seus respectivos terrenos, maciços e faixas.

Fonte: BRITO NEVES *et al.* (2000).

Domínio Médio Coreau (MCo)

O chamado Domínio Médio Coreau, no extremo-noroeste da província, é de idade Paleoproterozóica, entre 2,36 e 2,30 Ga, obtida pelo método U-Pb em zircão (FETTER *et al.*, 2000). Apresenta o formato de uma cunha triangular fortemente deformada. Neste domínio é observado um arranjo de *horsts* e *grabens* alinhados na direção NE-SW e justapostos pelas zonas de cisalhamentos profundas com mergulho vertical, chamada de Lineamento Transbrasilliano (OLIVEIRA *et al.*, 2001). No Domínio Médio Coreau estão presentes o embasamento gnáissico-migmatítico do Terreno Granja, as rochas supracrustais do Grupo Martinópolis e do Grupo São

Joaquim, as seqüências metassedimentares do Grupo Ubajara e Jaibaras, as Suítes Parapuí e Mucambo – Meruoca e a Formação Aprazível (Figura 3).

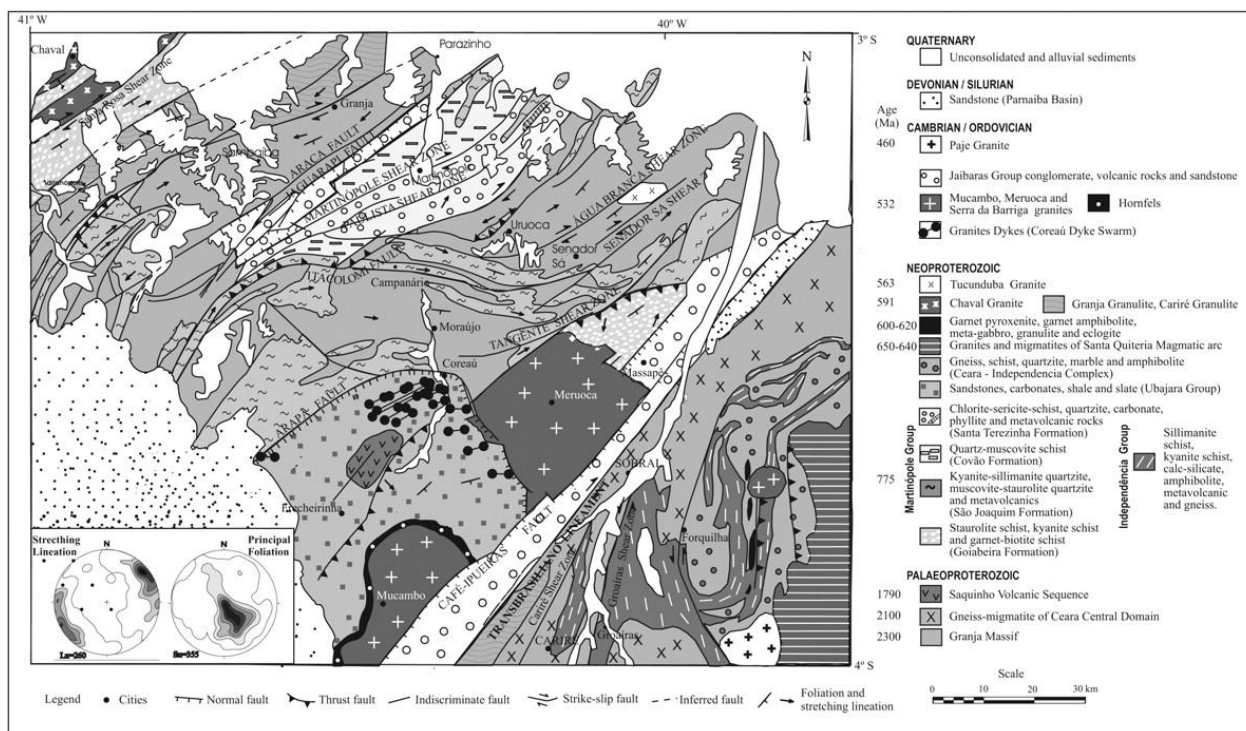


Figura 04: Mapa geológico do Domínio Tectônico Médio Coreau (MCo).

Fonte: dos SANTOS; FETTER & NETO. (2008).

Domínio Ceará Central (CC)

O Domínio Ceará Central está situado entre os lineamentos Transbrasiliano e Senador Pompeu. Consiste de embasamento gnáissico, formado durante a colagem transamazônica, com a inclusão de um importante núcleo arqueano (Maciço Tróia-Tauá), além de conter seqüências supracrustais neoproterozóicas, remanescentes de cinturões de dobramentos, e registrar plutonismo brasileiro expressivo (Neoproterozóico Superior). Um importante complexo granítico-gnáissico deste domínio é o Maciço de Santa Quitéria, localizado na parte noroeste, o qual representa um arco magmático continental do Brasileiro (FETTER, 1999).

Domínio Rio Grande do Norte (DRGN)

Este domínio compõe-se das faixas Orós–Jaguaribe e Seridó, e dos terrenos Rio Piranhas, São José do Campestre e Granjeiro. Limita-se a oeste pela zona de

cisalhamento Orós Oeste/Aiuaba e ao sul pela Zona de Cisalhamento (lineamento) Patos. A leste e a norte, o domínio está encoberto pelas rochas sedimentares da Província Costeira e da Bacia do Apodi, respectivamente (BIZZI *et al.*, 2003).

Domínio de Zona Transversal (Tz)

O termo Zona Transversal foi utilizado por Jardim de Sá (1994 *apud* MEDEIROS, 1995), para o segmento da Província Borborema situada entre os lineamentos Patos e Pernambuco. Nesta região, Santos (1995 *apud* MEDEIROS *op. cit*) delimitou os terrenos Alto Moxotó, Alto Pajeú e a Faixa Piancó-Alto Brígida.

Nos limites deste domínio, principalmente, estão geograficamente registradas as evidências geológicas do evento Cariris Velho, de idade meso-neoproterozóico, imediatamente ao sul do Lineamento Patos, nos terrenos Piancó-Alto Brígida e Pajeú-Paraíba se estendendo para os terrenos ao sul do Lineamento Pernambuco (BRITO NEVES *et al*, 1995).

Domínio Sul (SD)

Este domínio encerra toda a porção ao sul do Lineamento Pernambuco, compondo-se dos terrenos Riacho do Pontal, Faixa Sergipana. A faixa Riacho do Pontal constitui uma bacia de margem passiva com sequências turbidíticas e metagrauvacas, da formação Mandacarú e xistos metamorfisados da Formação Barra Bonita e alguns plutons de idade Brasileira. A Faixa Sergipana constitui uma bacia de margem passiva, gerada e deformada no neoproterozóico, dividida em dois subdomínios: Macururé (depósitos pelítico-psamítico de natureza turbidítica) e Vaza-Barris (sedimentação carbonática-pelítica) (BIZZI *et al*, 2003).

LITOESTRATIGRAFIA

Dos domínios estruturais citados anteriormente, que compõem a Província Borborema, apenas três são observados no estado do Ceará, são eles: O Domínio Médio Coreaú, o domínio Ceará Central e a parte ocidental do domínio Rio Grande do Norte.

Como a área de estudo localiza-se dentro do domínio Médio Coreaú, será dado ênfase aos estudos litoestratigráficos apenas dessa região (Tabela 01).

O domínio Médio Coreaú é caracterizado pela presença do embasamento gnáissico-migmatítico do Complexo Granja, as rochas supracrustais do Grupo Martinópole e do Grupo São Joaquim, as seqüências metassedimentares do Grupo Ubajara e Jaibaras, o Batólito Santa Quitéria, as Suítes Parapuí e Mucambo – Meruoca e a Formação Aprazível.

COMPLEXO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO

Complexo Granja

O Complexo Granja se situa entre o delta do Parnaíba (Piauí) e Jeriquaquara, no litoral cearense (Santos; Brito Neves, 1984) e é considerado embasamento da Faixa Martinópole-Ubajara, sendo constituído por ortognaisses TTG, granulitos ortoderivados e paraderivados e migmatitos (Bizzi *et al.* 2003). De modo mais detalhado são caracterizados por ortognaisses tonalíticos migmatizados, paragnaisses aluminosos com granada e sillimanita, quartzito com sillimanita, quartzito ferríferos, leptinitos, granulitos máficos, enderbitos e charnoquitos (ABREU; GORAYEB, 1996).

De acordo com Santos (1999) *in* Bizzi *et al.* (2003) essas rochas metaplutônicas são correspondentes de uma crosta juvenil gerada em ambiente de arco magmático durante o Sideriano (2,30 a 2,50 Ga.), que sofreram retrabalhamento nos eventos Transamazônico e Brasileiro, em que a granulitização e migmatização ocorreram no Neoproterozóico.

Corpo Vulcânico do Saquinho

O corpo vulcânico do Saquinho é representado por traqui-andesito, riolitos, riodacitos e brecha vulcânica, localizado a sudoeste da cidade de Coreaú, possui um formato alongado, na direção NE-SW. Sua posição estratigráfica baseia-se na determinação das idades U-Pb em zircão de 1,8 Ga para essas rochas (SANTOS, 1999).

ROCHAS SUPRACRUSTAIS

Grupo Martinópolis

O Grupo Martinópolis é composto por três formações: a Formação São Joaquim é constituída de quartzito e metacalcário intercalados com rochas vulcânicas; e as formações Covão e Santa Terezinha são constituídas por uma seqüência metapelitocarbonática (BIZZI *et al.* 2003).

De modo geral, segundo Fetter *et al.* (2003), esta seqüência supracrustal, assentada discordantemente sobre o embasamento do Domínio Médio Coreaú e composto por rochas sedimentares finas, xistos pelíticos a cloríticos, metagrauvacas e quartzitos com pequenas intercalações de calcissilicáticas, carbonatos e rochas vulcânicas felsicas sugere deposição em ambiente de baixa energia. Fetter *et al* (*op cit.*) obteve idade de 777 ± 11 M.a (Neoproterozóico – Criogeniano) pelo método U-Pb em zircão para as rochas metavulcânicas.

SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES E METASSEDIMENTARES

Grupo Ubajara

Para Gorayeb *et al.* (1988) este grupo registra um ciclo tectono-sedimentar completo em margem continental composta por quatro formações: Formação Trapiá, constituída por uma intercalação de metassiltitos, metarenitos e mais raramente metaconglomerados, sendo que os metarenitos são mais predominantes; Formação Caiçaras, composta por ardósias intercaladas a metarenitos, em contato gradacional com as rochas da Formação Trapiá; Formação Frecheirinha, importante fácies carbonática (BIZZI *et al.* 2003), é constituída predominantemente de metacalcários com termos conglomeráticos e termos impuros (margosos) intercalados; e por último a

Formação Coreaú composta por uma seqüência clastopelítica (metagrauvacas, metarcósios, metarenitos arcossianos), (SANTOS & BRITO NEVES, 1984) de ambiente flúvio-marinho.

Grupo Jaibaras

É constituída pelas formações Pacujá – com arenitos líticos, folhelhos e siltitos, dispostos em seqüências semelhantes à de tempestitos com finas camadas turbidíticas de ambiente lacustre e Massapê – constituído por conglomerados brechóides depositados em ambiente de leque fluvial (QUADROS & ABREU, 1995). Trata-se de um exemplo clássico de sedimentação molássica imatura e continental, com grande vulcanismo fissural recortando as seqüências, instalado em um sistema de grábens condicionados por falhas em áreas pouco extensas (ABREU & GORAYEB, 1993). Segundo Nascimento & Abreu (1994), este grupo corresponde a uma seqüência sedimentar depositada por leques aluviais sob condições secas. Este grupo é tido como produto das fases tracionais da tectônica brasileira.

SUÍTE PARAPUÍ

A Suíte ParapuÍ é composta por um complexo de rochas vulcânicas (lavas, piroclásticas) e subvulcânicas metamorfisadas, que compreende basaltos, dacitos, andesitos e riolitos, geralmente alterados, além de diabásios e gabros (SANTOS & BRITO NEVES, 1984).

As rochas vulcanoclásticas constituídas de fragmentos de basaltos, riolitos, rochas sedimentares, bombas e pequenos fragmentos formam depósitos restritos e de espessura reduzida, ocorrendo em posições proximais dos derrames basálticos, caracterizando depósitos epiclásticos e piroclásticos (NASCIMENTO & GORAYEB, 2004). A idade obtida pelo método U-Pb em riolitos dessa suíte é de $535,6 \pm 8,5$ Ma. (GARCIA *et al.* 2010).

SUÍTE MUCAMBO-MERUOCA

A Suíte Mucambo-Meruoca corta as seqüências metassedimentares dos grupos Ubajara e Jaibaras, além de rochas do embasamento.

De acordo com Gorayeb *et al.* (1988) é reconhecida três fácies no Granito Meruoca: faialita-ortoclásio granito, biotita-hornblenda-ortoclásio granito e microgranitos, possuindo diques associados de riolito, quartzo diorito e granófiros (SANTOS & BRITO NEVES, 1984), a idade deste granito, pelo método U-Pb, é de aproximadamente 523 ± 9 Ma. (ARCHANJO, 2009). O Granito Mucambo é constituído por granitos, quartzo-sienitos e hornblenda granitos (SANTOS & BRITO NEVES, 1984). Segundo Fetter (1999 *apud* BRITO NEVES *et al.* 2003) idade obtida através do método U-Pb, para o granito Mucambo, é de 532 ± 6 Ma; além da idade Ar-Ar de 527 ± 3 Ma.

FORMAÇÃO APRAZÍVEL

A Formação Aprazível é constituída por um ortoconglomerado polimítico de aspecto brechóide, composto por seixos de tamanhos variados, angulosos e levemente imbricados. Os seixos são principalmente de fragmentos líticos, incluindo metarenitos, metacalcários, filitos, quartzitos, xistos, vulcânicas e granitos, estando envoltos em matriz arenosa (GORAYEB *et al.* 1988).

Retrata depósitos de cones aluviais e torrentes situados ao longo de linhas de falhas que foram reativadas, possuindo locais em que esses conglomerados foram drasticamente deformados (milonitos, cataclasitos subverticalizados) indicando movimentos decorrentes de grandes falhas regionais (SANTOS e BRITO NEVES, 1984).

GRUPO SERRA GRANDE

O termo “Serra Grande” foi primeiramente proposto por Small (1914) e, mais tarde, Caputo & Lima (1984) o descreveram como Grupo Serra Grande. Este Grupo foi subdividido em três formações: Ipu – formada por arenitos, conglomerados, arenitos conglomeráticos esbranquiçados e diamictitos (afossilífera) de idade situada entre o final do Ordoviciano e início do Siluriano; Tianguá – composta por folhelhos, siltitos e arenitos finos; possui idade Eo-siluriana baseado em quitinozoas, acritarcas e microesporos encontrados e Jaicós – constituída por arenito médio a conglomerático de idade Neo-siluriana.

SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS

As coberturas cenozóicas são caracterizadas por aluviões, colúvios e dunas, que são formados a partir de material detrítico derivado de diferentes litotipos. As aluviões são representadas, em geral, por areia fina a grossa, variando de tonalidades claras a escuras, podendo ocorrer localmente cascalhos grossos e argilas com matéria orgânica em decomposição (NASCIMENTO *et al.*, 1981).

Tabela 1. Unidades litoestratigráficas que compõem a região de estudo, no Domínio tectônico Médio Coreaú.

ERA	PERÍODO	IDADE	DOMÍNIO		COBERTURAS SEDIMENTARES
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	RECENTE	MÉDIO COREAÚ		
	TERCIÁRIO	5,3 a 23,5 Ma			Grupo Barreiras
PALEOZÓICA	SILURIANO	410 a 435 Ma	Formação Aprazível		Grupo Serra Grande
	CAMBRIANO	523 Ma	Suíte Granítica Meruoca		
		535 Ma	Suíte Parapuí	Grupo Jaibaras	
NEOPROTEROZÓICA	CRIOGENIANO	650 a 850 Ma	Grupo Ubajara	Formação Frecheirinha	
				Formação Caiçaras	
				Formação Trapiá	
			Grupo Martinópolis	Formação Santa Teresinha	
				Formação Covão	
				Formação São Joaquim	
PALEOPROTEROZÓICO	ESTATERIANO	1,6 a 1,8 Ga	Corpo Vulcânico do Saquinho		
	SIDERIANO	2,3 a 2,5 Ga	Complexo Granja		

Fonte: Modificado de GORAYEB et al. (1988).

1.4 JUSTIFICATIVA

A Província Borborema é um segmento crustal de grande extensão e complexidade geológica, que vem sendo estudado de modo crescente durante as últimas décadas. Entretanto, a diversidade de terrenos e de tipos litológicos faz com que, apesar do avanço no conhecimento geológico, ainda existam questionamentos de ordem litoestratigráfica. Entre eles, destacam-se a ocorrência de rochas vulcânicas félsicas, que afloram nas regiões de Penanduba, Mumbaba e Jordão. Nesse sentido se faz necessário um estudo onde se possa coletar os dados bibliográficos existentes sobre esses riolitos, aliando a isso novos dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos, para que se possa esclarecer as relações cronoestratigráficas a respeito dessas rochas e as encaixantes.

1.5 OBJETIVOS

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo principal a caracterização petrográfica, geoquímica e geocronológica das rochas vulcânicas ácidas, que ocorrem em Penanduba, Mumbaba e Jordão, localizados no noroeste do estado do Ceará, visando investigar as possíveis relações temporal, estratigráfica entre esses riolitos e as rochas encaixantes, e ainda, e contribuir para o entendimento dos eventos relacionados a ascensão e colocação do magma gerador desses litotipos.

1.6 ATIVIDADES E MÉTODOS DO TRABALHO

1.6.1 Pesquisa Bibliográfica

Para alcançar os objetivos estabelecidos neste trabalho de conclusão de curso, foi realizada inicialmente uma pesquisa bibliográfica sobre a geologia da região de estudo, a fim de levantar informações contidas em relatórios da disciplina Estágio de Campo II, promovida pela faculdade de Geologia da Universidade Federal

do Pará. Além disso, foram investigados artigos publicados, trabalhos de iniciação científica e dissertações de mestrado desenvolvidos naquela região.

1.6.2 Petrografia

A investigação petrográfica contou com a descrição mesoscópica de amostras representativas dos alvos Penanduba, Mumbaba e Jordão, seguida de estudos de lâminas delgadas em microscópio óptico com luz transmitida.

A descrição de amostras de mão dos litotipos foi essencial para se obter informações a respeito do ambiente onde essas rochas foram formadas, aliando tais subsídios aos dados microscópicos.

1.6.3 Geoquímica

As análises químicas em rocha total foram realizadas no *Acme Analytical Laboratories* Ltda. (Vancouver, CANADÁ), sendo dosados os conteúdos de elementos maiores e menores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , TiO_2 , Cr_2O_3 , P_2O_5 , PF), traço (Zn, Cu, Pb, Ba, Be, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, W, Zr, Bi) e terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu). Os elementos maiores e menores foram analisados por ICP-AES e os elementos-traço e terras raras por ICP-MS.

A caracterização geoquímica foi baseada nos procedimentos indicados em Ragland (1989) e Rollinson (1993) e fundamenta-se na avaliação do comportamento dos elementos maiores, menores e traço. Os resultados analíticos foram corrigidos, retirando os teores de perda ao fogo (P. F), através da fórmula do fator ($F = \text{valor} / (\text{valor} - \text{P. F})$), e assim, possibilitaram, através do uso de diagramas clássicos, (COX et al., 1979; NAKAMURA, 1974; PEARCE, 1977, 1985; PECERRILLO; TAYLOR, 1976; SUN et al, 1980; BATCHELOR; BOWDEN, 1985; SHAND, 1943; DE LA ROCHE, 1980), a avaliação do quimismo das rochas vulcânicas estudadas, a classificação composicional e a identificação da provável paleoambiência tectônica para essas rochas.

1.6.4 Geocronologia

As datações geocronológicas foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) do Instituto de Geociências da UFPA. O método empregado foi o de evaporação de Pb em zircão por termoionização, cujos princípios básicos foram desenvolvidos por Kober (1986, 1987), tendo sua adaptação ao Pará-Iso sido discutida por Gaudette et al. (1998). Os cristais foram extraídos das amostras utilizando-se o método clássico de separação de minerais pesados, que envolve trituração, pulverização, elutriação, separação magnética e por líquidos pesados, neste caso, o bromofórmio.

A determinação da idade dos cristais de zircão selecionados foi realizada em um espectrômetro de massa marca FINNIGAN, modelo MAT-262 (Figura 04). Este equipamento utiliza filamentos duplos de rênio, sendo um de ionização e outro de evaporação, técnica que proporciona a emissão de um sinal de Pb estável por longo período de tempo (KOBBER, 1986). As análises envolvem o aquecimento gradativo dos cristais de zircão em etapas de 1450°, 1500° e 1550°C, e posterior determinação de idade a partir da razão entre os isótopos de Pb, para cada uma delas. A idade final de cada amostra foi a média dos resultados obtidos a temperaturas mais elevadas em todos os cristais analisados que apresentaram resultados coerentes. As correções para chumbo comum são realizadas de acordo com o modelo de Stacey & Kramers (1975).



Figura 05: Espectrômetro de massa FINNIGAN 262, utilizado nas análises geocronológicas.

2 GEOLOGIA DOS ALVOS PENANDUBA, MUMBABA E JORDÃO.

2.1 REGIÃO DE PENANDUBA

Essa região tem essa denominação pela ocorrência da Serra da Penanduba, situada a aproximadamente 15 km a NE da cidade de Frecheirinha e 13 km a SW da cidade de Coreaú. O acesso pode ser feito pela estrada secundária que liga os municípios de Frecheirinha e Coreaú e as principais ocorrências das rochas estudadas ficam próximas à localidade de Salgado dos Teodoros. A Serra da Penanduba tem um boa expressão de relevo, que é sustentada por quartzitos que formam uma camada orientada. Segundo descrição contida nos relatórios do Estágio de Campo de Coreaú, realizado em 1988, as melhores exposições desse riolito compõem os morros São José e outros dois morrotes a nordeste deste. As rochas vulcânicas foram descritas informalmente como integrante de uma suíte vulcanossedimentar milonitizada, por não haver naquele momento nenhuma unidade com as características observadas. Essa suíte vulcanossedimentar foi descrita como sendo constituída por um metariolito milonítico e vulcânica intermediária milonitizada, além de milonitos e ultramilonitos

Segundo Dos Santos (1999) estudando a região, essas rochas foram relatadas com a denominação de Corpo Vulcânico do Saquinho, consistindo de traquiandesitos, riodacito e brechas vulcânicas, ocorrendo próximo às rochas do Grupo Ubajara.

Ainda segundo Santos *op cit.* não foi possível a observação das relações de contato das rochas do Corpo Vulcânico do Saquinho com as rochas do embasamento ou do Grupo Martinópolis, por este fato sua posição estratigráfica baseia-se somente em estudos isotópicos que obtiveram para essas rochas pelo método U-Pb em zircão a idade de 1,78 Ga. O método Sm-Nd, indicou para esse material idade T_{DM} de 2,47 Ga com $\epsilon_{Nd} = -26,35$, esses resultados mostram que o material desse corpo não resulta de uma crosta juvenil, e sim de origem similarmente temporal às rochas do embasamento. Esses dados permitem dizer que as rochas do corpo vulcânico do saquinho são bem diferentes das rochas vizinhas do Grupo

Ubajara, e, portanto sugere a fragmentação de uma lasca tectônica Paleoproterozóica preservada na porção noroeste da Província Borborema.

2.2 REGIÃO DE MUMBABA

A região de Mumbaba está localizada a aproximadamente 9 km da cidade de Sobral, com acesso pela rodovia CE-362, entre Sobral e Massapê, próximos a vila de mesmo nome.

A rocha estudada aflora na forma de serrote, com destaque para o serrote Mumbaba, onde se encontra as maiores expressões desse litotipo. A secção estratigráfica na região começa com riolitos maciços a porfiríticos com espessura de 150 m, mergulhando em torno de 35° para ENE, sobrepostos por arenitos arcoseanos, rochas vulcanoclásticas, basaltos porfiríticos, fluidais e arenitos, truncados na porção oeste pelo Granito Meruoca (NASCIMENTO, 2000).

2.3 REGIÃO DE JORDÃO

O alvo Jordão foi definido com esse nome em referência à vila de Jordão, distante aproximadamente 10 km da cidade de Sobral. Os afloramentos localizam-se ao longo da estrada que dá acesso a esse lugarejo, a oeste da cidade de Sobral, de coordenadas UTM 342209/9592650, e segundo informações dos relatórios do Estágio de Campo Cariré, realizado em 1989, esses litotipos compõem ainda os serrotes Bico Fino e Puba, naquela região.

Essa rocha flanqueia o granito Meruoca na porção sudeste, e segundo Nascimento (2000) forma derrames de 2 km de extensão por 300 m de largura, com camadas na direção NE-SW, são concordantes às estruturas regionais. Nesta localidade o contexto tectônico das falhas colocou o riolito, com espessura de 100 m, entre este granito e conglomerados da Formação Aprazível. A intrusão desse riolito está relacionada a um episódio vulcânico fissural posterior a colocação do granito Meruoca, que tem também como representantes deste evento basaltos, riolitos, andesitos e rochas vulcanoclásticas da chamada suíte Parapuí. (Gorayeb et al. 1988).

O riolito Jordão é descrito genericamente como uma rocha de cor cinza com tonalidade avermelhada, leucocrática, granulação fina, com fenocristais de feldspato alcalino e quartzo de até 3 mm dispersos, e por vezes formando agregados cristalinos em uma matriz afanítica, com óxidos de ferro, além de estrutura de fluxo e amígdalas preenchidas (Estágio Cariré, 1988).

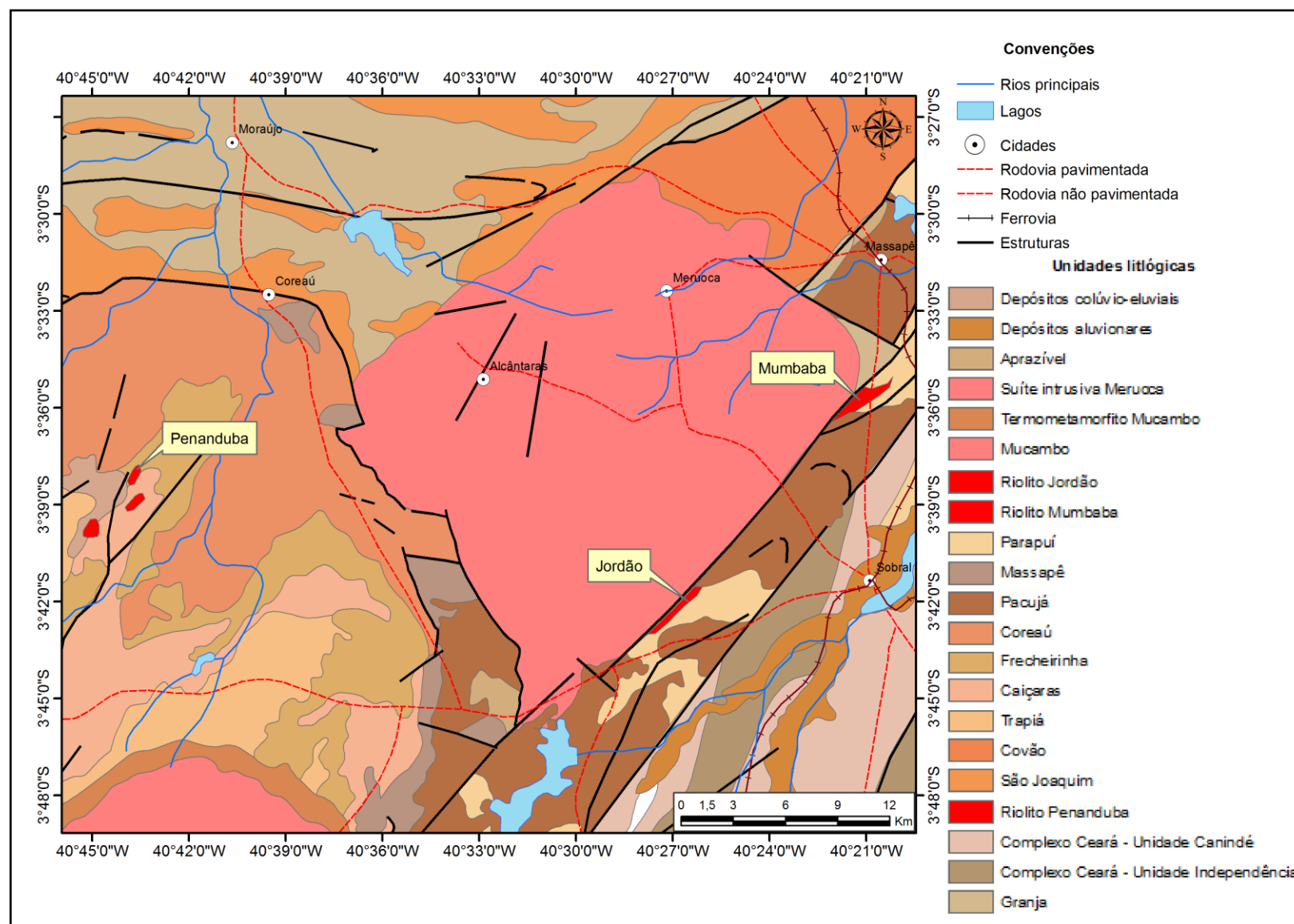


Figura 06: Mapa Geológico e das ocorrências dos alvos de riolitos estudados. Modificado de CPRM.

3 PETROGRAFIA

Neste trabalho foram descritas três amostras representativas dos riolitos Penanduba (FRE-02), Mumbaba (SOB-02) e Jordão (SOB-05), com o intuito de definir seus aspectos mineralógicos e texturais.

3.1 RIOLITO PENANDUBA (FRE-02)

A rocha representativa do Riolito Penanduba que foi estudada possui cor marrom com tonalidade avermelhada (Figura 07 A), leucocrática (M=5), com textura porfírica e matriz de granulação fina. Microscopicamente, apresenta fenocristais de quartzo, microclina e plagioclásio, envolvidos por uma matriz microcristalina, felsítica, constituída essencialmente por quartzo e feldspato, com sericita e carbonatos disseminados. Observa-se ainda, estruturas de fluxo evidenciada pela presença de pórfiros de feldspatos e quartzo, que são englobados por essa matriz (Figura 07 B-D).

Os fenocristais de feldspato alcalino são pertíticos, com formas subédricas e maclamento do tipo “xadrez” (Figura 07 B). Geralmente apresentam textura de exsolução, representadas por lamelas de pertita em forma de filetes ou manchas (Figura 07 C), e texturas de substituição, com desenvolvimento de albita tipo tabuleiro de xadrez (Figura 07 E). Comumente estes cristais mostram-se alterados, com transformações para sericita/muscovita, carbonato e argilominerais.

O quartzo aparece como fenocristais com formas subédricas, bipiramidais, com feições primárias e corrosão magmática. Feições de deformação como estiramento e amendoamento estão também presente, além de forte extinção ondulante e fraturamento intenso. Localmente esse mineral forma intercrescimentos granofíricos com o feldspato alcalino (Figura 07 F).

O plagioclásio apresenta-se como fenocristal, com fácies subédricas, hábito tabular, formando raros cristais pórfiros. Apresenta maclamento polissintético, e comumente mostra-se alterado, com transformações para sericita/muscovita e carbonato (Figura 07 H).

Como fases acessórias, figuram principalmente zircão e minerais opacos, possivelmente magnetita (Figura 07 G).

Essas observações permitiram classificar essa rocha como um Riolito Porfírico Milonitizado.

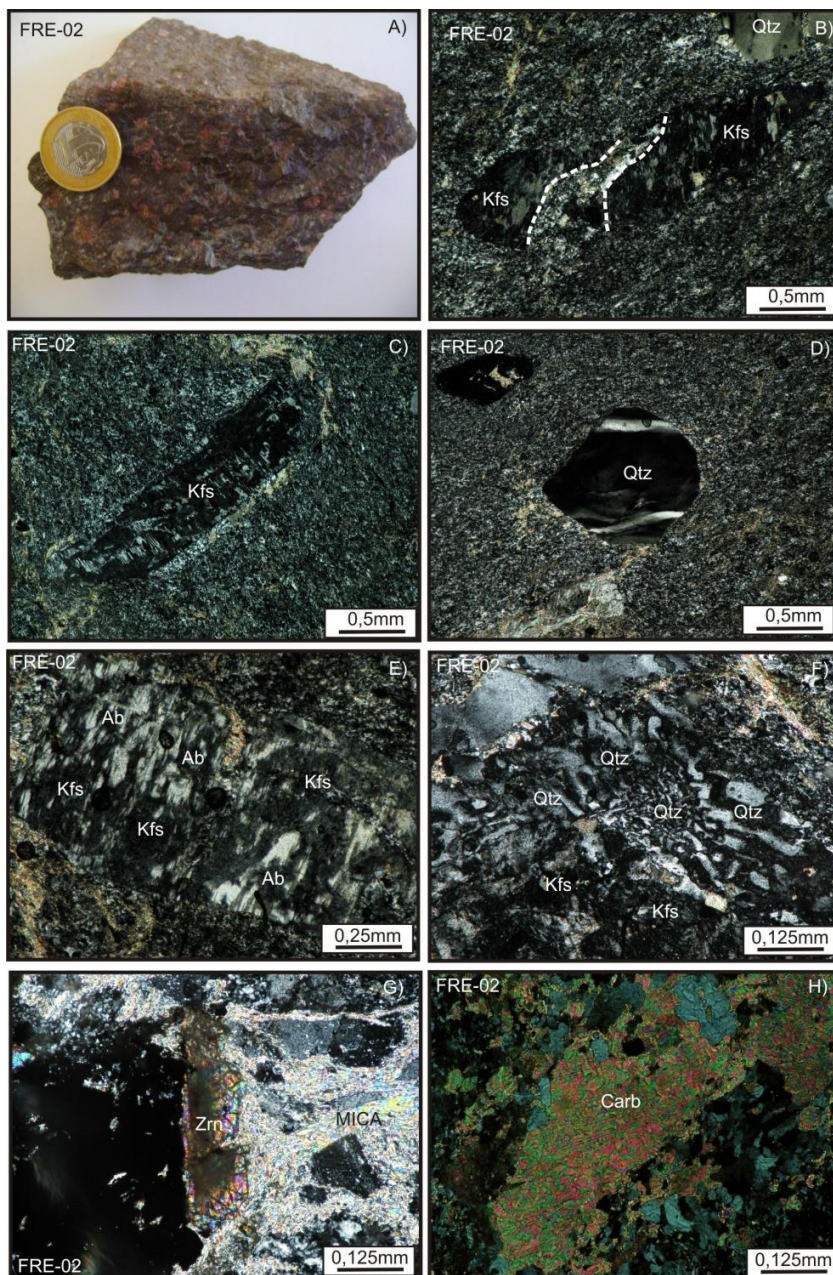


Figura 07: Aspectos texturais do Riolito Penanduba. A) riolito marrom com tons avermelhados. B-C) Feldspato alcalino perítico. D) Cristal de quartzo com hábito bipiramidal. E) Substituição do feldspato alcalino por albita. F) Intercrescimento granofírico. G-H) Minerais acessórios.

Simbologia: Kretz (1983)

3.2 RIOLITO MUMBABA

Para o Riolito Mumbaba foi feito o estudo em uma lâmina representativa que descreveu este como uma rocha porfirítica, com matriz muito fina, de cor vermelha amarronzada (Figura 08 A). Ao microscópio essa rocha exhibe textura porfirítica com matriz felsítica (Figura 08 B). É composta essencialmente por quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. A matriz tem granulação muito fina, constituída predominantemente por quartzo e feldspato alcalino. Como fenocristal destaca-se principalmente o plagioclásio.

O plagioclásio apresenta-se como o mais abundante fenocristal, com hábito tabular, formas subédricas, euédricas e maclamento característico, desenvolvendo os tipos albita, albita-periclina e albita-carlsbad. Esse mineral encontra-se alterado principalmente para argilominerais, sericita, clorita e carbonato. (Figura 08 C-D-F).

Como fases acessórias aparecem principalmente, titanita, zircão, carbonato e minerais opacos (Figura 08 E).

As características observadas permitiram classificá-la como um Riolito Pórfiro.

3.3 RIOLITO JORDÃO

O estudo realizado no Riolito Jordão classificou-o como uma rocha de cor marron com tonalidade avermelhada (Figura 09 A). Microscopicamente exhibe textura porfirítica, com fenocristais de feldspato alcalino, quartzo e plagioclásio, envolvidos por uma matriz fina, quartzo-feldspática, de textura felsítica (Figura 09 B).

O feldspato alcalino aparece na forma de fenocristais subédricos e anédricos, apresentando maclamento característico. Localmente mostra intercrescimento pertítico, com desenvolvimento de lamelas de albita. Muito comumente acha-se alterado para argilominerais, o que proporciona um aspecto escurecido ou mosqueado (Figura 09 C).

O quartzo é encontrado na forma de agregados granulares preenchendo cavidades (Figura 09 D).

O plagioclásio é raramente encontrado, e ocorre na forma de cristais com hábito tabular e maclamento polissintético do tipo albita. Geralmente, os cristais acham-se alterados, com transformações para argilominerais, carbonato e epidoto (Figura 09 D-E-F).

Como fases acessórias encontram-se presente nessa rocha minerais opacos, possivelmente magnetita (Figuras 09 E).

Essa rocha foi classificada como um Riolito Pórfiro.

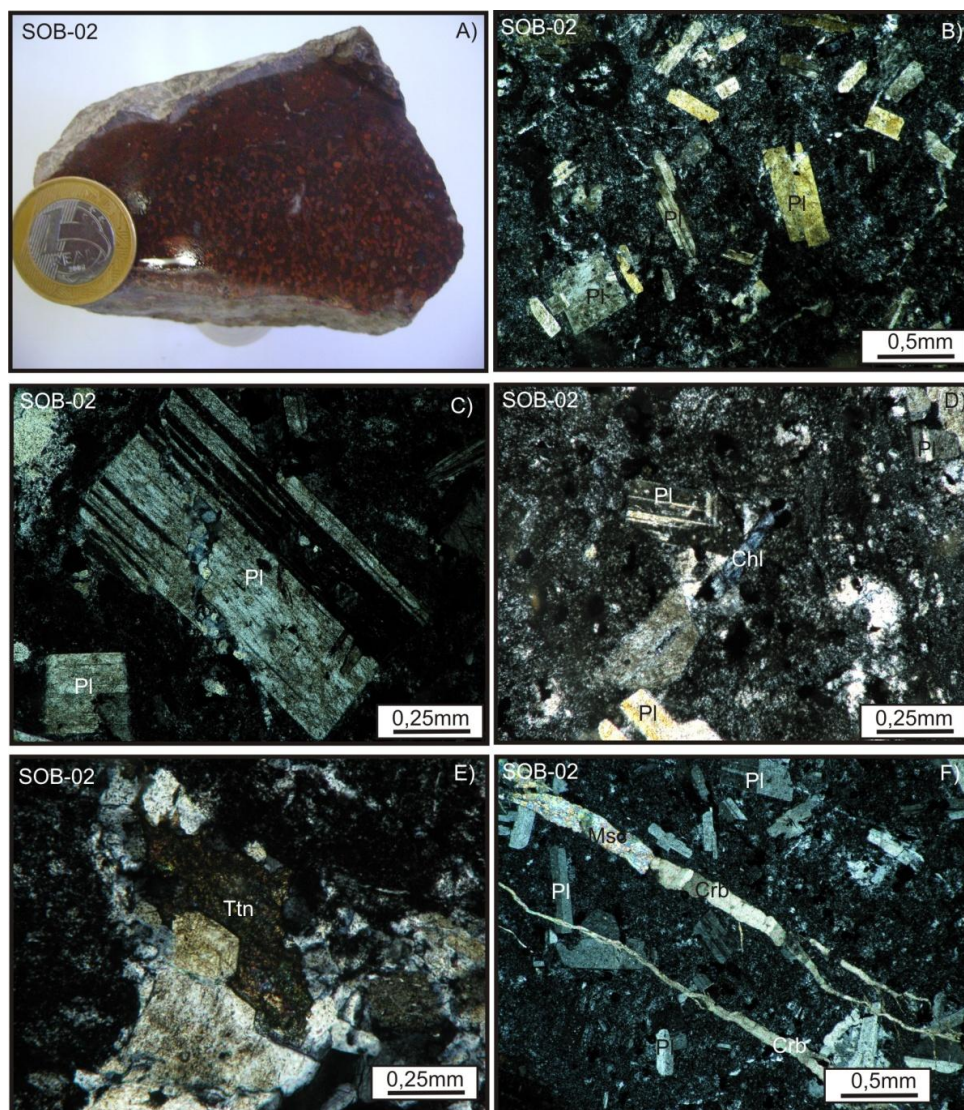


Figura 08: Aspectos texturais do Riolito Mumbaba. A) riolito marrom com tons avermelhados. B) Visão geral da rocha ao microscópio. C) Cristais tabulares de plagioclásio. D-E) Minerais Acessórios (Clorita e Titanita, respectivamente). F) Microvênulas preenchidas por muscovita e carbonato.

Simbologia: Kretz (1983)

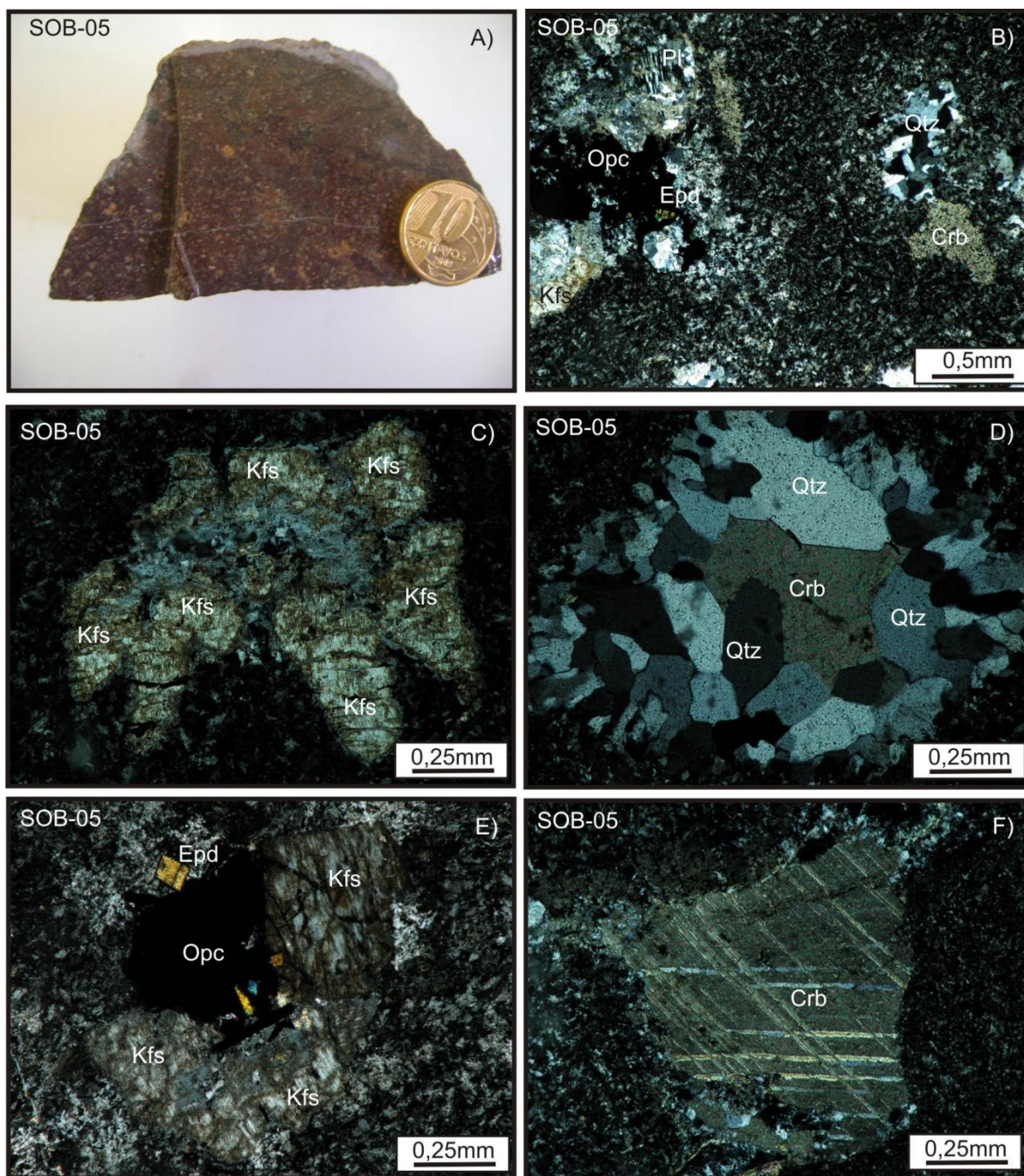


Figura 09: Aspectos texturais do Riolito Jordão. A) riolito marrom de tonalidade avermelhada. B) Aspecto geral ao microscópio. C) Cristal de feldspato com aspecto de corrosão. D) Cristais de quartzo preenchendo cavidades. E-F) Minerais acessórios.

Simbologia: Kretz (1983)

4 GEOQUÍMICA

Este capítulo tem como finalidade caracterizar os corpos de rochas (Penanduba, Mumbaba e Jordão) a partir dos dados geoquímicos. Para tanto foram feitas análises geoquímicas em amostras representativas desses corpos, os resultados analíticos foram usados na construção de diagramas apropriados. Os dados obtidos através da análise geoquímica estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Teores dos elementos maiores e menores (% peso) e elementos traços (ppm), em amostras representativas dos riolitos que ocorrem em Penanduba, Mumbaba e Jordão.

	PENANDUBA	MUMBABA	JORDÃO
	FRE-02	SOB-02	SOB-05
SiO ₂	75,34	71,67	69,26
TiO ₂	0,28	0,37	0,55
Al ₂ O ₃	11,66	12,13	14,33
Fe ₂ O ₃	0,31	0,43	0,36
FeO	2,86	3,91	3,31
MnO	0,03	0,04	0,03
MgO	0,1	0,1	0,84
CaO	0,75	0,77	0,92
Na ₂ O	2,59	1,41	3,81
K ₂ O	5,66	8,39	6,00
P ₂ O ₅	0,06	0,04	0,14
P.F.	0,7	1,07	1,0
Total	100,34	100,33	100,55
Ba	1371,6	4100,2	2036,4
Rb	191,6	283	141,6
Sr	102,4	85	112,7
Ta	1,3	0	1,3
Nb	21	37,4	28,99
Zr	442,5	776,4	440,7
Y	65,1	90	27,5
Th	31,1	13,1	24,4
U	3,8	14,1	3,1
Cr	0,002	68,7	0,003
Ni	20,1	79,9	20,2
V	11	176	30,3
K ₂ O/Na ₂ O	2,18	5,92	1,57
Sr/Ba	0,07	0,02	0,05

Essas rochas apresentam altos teores de SiO_2 , variando de aproximadamente 68 a 74 %; álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), entre 8 e 10%; Al_2O_3 em torno de 11 a 14%. Esses valores ratificam sua classificação no diagrama TAS (Total de Álcalis *versus* Sílica) de Cox et al. (1979) (Figura 10), que coloca os corpos Penanduba (FRE-02), Mumbaba (SOB-02) e Jordão (SOB-05) no campo dos riolitos. Destaca-se, no entanto, o teor mais elevado de sílica do riolito Penanduba em relação aos riolitos Mumbaba e Jordão, e os teores semelhantes de álcalis destes três corpos. No diagrama R1-R2 de De La Roche os riolitos estudados situam-se na transição entre riolitos e álcali riolitos (Figura 11).

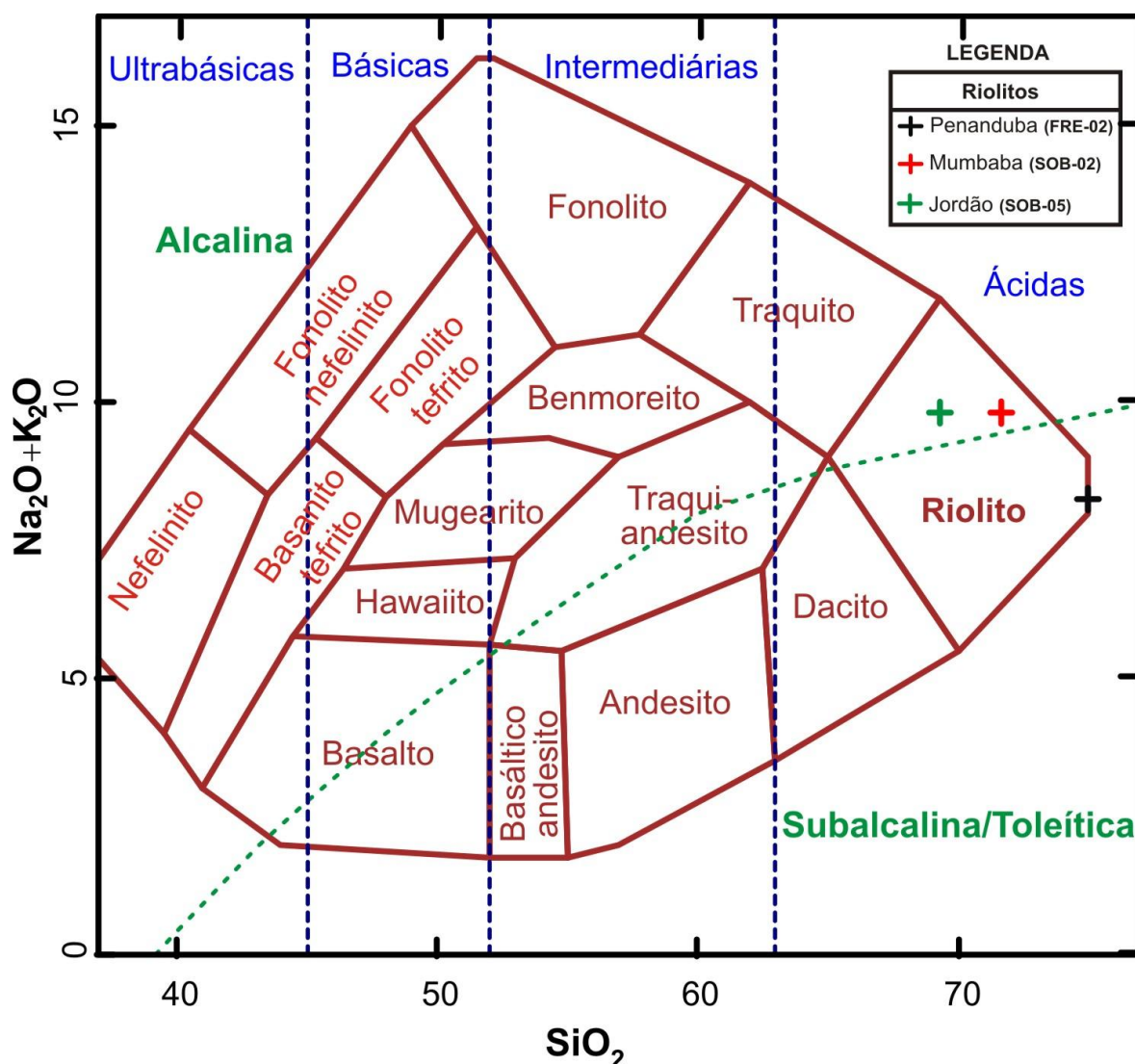


Figura 10: Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas, segundo Cox et al. (1979), que limita as amostras estudadas ao campo dos riolitos.

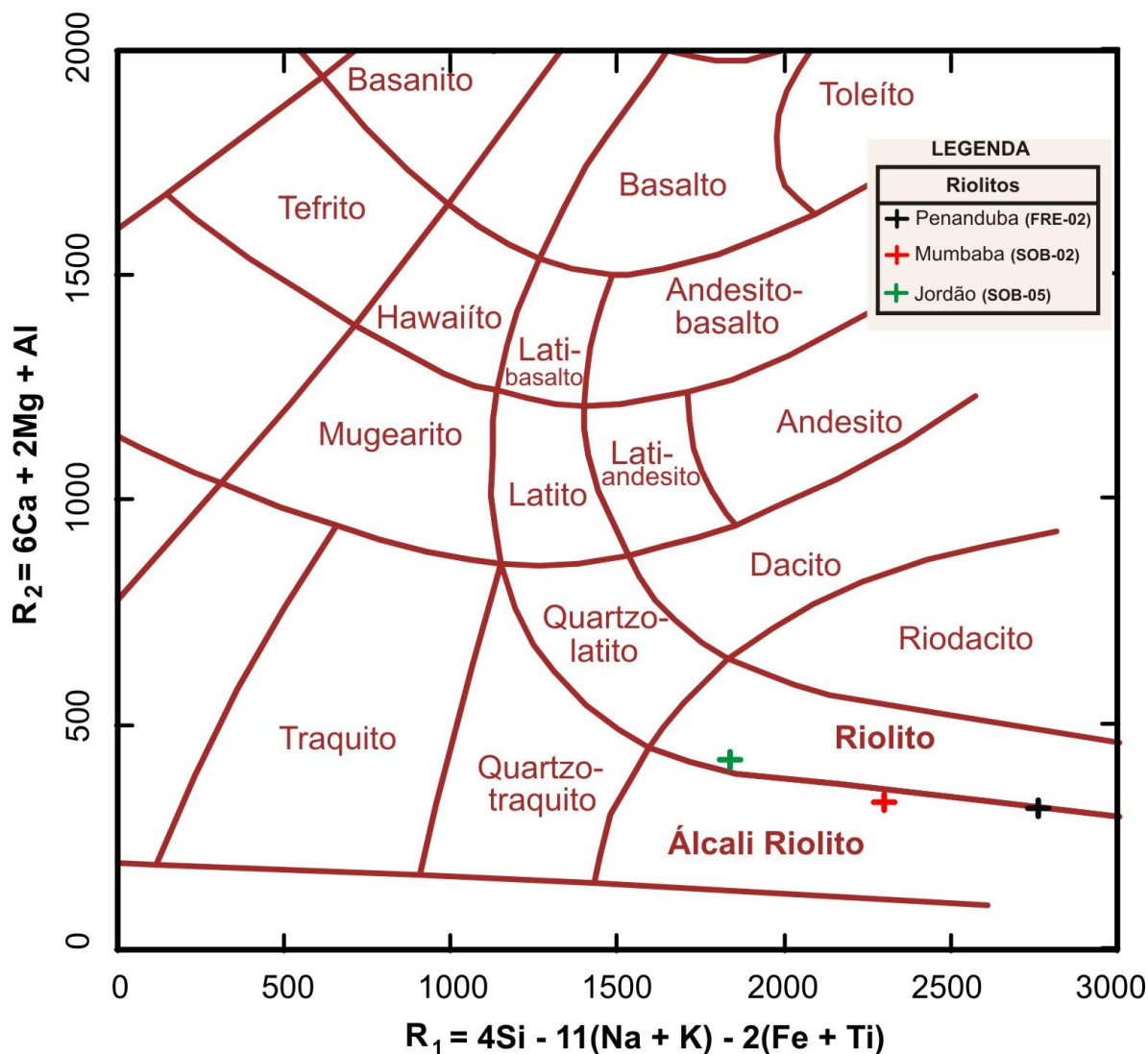


Figura 11: Diagrama R1-R2 de De La Roche (1980) de classificação de rochas vulcânicas.

Os demais óxidos dos elementos maiores (MgO , CaO , TiO_2 , MnO , P_2O_5), nessas amostras possuem valores muito baixos ($<1\%$).

No diagrama K_2O versus SiO_2 , as amostras de riolito exibiram em geral teores bastante elevados de K_2O , estando elas inseridas no campo da série shoshonítica, nesse diagrama destaca-se a amostra Mumbaba (SOB-02), que obteve um valor acima de 8%; já os alvos Jordão (SOB-05) e Penanduba (FRE-02), possuem valores inferiores a 6%, esta última também mostrou grande proximidade do limite com a série cálcio alcalina alto-K, como mostra a figura 12.

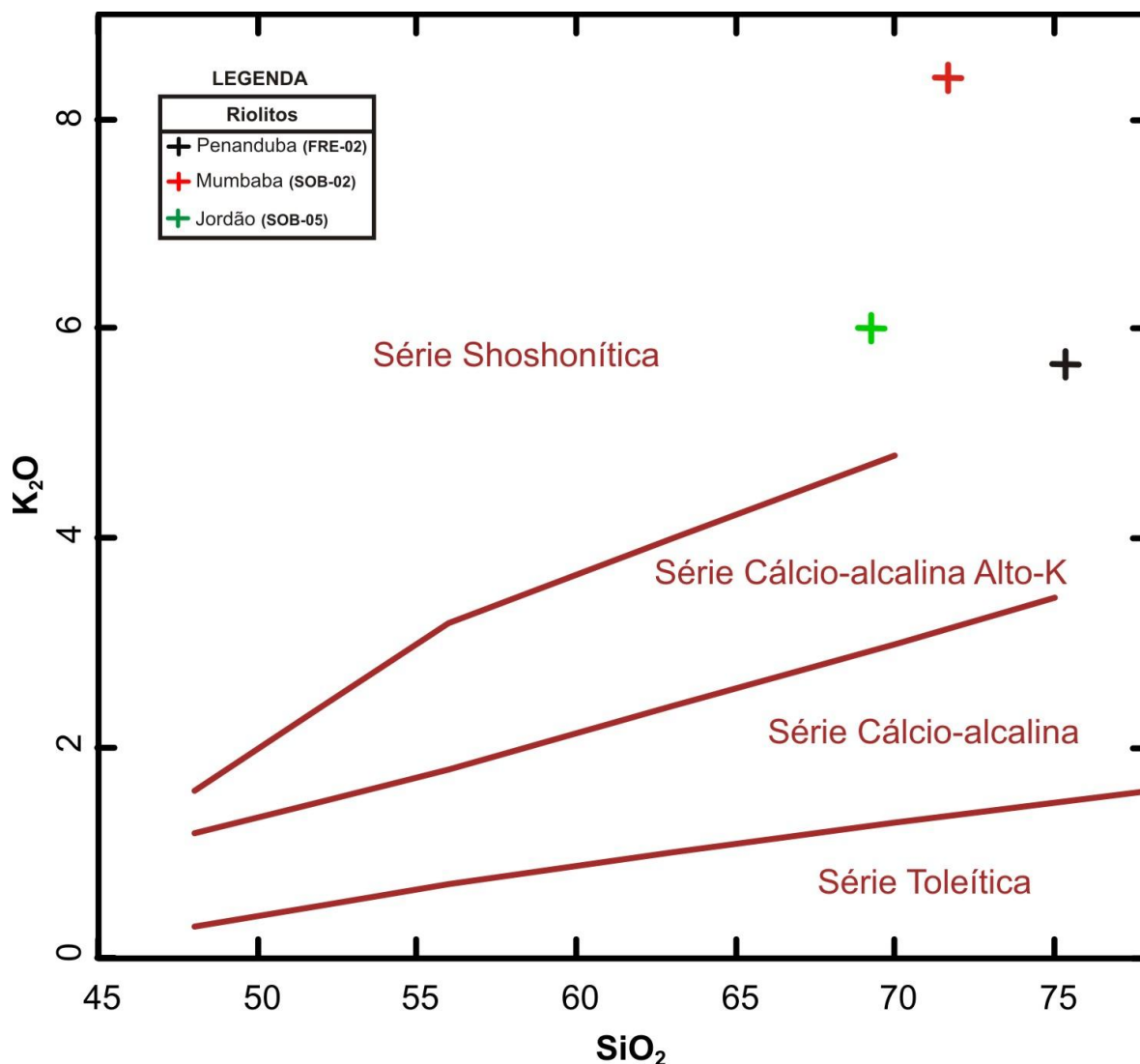


Figura 12: Diagrama de classificação K₂O versus SiO₂ de Pecerrillo & Taylor (1976) para as amostras estudadas.

Estas amostras também foram classificadas com respeito ao teor de A/NK (Alumínio/Sódio-Potássio) versus A/CNK (Alumínio/Cálcio-Sódio-Potássio), no diagrama de Pearce (1943) (Figura 13), esse diagrama revelou o caráter metaluminoso, sendo que os alvos Penanduba e Jordão têm comportamento muito semelhante, diferentemente do alvo Mumbaba.

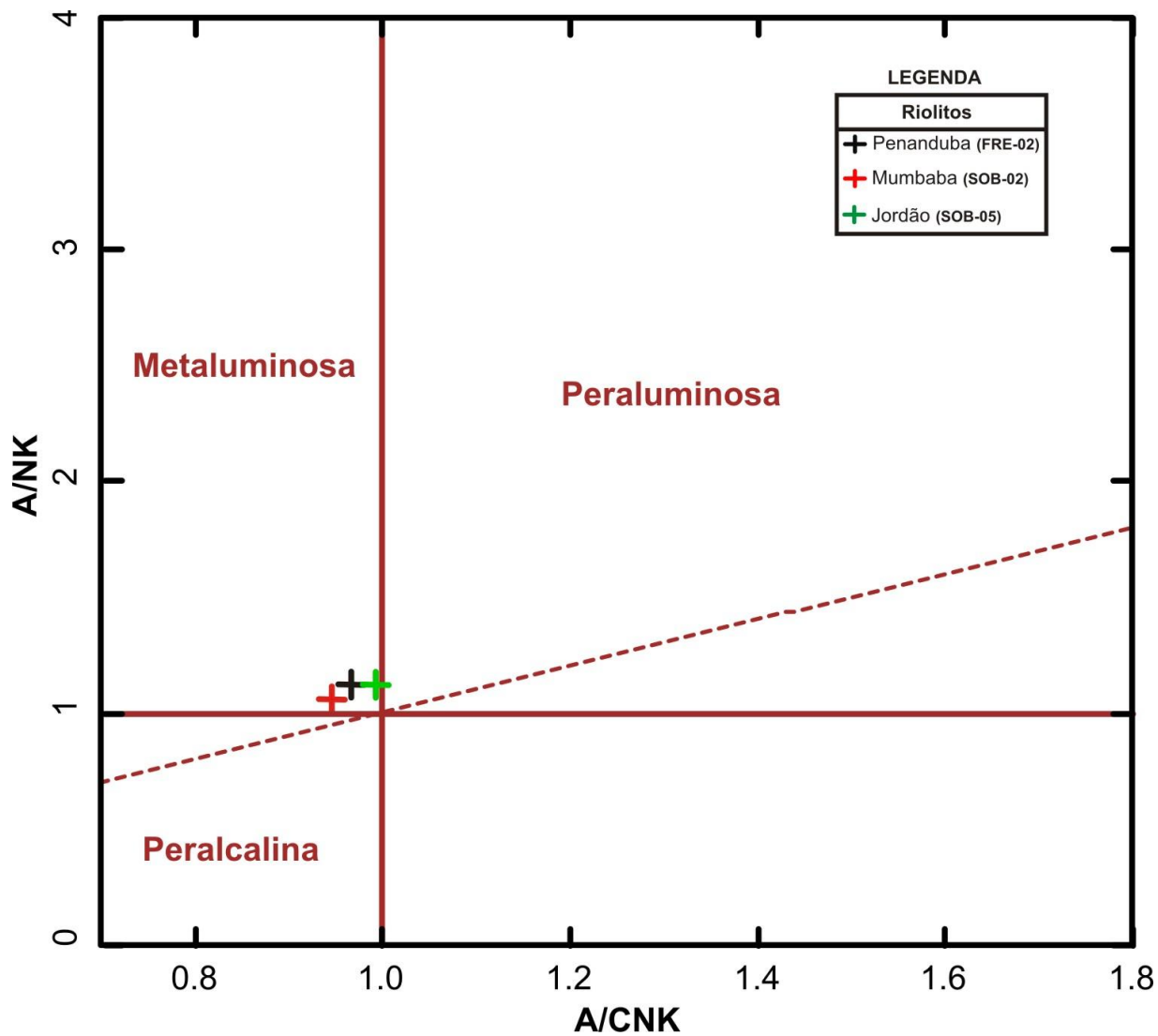


Figura 13: Diagrama de classificação nos teores de A/NK versus A/CNK de Shand (1943).

A utilização do diagrama binário K_2O versus Rb é conveniente para mostrar as diferenças entre essas rochas. Nesse diagrama é possível observar um enriquecimento do alvo Mumbaba (SOB-02) nos teores K_2O e Rb em relação aos alvos Penanduba (FRE-02) e Jordão (SOB-05) (Figura 14).

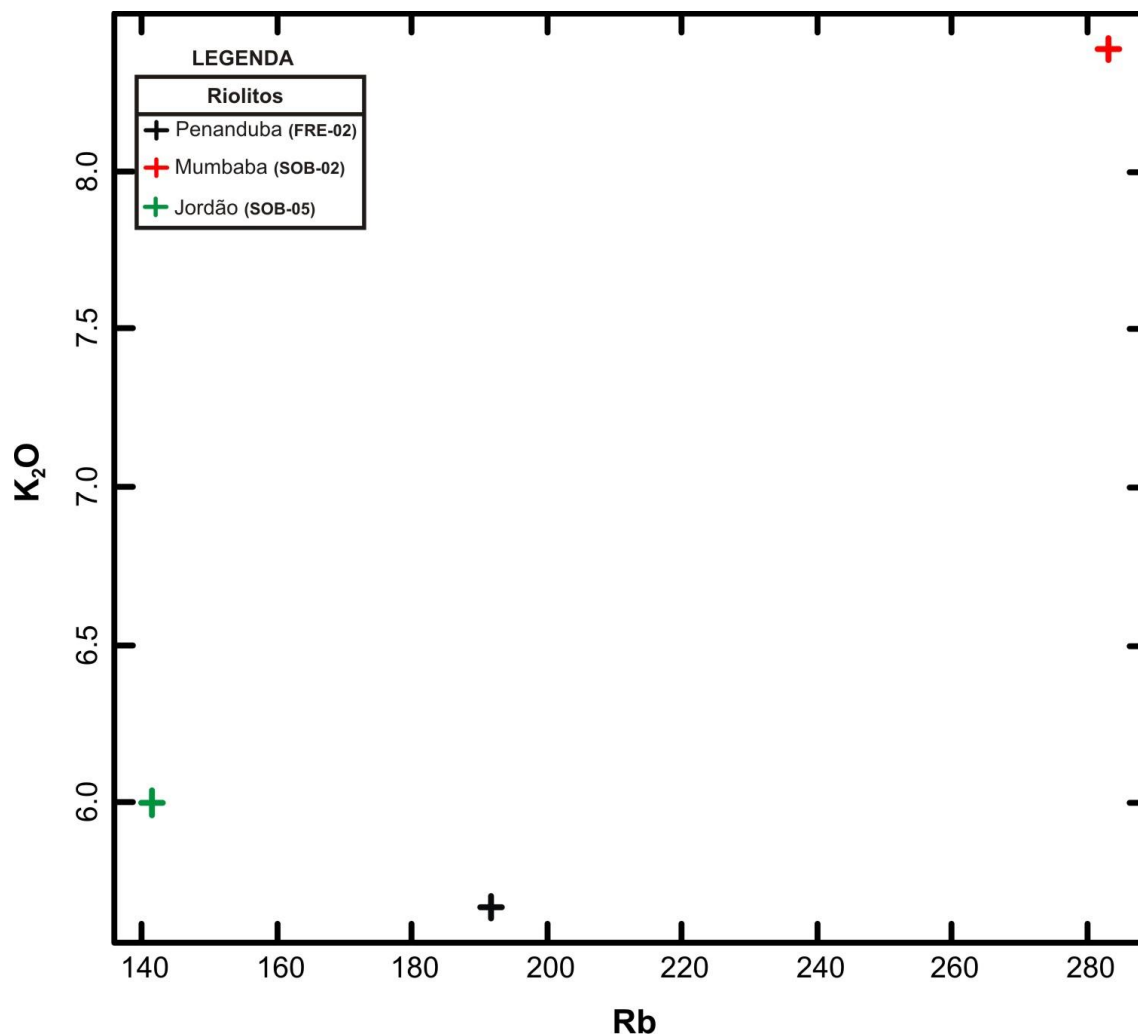


Figura 14: Diagrama binário K₂O x Rb.

Analisando os elementos traços da tabela, verifica-se que o alvo Mumbaba (SOB-02) mostra-se bastante enriquecido para Ba (4100 ppm), Rb (283 ppm), Zr (776 ppm), U (14 ppm), Cr (68 ppm), Ni (79 ppm) e V (175 ppm), e empobrecido em Sr (84 ppm) e Th (13 ppm) em relação aos alvos Penanduba (FRE-02) e Jordão (SOB-05), que apresentam valores semelhantes. O diagrama Sr *versus* Ba ilustra bem essa diferença (Figura 15).

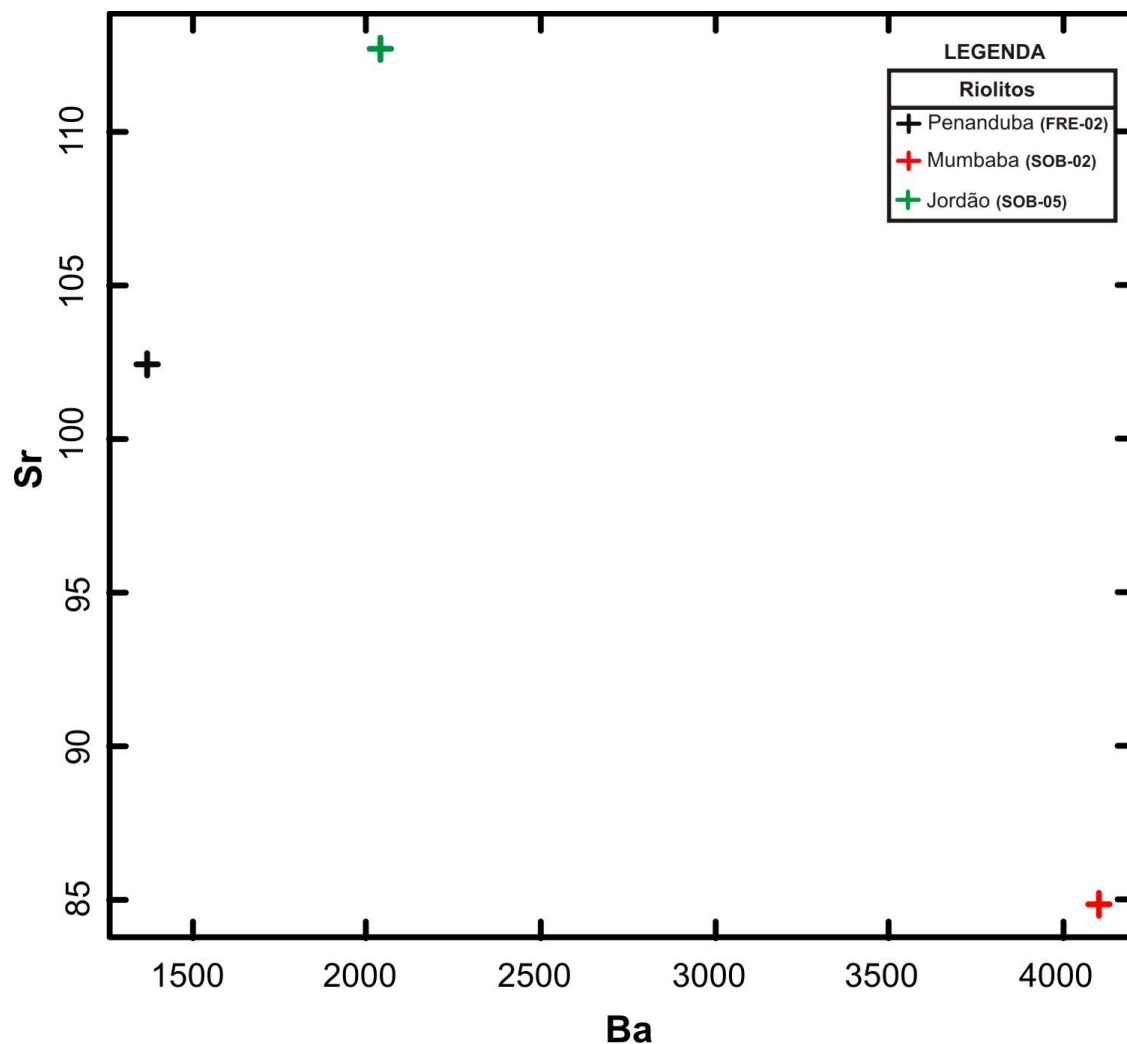


Figura 15: Diagrama binário Sr x Ba.

O diagrama de multielementos de Sun et al. 1980 (Figura 16), evidencia uma certa similaridade entre essas rochas através de um padrão de curvas entrelaçado, mas ressalta-se os altos valores de Ba, K e Zr para o alvo Mumbaba. Os baixos valores de Sr e Ti ficam bastante evidente nas curvas do diagrama, o que evidencia a pouca abundância desses elementos nas rochas estudadas.

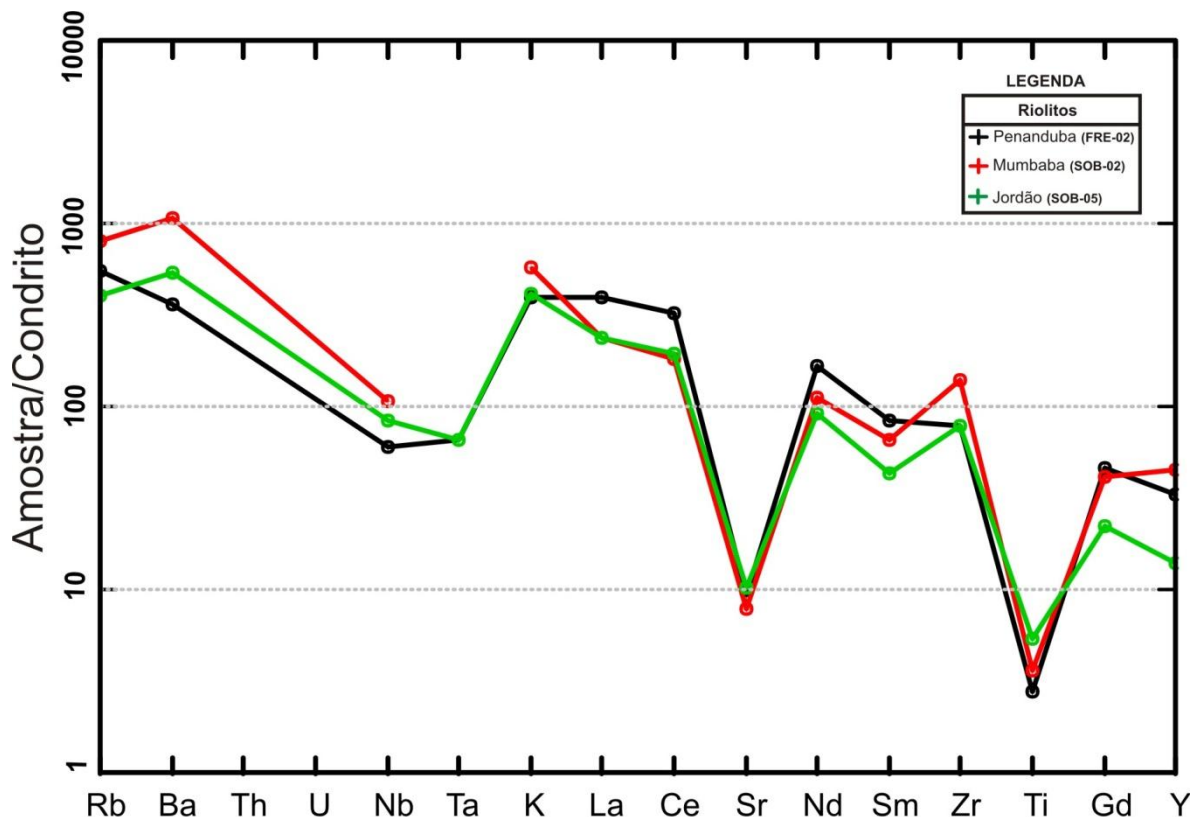


Figura 16: Diagrama de multielementos mostrando a disposição dessas rochas normalizados pelo padrão condrito de Sun et al. 1980.

Os elementos terras raras das três amostras analisadas estão representados na tabela 3, assim como as razões normalizadas destas rochas e dos granitos Mucambo e Meruoca. Nesta tabela observa-se que os riolitos apresentam padrões similares dos ETR, observados pelos valores da razão (La_N/Yb_N). Os ETR Leves que compõem o início da reta apresentam uma inclinação de curva bastante acentuada, evidenciada pela razão (La_N/Sm_N), o que implica em um maior fracionamento nesses elementos. Por sua vez, os ETR Pesados mostram um padrão mais horizontalizado para os riolitos, que através da razão (Gd_N/Yb_N), o que indica que esses elementos possuem menor fracionamento.

Tabela 3: Teores dos ETR (ppm), em amostras representativas dos riolitos que ocorrem em Penanduba, Mumbaba e Jordão. E as razões desses riolitos, normalizados pelo padrão condritico de Nakamura (1974).

	PENANDUBA	MUMBABA	JORDÃO
	FRE-02	SOB-02	SOB-05
La	124	74,9	75,2
Ce	264,3	147,6	156,9
Pr	26,8	0	15,7
Nd	99,9	67,2	55
Sm	15,9	12,4	8,3
Eu	1,8	1,6	1,2
Gd	12,9	11,6	6,1
Tb	2,0	0	1,0
Dy	11,2	12,5	5,1
Ho	2,3	3,0	1,0
Er	6,6	8,0	2,5
Tm	0,9	0	0,4
Yb	6,1	8,2	2,4
Lu	0,9	1,2	0,4
La _N /Sm _N	4,8	3,7	5,6
La _N /Yb _N	13,5	6,1	21,1
Gd _N /Yb _N	1,7	1,1	2
Eu/Eu*	0,38	0,42	0,52

Tabela 4 – Intervalo dos valores das razões La_N/Sm_N, La_N/Yb_N e Gd_N/Yb_N e da anomalia de Eu para os Granitos Mucambo e Meruoca.

	GRANITO MUCAMBO	GRANITO MERUOCA
La _N /Sm _N	3,6 - 2,9	3,4 - 3,2
La _N /Yb _N	13,0 - 7,9	16,3 - 5,7
Gd _N /Yb _N	2,5 - 1,8	2,9 - 1,3
Eu/Eu*	0,15 - 0,44	0,34 - 0,17

Fonte: Sial *et al.* 1980.

A Figura 17 ilustra comportamento do padrão dos ETR no diagrama, ilustrando a acentuação da curva nos ETR Leves, com a anomalia de Eu bem estabelecida e, a

partir de onde se observa uma horizontalidade da curva. O riolito Jordão mostra-se bem mais empobrecido nos ETR Pesados em relação aos riolitos Penanduba e Mumbaba.

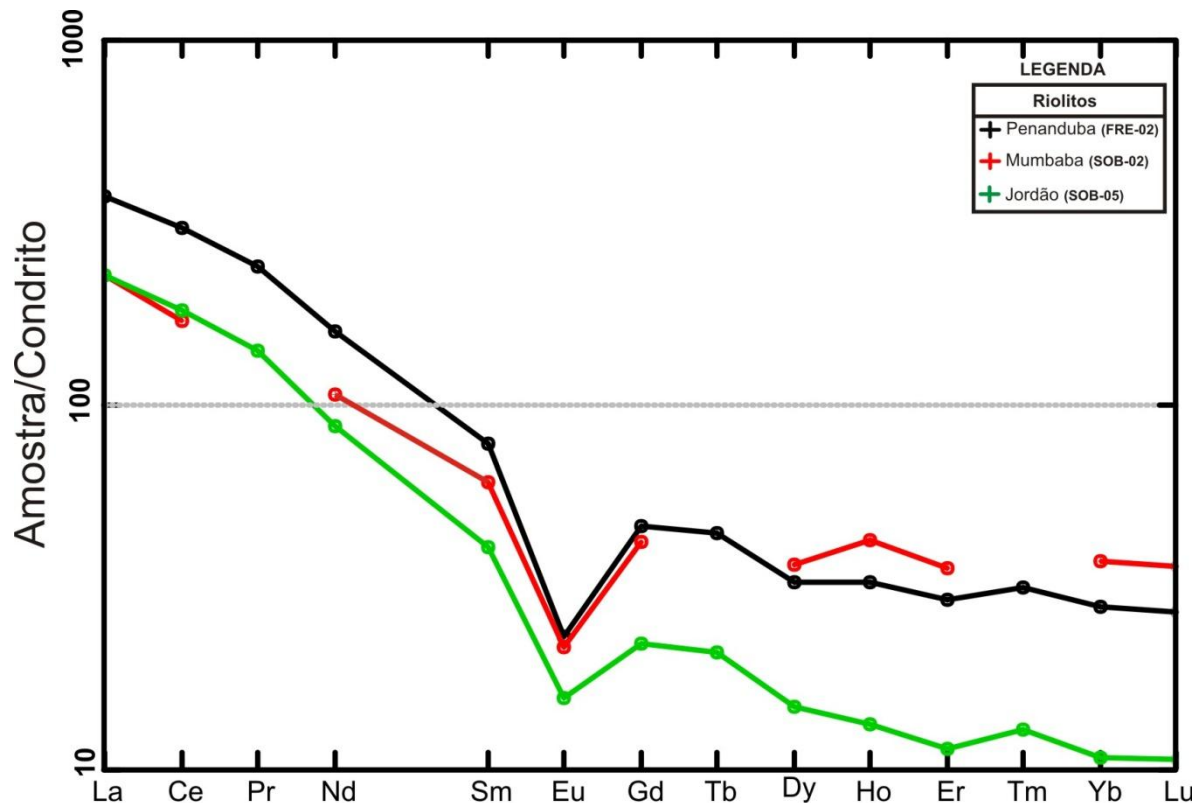


Figura 17: Diagrama dos elementos terras raras para os riolitos Penanduba, Mumbaba e Jordão, normalizados pelo padrão condrítico de Nakamura (1974).

Os riolitos Mumbaba (SOB-02) e Jordão (SOB-05), são corpos de rocha que estão localizados nos flancos do Granito Meruoca, por isso acredita-se que essas rochas estão inseridas no mesmo contexto magmático que deu origem a Suíte Meruoca. Dessa mesma suíte fazem parte diversos corpos graníticos, dentre eles o Granito Mucambo, que é um corpo granítico de grande expressão na região. Dessa forma, foi feita uma análise comparativa entre os padrões de ETR das rochas estudadas com aqueles dos granitos Meruoca e Mucambo, utilizando os dados de ETR obtidos por Sial (1980).

Para o granito Meruoca, os valores máximos e mínimos, permitiram a construção de um envoltório que será utilizado para a comparação. A figura 18

mostra o resultado comparativo, evidenciando o maior enriquecimento em ETR para o granito Meruoca em relação aos riolitos.

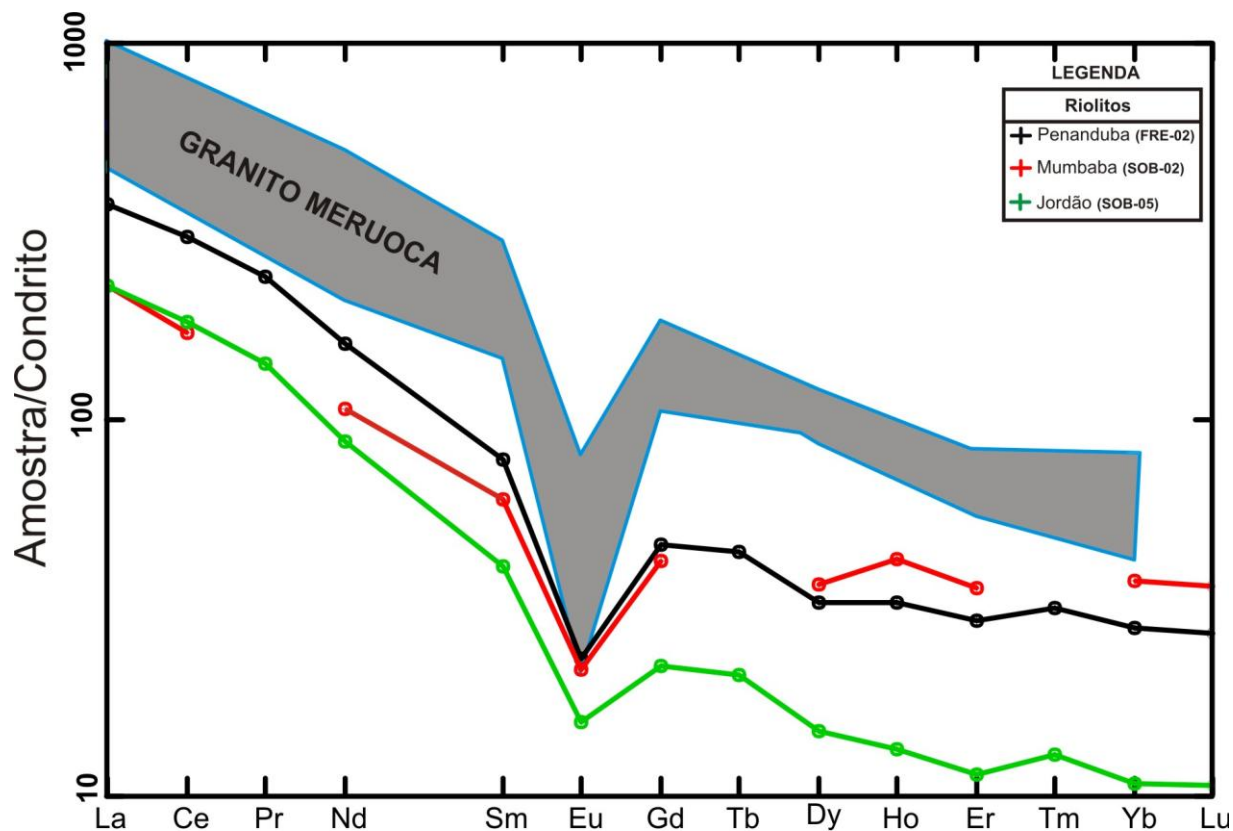


Figura 18: Diagrama de elementos terras raras comparando o padrão do Granito Meruoca com aqueles dos riolitos.

Também foi feita uma análise comparativa utilizando os mesmos princípios para o Granito Mucambo, a construção de um envoltório com os valores máximos e mínimos dos ETR's para esse corpo, visando estabelecer se existem semelhanças no comportamento dos elementos. A figura 19 mostra essa relação.

O padrão de ETR dos granitos Mucambo e Meruoca quando comparados com os padrões dos riolitos Penanduba, Mumbaba e Jordão mostra que os granitos são mais enriquecidos em ETR do que os riolitos (figuras 18 e 19), como se observa pelo elevado teor de La nos granitos Mucambo (493-196) e Meruoca (330-153), em relação aos riolitos Penanduba (124), Mumbaba (74,9) e Jordão (75,2). O enriquecimento de ETR nos granitos pode estar ligado ao fracionamento magmático

devido ao fato deles serem rochas de ambiente plutônico. Apesar desse enriquecimento, os padrões de ETR dos granitos e dos riolitos mostram certa similaridade, como pode ser observado pelas razões (La_N/Yb_N) , (La_N/Sm_N) e (Gd_N/Yb_N) . Os valores da razão La_N/Yb_N para os riolitos Penanduba (13,5) e Mumbaba (6,1) situam-se no intervalo de valores desta razão para os granitos Meruoca (5,7-16,3) e Mucambo (7,9-13). Por sua vez, o riolito Jordão (21,1) mostra um maior fracionamento entre os ETR-Leves e –Pesados (Tabelas 3 e 4). Em termos do fracionamento dos ETR-Leves, indicado pela razão La_N/Sm_N , esse padrão de comportamento se mantém. Os valores da razão La_N/Sm_N para os riolitos Penanduba (4,8) e Mumbaba (3,7) situam-se no intervalo de valores desta razão para os granitos Meruoca (3,6-2,9) e Mucambo (3,2-3,3), com o riolito Jordão (5,6) apresentando também, um maior fracionamento entre os ETR-Leves (Tabelas 3 e 4). Quanto ao fracionamento dos ETR-Pesados, estimado pelos valores da razão Gd_N/Yb_N , verifica-se que os granitos Meruoca (1,3-2,9) e Mucambo (1,8-2,5) tem um padrão de fracionamento similar àqueles dos riolitos Penanduba (1,6), Mumbaba (1,1) e Jordão (2,0). Finalmente, os valores de anomalia de Eu para os granitos, Mucambo (0,15-0,44) e Meruoca (0,17-0,34), mostram que são similares àqueles dos riolitos, Penanduba (0,38), Mumbaba (0,42) e Jordão (0,52), embora os granitos mostrem valores mais acentuados dessa anomalia (Tabelas 3 e 4).

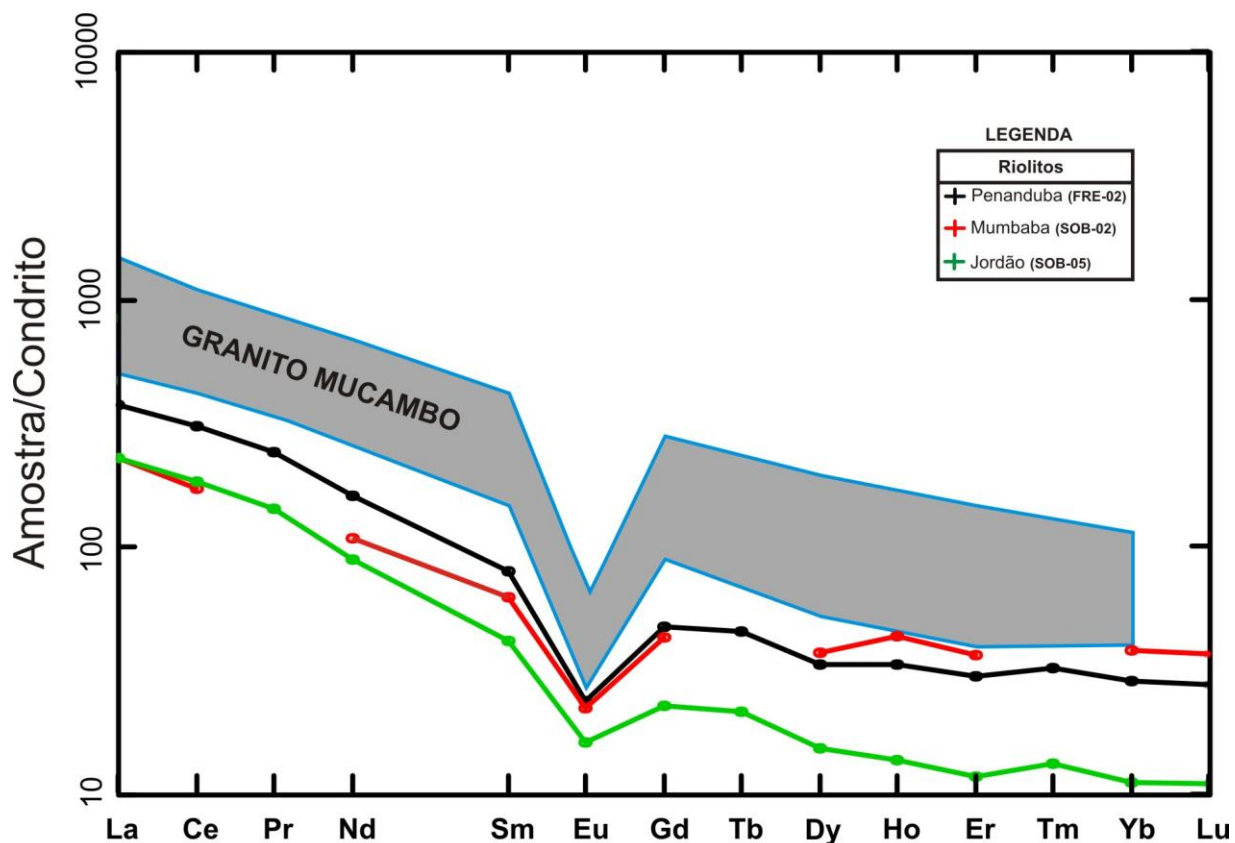


Figura 19: Diagrama de elementos terras raras comparando o padrão do Granito Mucambo e os riolitos.

Diante dos dados apresentados acima é possível dizer que os riolitos Penanduba, Mumbaba e Jordão, ainda que contenham ligeiras diferenças nos teores de alguns elementos traços, como Ba e Rb, pode-se afirmar que essas rochas são geoquimicamente similares. O comportamento do padrão dos ETR dessas rochas também é um bom parâmetro na ratificação dessas afirmações, uma vez que, a curva desenhada com os dados desses riolitos, exprimem essa similaridade.

O comportamento dos ETR dos riolitos Penanduba, Mumbaba e Jordão, quando comparados ao padrão de ETR dos corpos graníticos Mucambo e Meruoca, mostrou, que apesar de haver um maior enriquecimento desses elementos nos granitos o padrão desses dois grupos de rochas é muito similar, o que pode sugerir que o magmatismo gerador desses corpos graníticos, está fortemente ligado ao evento magmático gerador desses riolitos.

O ambiente geotectônico dos riolitos foi investigado com base em diagramas originalmente utilizados para rochas graníticas uma vez que riolitos são equivalentes vulcânicos de granitos. Nos diagramas de discriminação de ambientes geotectônicos de Pearce (1985), figura 20, os riolitos plotaram no campo dos granitos intraplaca, com exceção do diagrama do Rb *versus* Ta+Yb, que plotou o riolito Jordão no campo dos granitos de arcos vulcânicos (Figura 20 B). No diagrama R1 – R2 de Batchelor e Bowden (1985), o riolito Mumbaba plotou no campo dos granitos anorogênicos, e os riolitos Penanduba e Jordão no limite entre os campos dos granitos anorogênico e de orogenia final (Figura 21).

Os resultados obtidos com esses diagramas também podem ser utilizados para concluir que os riolitos Penanduba, Mumbaba e Jordão são corpos com características similares relacionados aos granitos de ambiente intraplaca anorogênicos.

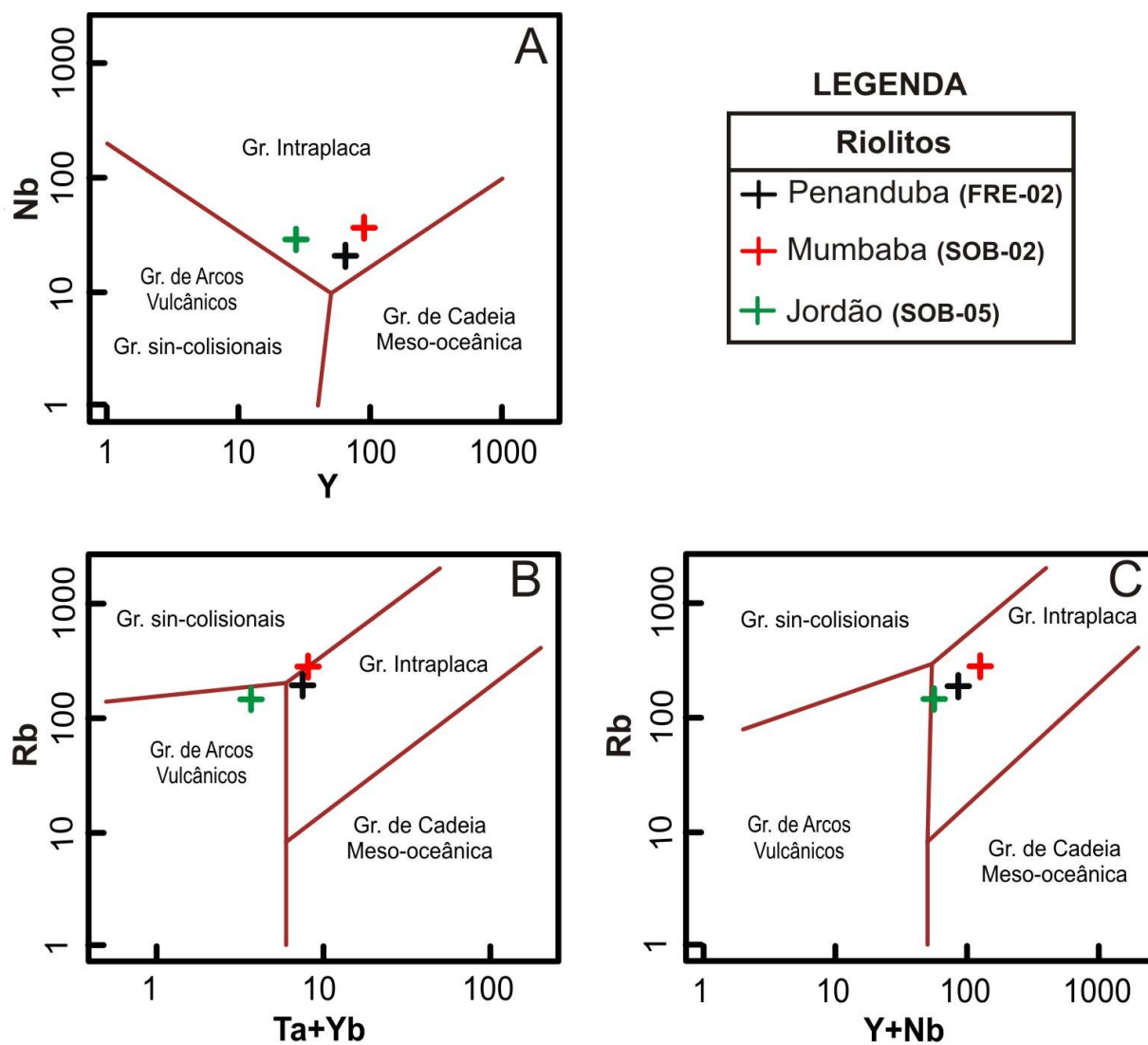


Figura 20: Diagramas geotectônicos de Pearce (1985), que sugerem que o magmatismo riolítico é similar ao magmatismo granítico intraplaca.

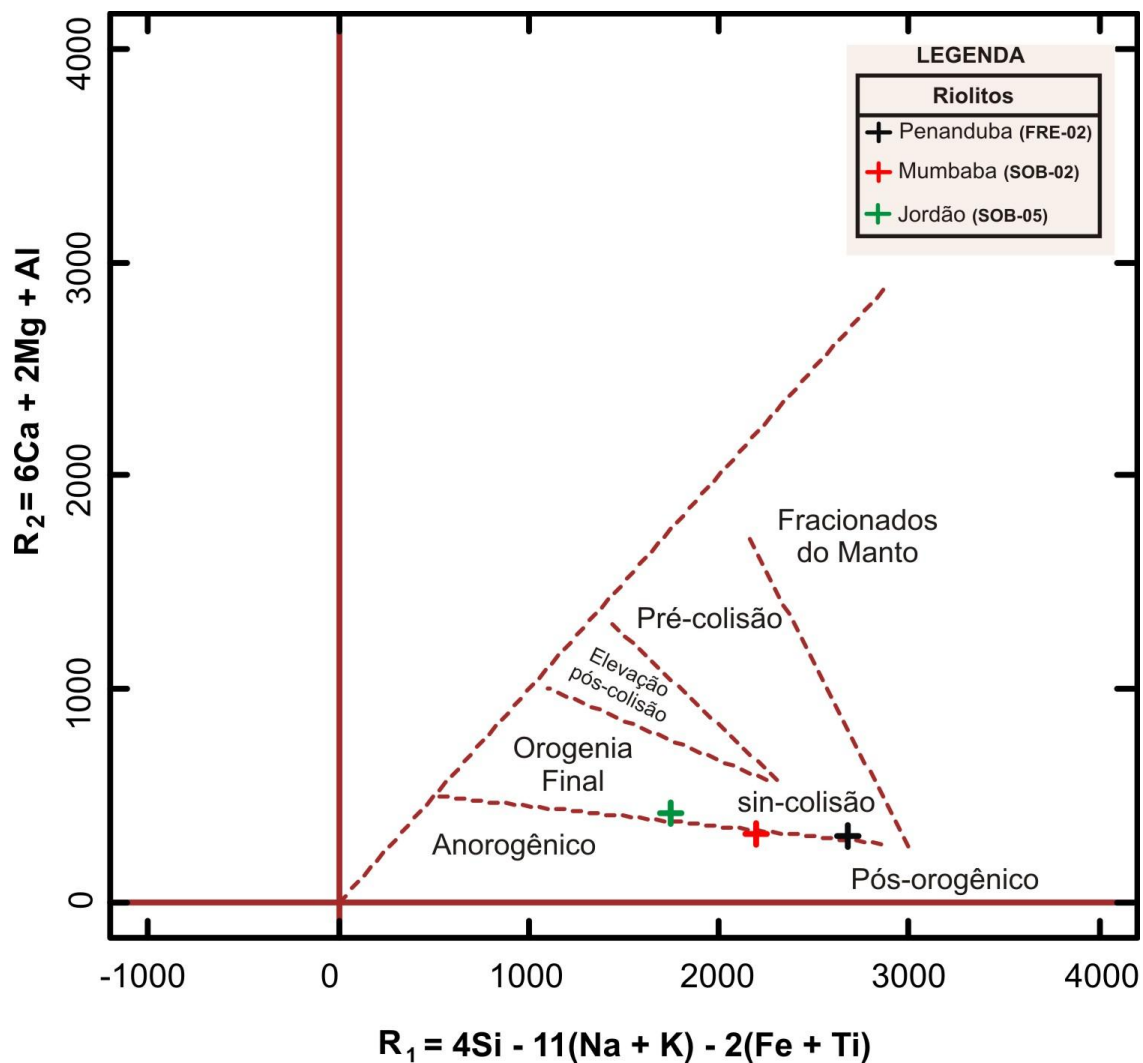


Figura 21: Diagrama R1-R2 de Batchelor e Bowden (1985) que classifica as rochas como de ambientes de granitos anorogênico e de orogênia final.

5 GEOCRONOLOGIA

Neste capítulo serão discutidos os dados geocronológicos obtidos pelo método de evaporação de Pb em cristais de zircão, visando o melhoramento do posicionamento estratigráfico desses corpos (riolitos), e das encaixantes.

Foram utilizadas para datação duas amostras de riolitos, uma referente ao corpo de Mumbaba (SOB-02), e outra ao corpo de Jordão (SOB-05). Para o riolito Penanduba será aqui adotada como referência a idade de 1,78 Ga obtida pelo método U-Pb, em zircão por Dos Santos (1999).

5.1 RIOLITO MUMBABA

Cristais de zircão só foram encontrados na fração de 75-125 mm. Como são cristais muito pequenos, as tentativas de datação com monocristais não deram resultados. Em função disso, foram utilizados grupos de 5 cristais para a análise isotópica. Ao todo, foram realizadas 12 tentativas de análises mas, em apenas 5 delas foi possível obter algum resultado (tabela 4). No entanto, os dados obtidos revelaram valores elevados de Pb comum, evidenciados pela razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, o que implica em grandes correções da razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ que é usada para o cálculo da idade aparente. Segundo Costi et al. (2001), apenas as análises com valores da razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ abaixo de 0,0004 devem ser consideradas para o cálculo da idade aparente $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ pois, neste caso a correção é bem pequena. Dessa forma, apenas a idade de $1881,7 \pm 4,7$ Ma, fornecida pelos cristais reunidos na amostra SOB-02/01, atende este critério. As demais idades todas bem mais jovens, e com altíssimo grau de incerteza, fogem à este critério e, portanto, não devem ser consideradas. Apesar disso, chamamos atenção para a idade de $497,6 \pm 55,6$ Ma fornecida pelos cristais reunidos na amostra SOB-02/5. Esta análise, apresenta um valor da razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 0,0006 que é ligeiramente maior que o limite de 0,0004, e a idade calculada se superpõe nos limites dos erros analíticos com a idade de 523 ± 9 Ma obtida para o Granito Meruoca (ARCHANJO, 2009). Caso esta represente efetivamente a idade de colocação do Riolito Mumbaba, ela pode indicar uma contemporaneidade entre este riolito e o Granito Meruoca. Por outro lado a idade de

1881 Ma deve refletir a presença de cristais herdados de zircão entre os grãos usados para a datação.

Tabela 4: Resultados das análises Pb-Pb em zircão do riolito Mumbaba.

Zircão	Temp.	Razoes	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ
SOB02/1	1450	26/34	0,000226	0,000040	0,15379	0,00089	0,11509	0,00030	1881,7	4,7
SOB02/3	#1500	0/16	0,007774	0,000144	0,22147	0,08574	0,05355	0,02877	352,3	1213,9
SOB02/5	#1500	0/8	0,000681	0,000076	0,23176	0,00282	0,05715	0,00144	497,6	55,6
SOB02/9	#1450	0/24	0,002848	0,000613	0,27808	0,01622	0,04825	0,00416	111,8	203,5
	#1500	0/8	0,004613	0,000394	0,26091	0,01698	0,05174	0,00687	274,2	304,1
SOB02/10	#1550	0/40	0,000895	0,000034	0,22197	0,00557	0,05192	0,00164	282,3	72,1

5.2 RIOLITO JORDÃO

Para o corpo ígneo denominado de Riolito Jordão foram feitas 12 análises com quantidades variáveis (1-4) de cristais de zircão obtidos na fração 250-180 mm, uma vez que, foi somente neste intervalo que foi observado a presença desse mineral.

Para esta rocha, os resultados obtidos apontaram a predominância de cristais com idades Paleoproterozóica e Arqueanas, ou seja, idades que variam entre 2,3 e 2,6 Ga (tabela 5).

Tabela 5: Resultados das análises Pb-Pb em zircão do riolito Jordão.

Zircão	Temp.	Razoes	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$2s$	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	$2s$	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	$2s$	Idade	$2s$
SOB05/1	1450	0/38	0,000379	0,000006	0,13240	0,00082	0,16507	0,00102	2508,5	10,4
SOB05/4	#1450	0/36	0,000978	0,000050	0,13817	0,00331	0,16429	0,00139	2500,6	14,3
	1500	8/36	0,000219	0,000050	0,17513	0,00183	0,17109	0,00077	2568,7	7,6
SOB05/6	#1450	0/40	0,000637	0,000033	0,12299	0,00160	0,15592	0,00056	2412,2	6,1
	*1500	0/32	0,000346	0,000011	0,13593	0,00182	0,16880	0,00112	2546,0	11,1
SOB05/8	#1450	0/32	0,000683	0,000036	0,15054	0,00374	0,16161	0,00148	2472,8	15,5
	1500	38/38	0,000234	0,000038	0,14710	0,00136	0,17001	0,00058	2558,2	5,7
SOB05/9	*1500	0/30	0,000290	0,000012	0,11314	0,00072	0,16454	0,00047	2503,2	4,8
	#1550	0/6	0,001930	0,000010	0,08954	0,00560	0,15350	0,00105	2385,5	11,6
SOB05/10	#1450	0/8	0,000728	0,000004	0,14241	0,00312	0,16406	0,00066	2498,4	6,8
SOB05/12	#1450	0/16	0,001023	0,000159	0,11542	0,00528	0,14929	0,00168	2338,2	19,2
	1450	34/34	0,000157	0,000009	0,16174	0,00041	0,17114	0,00049	2569,2	4,8
	#1450	0/8	0,001137	0,000012	0,15596	0,00172	0,15401	0,00096	2391,1	10,6

Esses resultados permitem dizer que os cristais de zircão encontrados e analisados dessa rocha, são cristais de zircão “herdados”, ou seja, cristais que foram formados no Paleoproterozóico-Arqueano, e que mais tarde passaram por um processo de reciclagem, onde foram incorporados pelo magma de composição granítica gerado pela fusão parcial da crosta mais antiga, que posteriormente originou este riolito.

Deve ser ressaltado que, embora tenham sido utilizadas quantidades variáveis de cristais de zircão (1 a 4 cristais por análise), os resultados analíticos mostraram grande regularidade e estão situados no intervalo entre 2,55 e 2,69 Ga (tabela 5). Esta pertinência nos valores pode sugerir que a fonte geradora desses cristais seja uma fonte singular.

Assim, esses dois corpos riolíticos (Mumbaba e Jordão) parecem ter sido oriundos de fontes magmáticas diferentes, uma vez que para o corpo de Jordão (SOB-05) as idades são predominantemente arqueanas, enquanto que para o riolito Mumbaba (SOB-02), não se observou zircão com essa idade. Outra possibilidade é que o material gerador dessas rochas tenha uma gênese comum, mas que ao longo do tempo tiveram histórias geológicas diferentes, provavelmente havendo contaminação por material crustal diferente.

Os resultados geocronológicos dos Riolitos Mumbaba e Jordão não foram suficientes para elucidar a questão sobre a idade de cristalização desses corpos, uma vez que, há uma grande quantidade de cristais de zircão “herdados” no Riolito Jordão, o que dificulta a obtenção de resultados conclusivos e confiáveis. Por outro lado, o diminuto tamanho dos cristais de zircão no Riolito Mumbaba não favorece a aplicação da técnica de evaporação de Pb para a datação. Considerando que a presença de cristais herdados de zircão é uma constante nesses riolitos, seria oportuno levantar a possibilidade de que idade de 1,78 Ga. obtida para o Riolito Penanduba (SANTOS, 1999), possa refletir uma idade obtida em cristais “herdados”. Diante desse fato sugere-se aqui, que sejam feitos estudos geocronológicos por métodos de acurácia mais refinada, com o intuito de minimizar possíveis dúvidas a respeito da idade de cristalização dessas rochas.

6 CONCLUSÕES

Os Riolitos Penanduba, Mumbaba e Jordão, em geral compõem serras e serrotes alongados na direção NE-SW, obedecendo às grandes estruturas geológicas da região. São rochas que foram classificadas com base nas observações petrográficas, aliada à classificação geoquímica, respectivamente como Álcali riolito pórfiro milonitizado, para o alvo Penanduba (FRE-02); Álcali riolito pórfiro, para os alvos Mumbaba (SOB-02) e Jordão (SOB-05).

Os elementos maiores apresentam certa variação, principalmente em relação ao teor de SiO_2 . Em relação ao teor de Al_2O_3 , essas rochas classificaram-se como metaluminosas. Já o teor de K_2O *versus* SiO_2 classificaram essas rochas na Série Shoshonítica. Os dados geoquímicos mostraram que essas rochas possuem comportamento semelhante para os elementos traço e para os ETR. A comparação dos padrões de ETR desses riolitos com aqueles dos corpos graníticos Mucambo e Meruoca, mostraram que os granitos, são bem mais enriquecidos nesses elementos em relação aos riolitos, mas o padrão de fracionamento é semelhante. Geotectonicamente, os dados geoquímicos permitem plotar essas rochas, principalmente, como correspondentes de granitos intraplaca ~~ou de arcos vulcânicos~~; e de ambiente de orogenia final ou anorogênico. Esses dados indicam também que os riolitos têm grande afinidade geoquímica entre si e com os granitos Mucambo e Meruoca, sugerindo a correlação desses granitos e dos riolitos, ao mesmo evento gerador.

Os resultados geocronológicos não permitiram uma interpretação mais elaborada para a história geológica dos alvos. A idade de 1,78 Ga. e idade T_{DM} de 2,31 com ϵ_{Nd} igual a -26,35 para o corpo vulcânico do Saquinho (Santos et al, 1999) foi adotada como representativa do Riolito Penanduba (FRE-02). Estes dados indicam que esse magmatismo foi gerado pela fusão parcial das rochas do embasamento.

Para o alvo Mumbaba (SOB-02), os resultados obtidos, não possibilitaram a definição da idade de cristalização desse corpo, uma vez que a idade, de aproximadamente $1,881 \pm 4,7$ Ga., deve estar refletindo a presença de cristais herdados de zircão. Por outro lado, a idade de 497 ± 55 Ma., apesar da presença de

Pb comum um pouco elevado, se assemelha a idade de 523 ± 9 Ma do Granito Meruoca.

Os resultados geocronológicos para o alvo Jordão (SOB-05), apontaram idades pertinentes entre 2,3 e 2,6 G.a, ou seja, idades do limite Arqueano-Paleoproterozóico, que permitem dizer que os cristãos de zircão dessa rocha são “herdados”, e passaram por um processo de reciclagem antes da cristalização da mesma, já que os processos geológicos atuantes na região, que possibilitaram a colocação do magma e cristalização do riolito são de idade Neoproterozóica.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. A. M.; GORAYEB, P. S. S.; HASUI, Y. Grábens eopaleozóicos do oeste cearense - Considerações sobre as sequências litoestratigráficas. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 15. Natal, 1993. **Atas**. Natal, Soc. Bras. Geol. Nuc. Nordeste, 1993. v. 13. p. 29 - 31.
- ABREU, F. A. M.; GORAYEB, P. S. S. Os terrenos granulíticos do NW cearense como indicadores de crustal stacking - wedge. In: CONG. BRAS. GEOL.; 39. Salvador. Bol. Res. Exp. ...Salvador, SBG, 1996.
- AIRES FILHO, B.; PICANÇO, A. P. **Relatório de Estágio de Campo II - Projeto Coreau**: Subárea VII. Eq. VII. Belém, 1988.
- ARCHANJO, C. A; LAUNEAU, P; HOLLANDA, M. H. B. M; MACEDO, J. W. P; LIU, D. Scattering of magnetic fabrics in the Cambrian alkaline granite of Meruoca (Ceará state, northeastern Brazil). **International Journal Earth Science**, v. 98, p. 1793-1807, 2009.
- ARTHAUD. M. H. **Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil)**: Da sedimentação à colisão cotinental brasileira. 2007. Tese (Doutorado em Geologia) – UnB, Brasília, 2007.
- BIZZI, L.A., SCHOBHENHAUS, C., GONÇALVES, J.H., BEARS, F.J., DELGADO, I.M., ABRAM, M.B., LEÃO NETO, R., MATOS, G.M.M., SANTOS, J.O.S. (Coords.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: Sistema de Informações Geográficas. Escala 1: 2.500.000. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brasília, 4 CD-ROM's, 2003.
- BRITO NEVES, B. B; VAN SCHMUS, W. R; DOS SANTOS, E. J; CAMPOS NETO, M. C; KOZUCH, M. O Evento Cariris Velho na Província Borborema: Integração de dados, implicações e perspectivas. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 25, n. 4, p. 279-296, 1995.
- BRITO NEVES, B.B.; DOS SANTOS, E.J.; VAN SCHMUS. Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil In: CORDANI, U.G; MILANI E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. - Tectonic Evolution of South America - 31ST INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, Rio de Janeiro, p. 151-182, 2000.

BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHUMUS, W. R., FETTER, A. H. Noroeste da África – Noroeste do Brasil (Província Borborema) Ensaio corporativo e problemas de correlação. **Revista do Instituto de Geociências. USP Sé. Cient.**, v. 1, p. 59-78, 2001.

BRITO NEVES, B.B.; PASSARELLI, C. R., BASEI, M. A.; SANTOS, E. J. Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos da Província Borborema. **Revista do Instituto de Geociências. USP Sé. Cient.**, v. 3, p. 25-38, 2003.

CAPUTO, M. V.; LIMA, E. C. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG-Núcleo RJ/ES, v.2, p.740-753, 1984.

COSTI, H. T; DALL'AGNOL, R; MOURA, C. A. V. Geology and Pb-Pb geochronology of Paleoproterozoic volcanic and granitic rocks of Pitinga Province, Amazonian Craton, Northern Brazil. **International Geology Review**, v. 42, n. 9, p. 832-849, 2000

DNIT-Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Mapa Rodoviário do Ceará**, 2002.

DOS SANTOS, T. J. S.; BRITO NEVES, B. B. A Província Borborema. In: ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de; HASUI, Yociteru (Org.). **O Pré-Cambriano do Brasil**. S. Paulo: Edgar Blücher, p. 123-186, 1984

DOS SANTOS, T. J. S. **Evolução Tectônica e Geocronológica da extremo noroeste da Província Borborema**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - UNESP-Rio Claro. São Paulo, 1999.

DOS SANTOS, T. J. S; FETTER, A. H.; NETO, J. A. Comparisons between the northwestern Borborema Province, NE Brazil, and the southwestern Pan-African Dahomey Belt, SW central Africa. **Geological Society. London. Special publications.**, v. 294, p. 101-120. 2008.

FETTER A.H. **U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil**: Implications for the assembly of Gondwana. Doctoral Dissertation, Department of Geology, The University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA, 164 p. 1999.

FETTER, A. H.; VAN SCHIMUS, W. R.; DOS SANTOS, T. J. S.; NOGUEIRA NETO, J. A.; ARTHAUD, M. H. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the existence of the paleoproterozoic supercontinent "Atlantica". **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 102-106, Março de 2000, 2000.

FETTER, A. H.; DOS SANTOS, T. J. S.; VAN SCHUMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; BRITO NEVES, B. B.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRA NETO, J. A.A. e WERNICK, E. Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quitéria Batolith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. **Gondwana Research**, v. 6, p. 265-273, 2003.

GARCIA, M. G. M; PARENTE, C. V; SILVA FILHO, W. F. ALMEIDA. A. R. Idade do vulcanismo ácido da Formação Parapuí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., Belém, 2010. **Anais...** Belém, SBG-Núcleo Norte, 2010.

GAUDETTE, H.E.; LAFON, J.M.; MOURA. C.A.V.; SELLER, T. Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon age with conventional U-Pb results: examples from the Precambrian of Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.11, p. 351-363, 1998.

GORAYEB, P. S. S.; ABREU, F. A. M.; MOURA, C. A. V. Relações estratigráficas entre o granito Meruoca ea sequência Ubajara - Jaibaras. In: CONG. BRAS. GEOLOGIA., 35. Belém, 1988. **Anais**. Belém, SBG. v. 6. p. 2678 – 2688, 1988

KOBER, B. Whole grain evaporation for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age investigations on single zircons using a Double filament source. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 93, p.482-490, 1986.

_____. Single grain evaporation combined with Pb+emitter bedding for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ investigations using thermal ion mass spectrometry, and implications for zirconology. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v.96, p. 63-71, 1987.

KRETZ R. Symbols for rock-forming minerals. **American Mineralogist**, v. 68, p.277-279, 1983.

MABESSONE, J. M. História geológica da Província Borborema (NE Brasil), **Revista de Geologia**, v. 15: p. 119-129, 2002.

MEDEIROS, V. C. Comparações Geoquímicas entre Granitóides da Zona Transversal, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, p. 333-342. 1995.

MELO, S. J. C. de; ANDRADE, W. L. G. de. **Relatório do Estágio de Campo Cariré**: Subárea I. Eq. I, 1989

NASCIMENTO, D. A.; GAVA, A; PIRES, J.; TEIXEIRA, W. **Geologia da folha SA. 24 - Fortaleza**. Projeto Radam Brasil. Rio de Janeiro. DNPM. 21: 23 – 212, 1981.

NASCIMENTO, R. S.; ABREU, F. A . M. Inversão da Bacia de Jaibaras, noroeste do Ceará - exemplo de cinemática sinistral no Eopaleozóico. In: CONG. BRAS. GEOL., 38. Camboriú, 1994. **Bol. Res. Exp.** Camboriú, SBG. v. 1. p. 573 – 574, 1994.

NASCIMENTO, R. S. **Caracterização Petrográfica Mineralógica e Litoquímica das rochas vulcânicas do Gráben Jaibaras-Ce**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - UFPA. Belém. 2000.

NASCIMENTO, R. S.; GORAYEB, P. S. S. Basaltos Da Suíte Parapuí, Gráben Jaibaras, Noroeste Do Ceará: Caracterização, Petrografia, Geoquímica e Química Mineral. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, 2004.

OLIVEIRA, D. C. Geologia do Gabrén Martinópole, área de Campanário/Paula Pessoa (Granja - CE); Implicações na evolução litoestratigráfica e tectonomagmática do noroeste do Ceará. **Rev. Bras. Geoc.**, v. 22, n. 2, p. 143:156, 1992.

OLIVEIRA, D. C.; MARTINS, G.; CASTELO BRANCO, R. M. G.; CASTRO, D. L. Um modelo alternativo para a formação da Bacia do Jaibaras: Implicações para a evolução final da cadeia Brasileira/Pan-Africana no noroeste da Província Borborema. **Revista de Geologia**, v. 14, p. 11-21, 2001.

QUADROS, M. L. E. S.; ABREU, F. A. M. Bacia de Jaibaras - NW do Ceará: considerações sobre a evolução tectono - sedimentar. In: SIMP. NAC. EST. TECTÔNICOS, 5. Gramado, 1995. **Bol. res. exp.** Gramado, SBG. p. 307 – 309, 1995.

RAGLAND, P.C. **Basic analytical petrology**. New York, Oxford University Press, 1989, 2v.

ROLLINSON, H. **Using geochemical data**: evolution, presentation, interpretation, New York, Longman, 352f, 1993.

SIAL, A. N.; FIGUEIREDO, M. C. H.; LONG, L. E. Rare-Earth element geochemistry of the Meruoca and Mucambo plutons, Ceará, Northeast Brazil. **Chemical Geology**, v. 31. p. 271-283. 1981.

SMALL, H. L. **Geologia e suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará**. Rio de Janeiro, Inspectoria de Obras Contra as Secas. 146 pag. (Serie geológica, Plubicação 32.), 1914.

STACEY, J.S.; KRAMERS, J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 26, p. 207-221, 1975.