



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia e Recursos Naturais



Trabalho de Conclusão de Curso

**Caracterização Petrográfica e Geoquímica das Rochas Metavulcânicas
Paleoproterozóicas da Unidade Saquinho: NW da Província Borborema**

Ricardo Ceglio Benedetti

*Trabalho de Conclusão de
Curso para obtenção de Título de
Bacharel em Geologia pelo Instituto
de Geociências, Unicamp.*

Orientador: Ticiano J. Saraiva dos Santos

Comissão Examinadora

Rafael Assis

Roberto Perez Xavier

Agradecimentos

Depois de cinco longos anos, peraí, depois de sete longos anos, não podemos esquecer o cursinho, chega o momento de agradecer a todas aquelas pessoas que de alguma forma contribuíram para o meu ingresso e formação na UNICAMP.

Em primeiro lugar agradeço meus pais por toda a formação, educação, dedicação, apoio, bronca e principalmente o amor que me deram. Não posso deixar de lembrar os meus irmãos, Dulas, o cara mais engraçado e que mais admiro no mundo, que sempre foi um norte pra mim, sempre sendo exemplo de caminhos bons pra seguir, desde o colégio técnico até a universidade, e minha irmã e segunda mãe, Tatá (cabeção), que sempre me influenciou de maneira positiva, com longas conversas na madrugada, e principalmente com seu apoio financeiro (ainda lhe devo uma tatuagem e um “boné”).

Deixo aqui meu agradecimento ao meu professor e orientador Professor Doutor Ticiano J. Saraiva dos Santos e aos outros professores que fizeram parte da minha formação, em especial minha primeira orientadora Professora Doutora Lena Virgínia S. Monteiro.

Um agradecimento especial a uma família muito importante durante meus anos de faculdade, que me deram casa, comida, e, não, roupa lavada não, e viagens, Simoni, Paulinho e minha amiga Inaiá.

Um enorme obrigado a todos meus amigos de turma, e principalmente aos irmãos que eu fiz durante esses anos, Dênis-Dan-Jackes-Dolors, meu IRMÃOZASSO, parça pra qualquer hora mesmo, que me aguentou todos os dias, meu mau humor, meu jeito impulsivo, meus choros e sofrimentos, meus “papos-aranhas”, Durex, que foi meu primeiro amigo na faculdade, Armário, que sempre me ajudou com os trabalhos e sempre tomava várias cervejas comigo pós-aula, e Bilu, grande irmão que ganhei por causa do Dênis, que sempre me leva nas costas (baladas e caronas) e Maroto, que apesar de ter nos deixado no primeiro ano, ainda é meu irmão.

Queria deixar um beijo enorme a duas pessoas que já não estão entre nós, Porpeta (O CARA) e Lindinha (TRATORZÃO DE ESTEIRA).

E a uma pessoa, única, que sempre vai ser muito especial pra mim, que me mostrou meu melhor lado...

“...you don't know how lovely you are, but never common, never ordinary...”

Resumo

A Unidade Saquinho é uma sequência metavulcano-sedimentar do Paleoproterozóico (1,79 Ga) que ocorre no contexto geológico do Domínio Médio Coreauí, noroeste da Província Borborema. No Brasil, são conhecidos diversos registros geológicos desse período, inseridos no contexto do evento extensional denominado Tafrogênese Estateriana. Estes registros apresentam uma grande variedade no que tange a tectônica, magmatismo e processos sedimentares. Definir os possíveis ambientes paleotectônicos durante este evento de caráter extensional, é possível a partir das diferentes associações petrotectônicas, ou seja, associações de rochas supracrustais (sedimentares e vulcânicas) que caracterizam esses ambientes. O estudo da Unidade Saquinho objetivou a caracterização petrográfica e geoquímica de suas rochas, visando compreender sua gênese que se deu durante a Era Paleoproterozóica, no Período Estateriano. A petrografia permitiu caracteriza-los como, granófiros, riloitos e rochas vulcanoclásticas, sendo estas representadas por tufo e brechas piroclásticas, e a paragênese mineral composta por sericita \pm epídoto \pm clorita \pm carbonato sugeriu um metamorfismo regional de baixa temperatura. No que diz respeito ao estudo litoquímico, as rochas analisadas são de caráter ácido, com traquitos e riolitos representados pelos granófiros, e dacitos e riolitos que compreendem os tufo e brecha piroclástica. Esses litotipos foram formados a partir de um magma subalcalino, cálcio-alcalino ultrapotássico do tipo A, que evolui de metaluminoso a peraluminoso, e foram formados majoritariamente em um ambiente intraplaca. Considerando essa Unidade sendo representada por uma suíte bimodal, com idade de 1,79 Ga e formada em ambiente intraplaca, pode-se sugerir que a Unidade Saquinho corresponde a uma sequência metavulcanossedimentar do final do Paleoproterozóico, resultante de um rifteamento do embasamento gnáissico migmatítico.

Sumário

Capítulo 1	5
1. Introdução	5
2. Localização da área de estudo	6
3. Justificativa.....	8
4. Objetivos	8
5. Materiais e Métodos.....	8
5.1. Revisão Bibliográfica	8
5.2. Trabalho de Campo.....	8
5.3. Geoquímica	9
5.4. Petrografia	9
Capítulo 2	10
1. Contexto Geológico Regional.....	10
1.1. Geologia Estrutural e Evolução Tectônica do Domínio Médio Coreau. 13	
1.2. A Tafrogênese Estateriana	15
Capítulo 3	19
1. Caracterização Geológica da Unidade Saquinho.....	19
1.1. Riolito	21
1.2. Formação Ferrífera Bandada	24
1.3. Calciossilicática	25
1.4. Rochas Vulcanoclásticas.....	27
Capítulo 4	30
1. Caracterização Geoquímica da Unidade Metavulcânica Saquinho.....	30
1.1. Riolitos	33
1.2. Rochas Piroclásticas.	34
1.3. Ambiente Tectônico	40
Capítulo 5	41
1. Discussões e Conclusões.	41
Capítulo 6	46
1. Referências Bibliográficas.....	46

Capítulo 1.

1. Introdução

A Província Borborema foi definida por Almeida *et al.* (1981) como um complexo mosaico, delimitado por falhas e altos do embasamento, cuja configuração deu-se no Neoproterozóico.

A área de estudo situa-se no Domínio Tectônico Médio Coreau (DMC), inserido na Província Borborema. Este domínio é composto por um embasamento paleoproterozóico representado pelo Complexo Granja constituído por gnaisses de alto grau metamórfico com idades U-Pb em zircão de 2,3 – 2,36 Ga (Fetter *et al.* 1995, 2000). Unidades supracrustais são representadas pelos grupos Martinópole e Ubajara, ambos intrudidos por granitos e granitóides neoproterozóicos e cambro-ordovicianos.

Rochas félsicas a intermediárias da *Sequência Vulcânica Saquinho*, tais como traqui-andesitos, riolitos, riodacitos, brechas e tufos, ocorrem intercaladas às rochas do Grupo Ubajara (Hackspacher *et al.* 1988, Santos *et al.* 2004).

A Unidade Saquinho é uma sequência Vulcano-sedimentar composta por traquiandesitos, riolitos, riodacitos, brechas, tufos, carbonatos e arenitos ferruginosos. Santos (1999) datou pelo método U-Pb em zircão, um metariolito dessa Unidade em 1,79 Ga, enquanto as rochas supracrustais dos Grupos Ubajara e Martinópole pertencem ao Neoproterozóico. Essa idade obtida para a Unidade Saquinho remete ao Período Estateriano, no qual ocorreu um importante evento extensional de caráter global que afetou todo o continente sul-americano, denominado Tafrogênese Estateriana (Brito Neves *et al.*, 1995).

Segundo Brito Neves *et al.* (1995), esse processo de rifteamento afetou a maioria dos blocos crustais amalgamados no Paleoproterozóico. Este registro apresenta uma grande variedade no que tange a tectônica, magmatismo e processos sedimentares. Definir os possíveis ambientes paleotectônicos durante este evento de caráter extensional, é possível a partir das diferentes associações petrotectônicas, ou seja, associações de rochas supracrustais (sedimentares e vulcânicas) que caracterizam esses ambientes.

Dessa forma, esse projeto propõe a individualização no campo dos

litotipos da Unidade Saquinho, assim como sua caracterização geológica, petrográfica e geoquímica, visando definir os possíveis ambientes geotectônicos de formação dessas rochas. Espera-se com isto fornecer importantes subsídios para a compreensão da gênese dessa Unidade que se deu durante a Era Paleoproterozóica, no Período Estateriano.

2. Localização da área de estudo.

A área de estudo se localiza no noroeste do estado do Ceará, na região entre os municípios Coreaú e Frecheirinha, na localidade de Salgado Teodoro. O acesso para Coreaú a partir de Fortaleza se dá pela BR-222 até Aprazível, onde se segue pela CE-364 sentido norte, até Coreaú (figura 1).

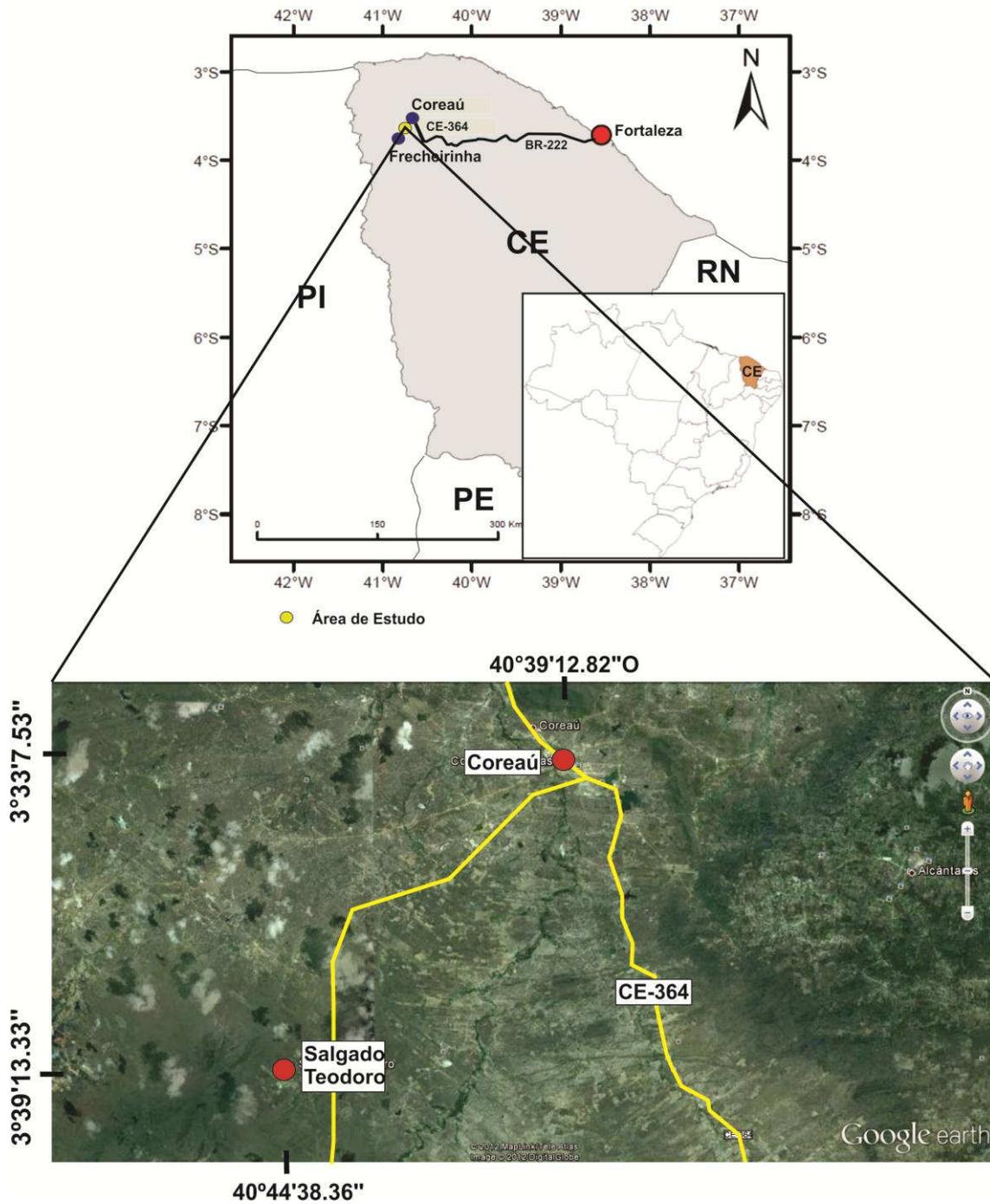


Figura 1: Localização da área e principais vias de acesso à Coreaú.

3. Justificativa.

Este trabalho pretende contribuir para o melhor entendimento do ambiente geotectônico de formação das rochas da Unidade Saquinho pertencentes ao Domínio Médio Coreaú, considerando os aspectos geoquímicos e petrográficos, tendo em vista a possível colocação da Unidade Saquinho no contexto da Tafrogênese Estateriana.

4. Objetivos.

Os principais objetivos deste trabalho são:

(I) Definir as características texturais e mineralógicas, com base no estudo petrográfico, dos principais litotipos que constituem as rochas da Unidade Saquinho;

(II) Caracterizar quimicamente as rochas metavulcânicas, definindo seu ambiente de geração;

(III) Integrar os dados definindo o ambiente de formação das rochas da Unidade Saquinho posicionando-as no contexto da Província Borborema durante o Período Estateriano.

5. Materiais e Métodos.

5.1. Revisão Bibliográfica.

A revisão bibliográfica foi realizada durante todo o desenvolvimento da pesquisa, enfocando o contexto geológico do Domínio Médio Coreaú, a tafrogênese Estateriana e associações magmáticas, com foco em cadeias meso-oceânicas e zonas de rifteamento continental. No que tange a geoquímica, o enfoque dado caracterização de ambientes tectônicos com base na variação composicional de rochas magmáticas e ao estudo dos principais diagramas utilizados na caracterização tectonomagmática.

5.2. Trabalho de Campo.

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 29 de maio e 06 de junho de 2012 no noroeste do DMC, mais especificamente no contexto geológico da bacia de Ubajara e das rochas metavulcânicas da Unidade Saquinho. Este

trabalho objetivou a coleta sistemática de amostras para estudos petrográficos e geoquímicos. O trabalho de campo foi acompanhado pelo orientador desse trabalho de conclusão de curso.

5.3. Geoquímica.

Análise geoquímica por espectrometria de fluorescência de raios-X foi realizada para quantificação dos elementos maiores, menores e traço com objetivo de caracterizar quimicamente as rochas metavulcânicas e seu ambiente de formação.

5.4. Petrografia.

Estudo petrográfico em luz transmitida foi desenvolvido no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG-UNICAMP) em lâminas delgadas confeccionadas a partir de amostras coletadas em campo. Esse estudo visou à caracterização dos litotipos da Unidade Saquinho em termos texturais e mineralógicos. Durante a etapa de trabalho de campo várias amostras foram coletadas e de vinte amostras foram confeccionadas lâminas delgadas.

Capítulo 2.

1. Contexto Geológico Regional.

A Província Borborema foi definida por Almeida *et al.* (1981) como um complexo mosaico, delimitado por falhas e altos do embasamento, cuja configuração deu-se no Neoproterozóico. Brito Neves *et al.* (2000) dividiram a Província em seis domínios tectono-estratigráficos e plutons graníticos: i) Domínio Médio Coreaú; ii) Domínio Ceará Central; iii) Domínio Rio Grande do Norte; iv) Domínio Central; v) Domínio Meridional; e vi) Maciço Pernambuco Alagoas (figura 2).

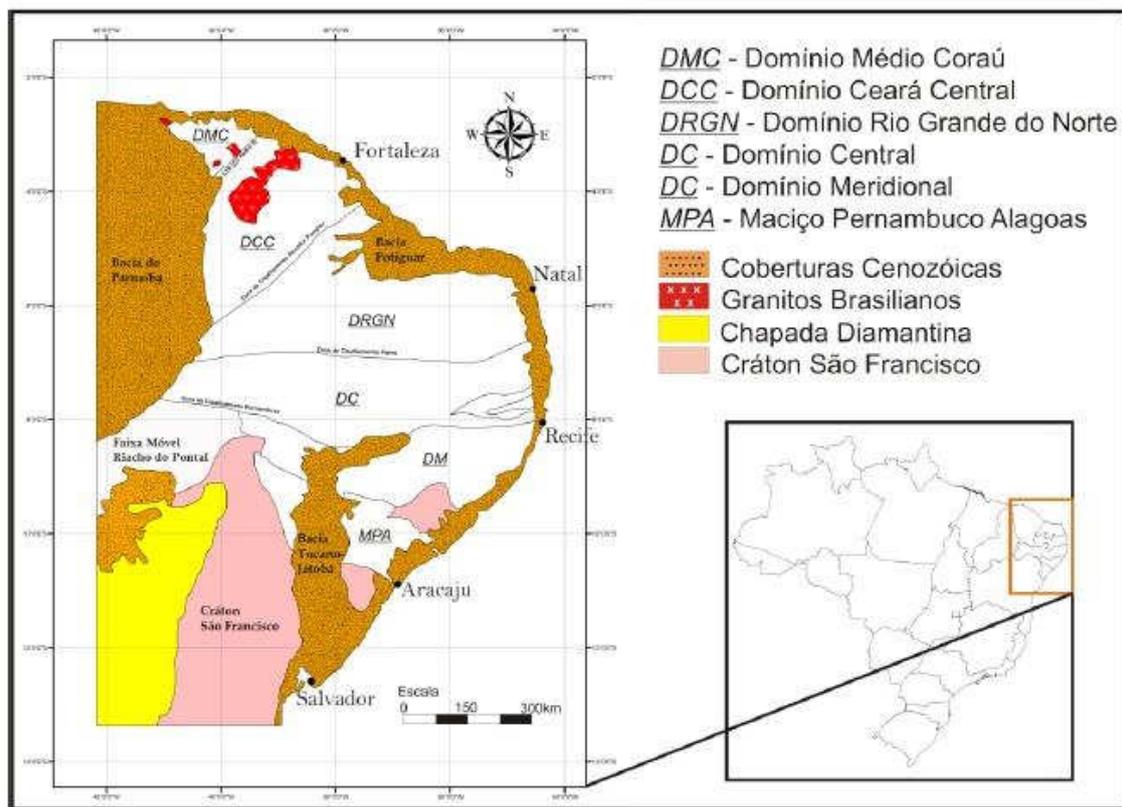


Figura 2: Mapa de compartimentação da Província Borborema (Brito Neves *et al.*, 2000).

A área de estudo situa-se no Domínio Médio Coreaú (DMC), e é composto por um embasamento paleoproterozóico representado pelo Complexo Granja constituído por gnaisses de alto grau metamórfico com idades U-Pb em zircão de 2,3 – 2,36 Ga (Fetter *et al.* 1995, 2000), e unidades

supracrustais representadas pelos grupos Martinópolis e Ubajara, ambos intrudidos por granitos e granitóides neoproterozóicos e cambro-ordovicianos (Oliveira, 2001) (figura 3).

Rochas ácidas a intermediárias da *Sequência Vulcânica Saquinho*, tais como traqui-andesitos, riolitos, riodacitos, brechas e tufos, ocorrem intercaladas às formações Caiçaras e Trapiá-Frecheirinha (Hackspacher *et al.* 1988, Santos *et al.* 2004). Essa unidade não pertence à bacia de Ubajara, pois Santos (1999) datou pelo método U-Pb em zircão, um metariolito dessa Unidade em 1,79 Ga, enquanto as rochas supracrustais dos grupos Ubajara e Martinópolis pertencem ao Neoproterozóico.

O Grupo Martinópolis (777±11 Ma, método U-Pb em zircão, Fetter *et al.*, 2003) está situado na região centro-norte, preenchendo o gráben Martinópolis, sendo dividido em quatro unidades litoestratigráficas da base para o topo: i) Formação **Goiabeiras**, composta por xistos que gradam da isógrada da clorita até a da cianita, intercalados a corpos de paragneisses constituídos por quartzo, muscovita e feldspato, ii) Formação **São Joaquim**, constituída principalmente por quartzitos com intercalações de xistos nas isógradas da estauroлита, cianita e sillimanita e meta-riolitos, iii) Formação **Covão**, representada por sericita-clorita xisto com pequenas intercalações de quartzito, e iv) Formação **Santa Terezinha**, que é um pacote composto por metassedimentar de baixo grau metamórfico, caracterizado por meta-siltito, meta-arenito, filito, xistos quartzosos e algumas pequenas intercalações de riolitos (Santos *et al.* 2004).

O Grupo Ubajara (1,0 Ga, método Rb-Sr, Novais *et al.*, 1971) é formado pelas formações, da base para o topo, i) *Caiçaras*, caracterizada por uma sequência que grada de ardósias para meta-arenitos no topo, ii) *Trapiá-Frecheirinha*, composta por meta-arenitos interdigitados com metacarbonatos e iii) *Coreaú*, composta por meta-arenitos e metagrauvacas .

O gráben Jaibaras é uma bacia molássica de idade cambro-ordoviciano e representa uma feição alongada NE-SW, resultado da reativação de descontinuidades milonítica crustais do Lineamento Brasileiro (Oliveira, 2001).

A evolução dessa bacia começou com um processo extensional, que

marca o início de abertura do rifte, e o registro desse evento é o enxame de diques Coreaú, e com a evolução desse processo foi possível a colocação do granito Mucambo. No Cambriano médio a sedimentação da bacia foi acompanhada por um magmatismo básico representado pela Suíte Parapuí, e posterior a ele, outra intrusão ocorreu, representada pelo granito Meruoca.

O preenchimento sedimentar dessa bacia é representado pelo Grupo Jaibaras, que se encontra sobreposto em discordância ao Grupo Ubajara de idade neoproterozóica.

O Grupo Jaibaras é formado por 3 unidades litoestratigráficas, sendo elas da base para o topo, i) *Massapê*, caracterizada por paraconglomerados polimicticos e subordinadamente arenitos, ii) *Pacujá*, formada por fácies pelíticas que ocorrem na parte central do rifte e por fácies arenoconglomeráticas nas bordas, iii) *Aprazível*, composta por paraconglomerados com fragmentos de composição semelhante as rochas das formações Massapê e Pacujá.

O enxame de diques Coreaú é caracterizado por um conjunto paralelo e subvertical de *trend* ENE-WSW, que cortam os metassedimentos do Grupo Ubajara aflorantes na gráben homônimo perto do Plúton Meruoca, na parte oeste do Gráben Jaibaras. Petrograficamente compreendem microgranitos e riolito/dacito com texturas porfiríticas. As idades encontradas se deram pelo método Rb/Sr, 605 ± 31 (Brito Neves et al., 1981) 580 ± 30 (Novais et al., 1979), 562 ± 19 (Sial, 1989) e 562 ± 10 (Tavares Jr et al., 1990).

A suíte Parapuí é formada por andesitos, riolitos, sienitos, basalto andesitos, diabásios e vulcanoclásticas, e ocorrem como derrames, soleiras e diques, cortando ou intercalando as camadas das formações Massapê e Pacujá.

O *pluton* Mucambo ocupa uma área de aproximadamente 200 Km², sendo composto por granodioritos porfiríticos, quartzo monzonitos, quartzo sienitos e hornblenda-biotita granitos. Ele foi datado por Santos et al. (2004) em 532 ± 6 Ma pelo método U-Pb em zircão. Na parte oeste o corpo é marcado pelo desenvolvimento de auréolas de contato com os metassedimentos do *Graben*

Ubajara (Santos et al., 2004).

O *pluton* Meruoca possui uma forma aproximadamente quadrada compreendendo uma área de cerca de 400 Km². É formado por granitos, quartzo sienitos e k-feldspato granitos (Sial et al., 1981). Análises petrográficas revelaram a existência de um fácies de granulometria fina a grossa contendo fayalita, K-feldspato, biotita e hornblenda (Oliveira et al., 2001).

A Formação Penanduba ou Serra Grande foi proposta primeiramente por Mabeoone *et al* (1971), sendo formada por metaparaconglomerados basais capeados por um arenito fino ambos fortemente silicificados de idade cambro-ordoviciano. Segundo Hackspacher *et al* (1988), essa formação ocorre sob forma de discordância estrutural angular e erosional sobre o Grupo Ubajara.

A Formação Olho d'Água do Caboclo ocorre ao norte da Serra da Penanduba, é formada por metarenitos finos capeados por metarenitos médios a grossos com intercalações de metassiltitos, ardósias e vulcânicas andesíticas, e foi proposta e descrita exclusivamente por Hackspacher *et al* (1988) e é igualmente parte integrante do Grupo Ubajara.

1.1. Geologia Estrutural e Evolução Tectônica do Domínio Médio Coreaú.

De acordo com Santos (1993) a evolução tectônica para o embasamento do DMC, representado pelo Complexo Granja, é constituída por cinco fases deformacionais (D_{n-2} , D_{n-1} , D_n , D_{n+1} , D_{n+2}), sendo questionada por Torquato *et al* (1996) que consideram as três primeiras fases como um só evento. Em contrapartida, Santos et al (2004) apresentam quatro fases deformacionais (D1, D2, D3 e D4) para o DMC, três desenvolvidas em regime dúctil e uma em regime rúptil-dúctil.

Segundo Santos (1993) a evolução tectônica de uma área a sudoeste de Granja teria uma sucessão de três fases com lineações de estiramento mineral com direção NE-SW e mergulho suave para NE ou SW, o que segundo Torquato *et al* (1996) poderia corresponder a apenas um evento, indicando o

predomínio de um regime direcional com componentes tangenciais.

Segundo Torquato *et al* (1996), ao norte da Zona de Cisalhamento Granja, ocorre lineações de estiramento mineral com direção NW-SE e mergulho de 35° para SE, além de dobras fechadas com vergência para NW, sugerindo uma tectônica tangencial pretérita.

Com isso duas possibilidades se tornam relevantes para o evento que colocou o embasamento em níveis crustais rasos, um ligado a movimentação direcional e tangencial num mesmo evento tectônico com zonas de cisalhamento correspondendo a rampas oblíquas, e outra com evolução em dois estágios, tendo inicialmente um regime tangencial para NW, seguido de uma nova fase transcorrente com direção NE-SW.

Os filitos do Grupo Martinópole apresentam clivagem ardoseana com orientação de clorita e sericita, além de níveis milimétricos de quartzo ribbons. Essa clivagem foi redobrada, gerando um crenulação com direção compressional de direção ENE. No plano dessa foliação tem-se uma lineação de estiramento mineral bem desenvolvida, com micas e sombras de pressão ao redor de minerais opacos, com direção NE-SW a E-W sub-horizontais. Paralelo a essa lineação tem-se redobramentos isoclinais milimétricos.

Com essas informações e, associado aos dados de vergência de dobras e rotação de porfiroclastos, Torquato *et al* (1996) sugere um cavalgamento das rochas supracrustais do Grupo Martinópole sobre o embasamento.

De acordo com Santos (1993) uma tectônica transcorrente com direção NE-SW evoluiu para cavalgamentos em rampas laterais por regimes transpressivos, o que teria gerado estruturas em flor positiva nas rochas do Grupo Martinópole.

As rochas do Grupo Ubajara registram uma clivagem ardoseana incipiente associada com dobras de plano axial vertical e eixo com forte caimento. Essas deformações de acordo com Caby *et al* (1991) estariam associadas ao soerguimento do embasamento no Cambriano, enquanto bacias intramontanas estavam sendo preenchidas e fechadas, indicando uma

tectônica pós-molássica.

Seguindo a proposta de Santos et al (2004), a primeira fase (D1) se encontra registrada nas rochas do embasamento sendo responsável por foliações com baixo ângulo e mergulhos para SE. A segunda fase deformacional (D2) desenvolveu foliações sub-paralelas a D1, dobras com vergência para NW, lineações *down-dip* e foliações miloníticas que evidenciam os cavalgamentos do maciço Granja e do Grupo Martinópolis. No Grupo Martinópolis D2 ocorreu em fácies anfíbolito e no Grupo Ubajara em condições de metamorfismo de mais baixo grau. A terceira fase (D3) de caráter transcorrente dextral, encontra-se evidenciada principalmente nas rochas das formações Covão e Santa Terezinha, onde é reconhecida pelas foliações sub-verticais com direções NE-SW a E-W, rearranjando as lineações frontais geradas por D2 (*down dip*) para direcionais (*strike slip*). A quarta e última fase (D4), é a evolução de D3 para um regime transpressivo em nível crustal mais raso, com comportamento rúptil-dúctil, estando registrado nos quartzitos da Formação São Joaquim.

Sendo assim, Santos et al (2004) definiram os estágios de deformação, sendo a primeira fase (D1) o resultado do evento Transamazônico entre 2,2 Ga e 2,0 Ga. A segunda fase (D2) resultado da interação entre a Província Borborema e o cráton Oeste Africano, entre 620 Ma e 590 Ma. A terceira fase (D3) sendo representada pelos granitóides com bordas cisalhadas durante regime transcorrente, em um intervalo entre 590 Ma e 570 Ma. E por fim, a quarta fase (D4) definida pela rápida ascensão e resfriamento das rochas granulíticas do embasamento, entre 565 Ma e 555 Ma.

1.2. A Tafrogênese Estateriana.

Segundo Brito Neves et al (1995), o rifting iniciado no Período Estateriano abrangueu a maioria dos blocos crustais amalgamados no Paleoproterozóico e foi resposta natural ao período de orogênias e colagens também de caráter global, o Período Orosiriano.

Este registro apresenta uma grande variedade no que tange a tectônica, magmatismo e processos sedimentares, desde simples rifting crustal e

sedimentação siliciclástica localizada em condições de plataforma estável, passando por vários estágios de distinta magnitude de extensão, até condições de formação de assoalho oceânico.

No Brasil, este evento encontra-se registrado em diversas regiões do território, Minas Gerais, Ceará, Bahia, Pará, Goiás, Tocantins e etc. Segue abaixo uma síntese do registro geológico deste evento.

O Bloco Xingu, na Amazônia Oriental, apresenta um contexto vulcânico félsico recortado por plutons subvulcânicos associado a depósitos psamíticos maduros e imaturos. O vulcanismo Iri é constituído de riolitos, dacitos, andesitos e tufos. A Suíte Dourado é formada por granitos e granófiros. A Fase Sedimentar Gorotire é composta por arenitos, arcóseos, grauvas e conglomerados. A Fase Sedimentar Superior, ou Cubencranquem, é constituída por psamitos imaturos, arenitos a grauvas e localmente brechas vulcânicas. E por fim a Suíte Tarumã com biotita granitos.

O magmatismo *Avanavero*, ao Norte da Bacia Amazonas, é constituído por sills e diques basálticos de afinidade toleítica que intrudem o Grupo Roraima.

No Maciço Central, nos estados de Goiás e Tocantins, tem-se um lineamento crustal com expressões vulcânicas e sedimentares, relacionado ao sistema de riftes Araí-Natividade. É formado por rochas sedimentares clásticas e vulcânicas (basaltos-andesitos, riodacitos e riolitos), um complexo máfico-ultramáfico (Barro Alto, Niquelândia e Canabrava) e corpos graníticos estaníferos.

No Espinhaço – Chapada Diamantina – Bahia e Minas Gerais, tem-se a melhor manifestação dos processos tafrogênicos do Estateriano, definido como uma estrutura oroaulacogênica enraizada ao longo de eixos de riftes centrais abortados (1,8 1,75 Ga) sob uma intumescência crustal importante, com vulcanismo bimodal e sequências do tipo BVAC, plutonismo anorogênico e duas sequencias cratogênicas do tipo QPC.

No Grupo São João Del Rey, localizado a sul-sudeste do Cráton São

Francisco, nos arredores da cidade de São João Del Rey – MG, inserido no Sistema de Dobramentos Ribeira, tem-se duas sequencias de sedimentos clásticos, típicas QPC, condicionadas por rifteamento paleo-neoproterozóico.

O Bloco Guanhães; Suíte Borrachudo – Minas Gerais, se encontra a sudeste do Espinhaço e a leste do Quadrilátero Ferrífero, cortando o núcleo paleoproterozóico de Guanhães. Esta suíte é formada por granitos e riolitos com afinidade de derivação crustal.

O Vulcanismo Cratogênico Arauá – Sergipe, localizado a leste da Chapada Diamantina da Bahia, é formado por um enxame de diques de composição ácido-intermediária, representada por riolitos e dacitos porfiríticos.

No Sistema Jaguaribeano (Faixas Móveis Orós e Jaguaribe) localizado na Província Borborema, as faixas móveis são formadas por sequencias vulcanossedimentares (BVAC-QPC) cortadas por plutons graníticos porfiríticos, leuco a sieno-granitos, dioritos, gabros, dois tipos de basalto (shoshoníticos e E-MORB) e riolitos subalcalinos. É uma zona de rifte ativo (1,8 -1,7 Ga), comparável ao estágio inicial do Espinhaço.

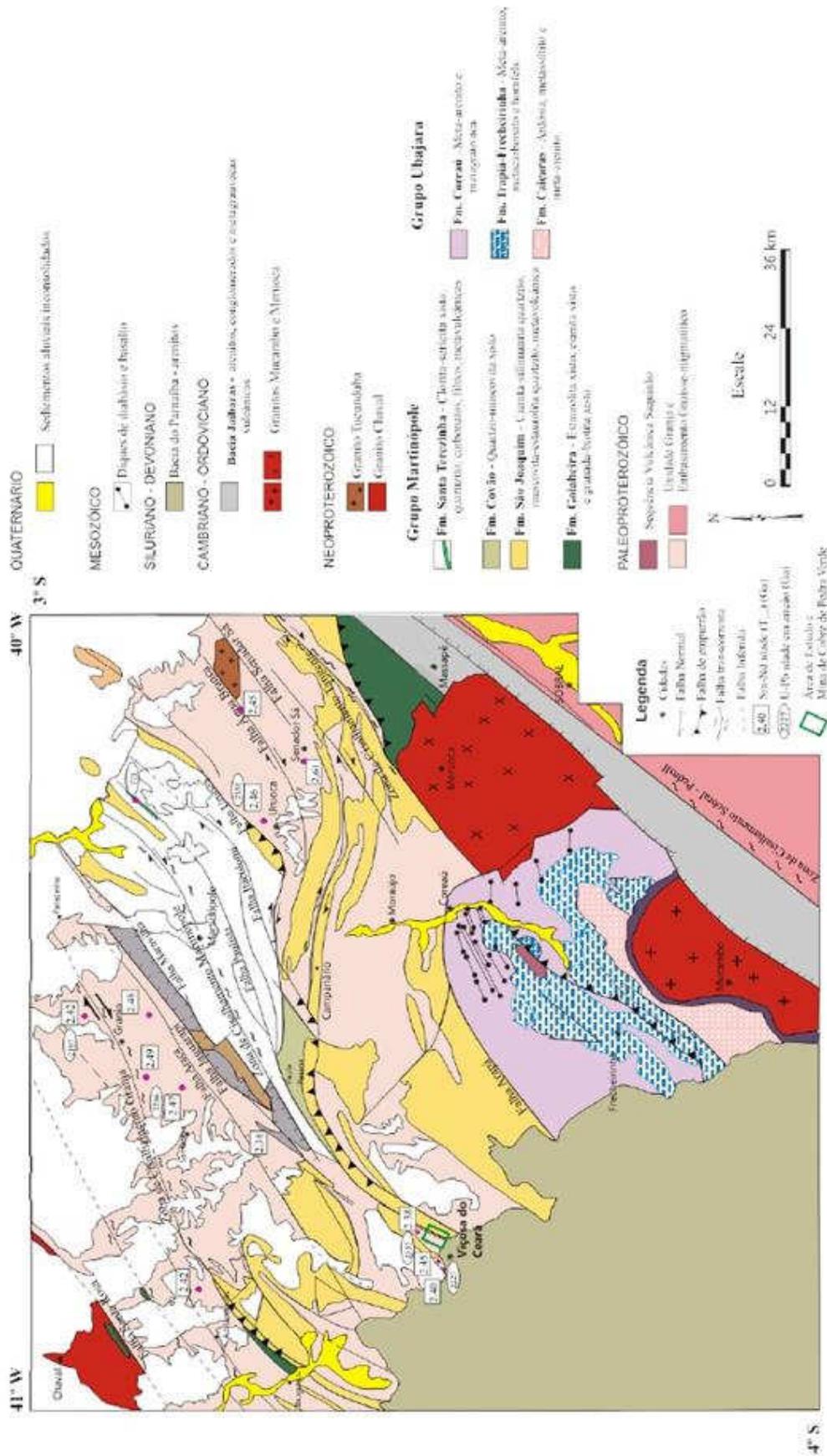


Figura 3: Mapa geológico simplificado do Domínio Médio Coreaú (Santos et al. 2004).

Capítulo 3.

1. Caracterização Geológica da Unidade Saquinho.

A Unidade Saquinho é um corpo vulcânico que aflora com formato alongado na direção NE-SW abrangendo aproximadamente 25km², representado na localidade de Salgado Teodoro. É composto basicamente por riolitos, andesitos, basaltos e vulcanoclásticas (Figura 4).

O contato entre o corpo vulcânico e o Calcário da Formação Frecheirinha na porção leste da área se apresenta de forma concordante. O contato na porção oeste-sudoeste ocorre com sedimentos químicos (carbonatos e formações ferríferas), também de forma concordante.

Mapa Geológico da Sequência Metavulcânica Saquinho

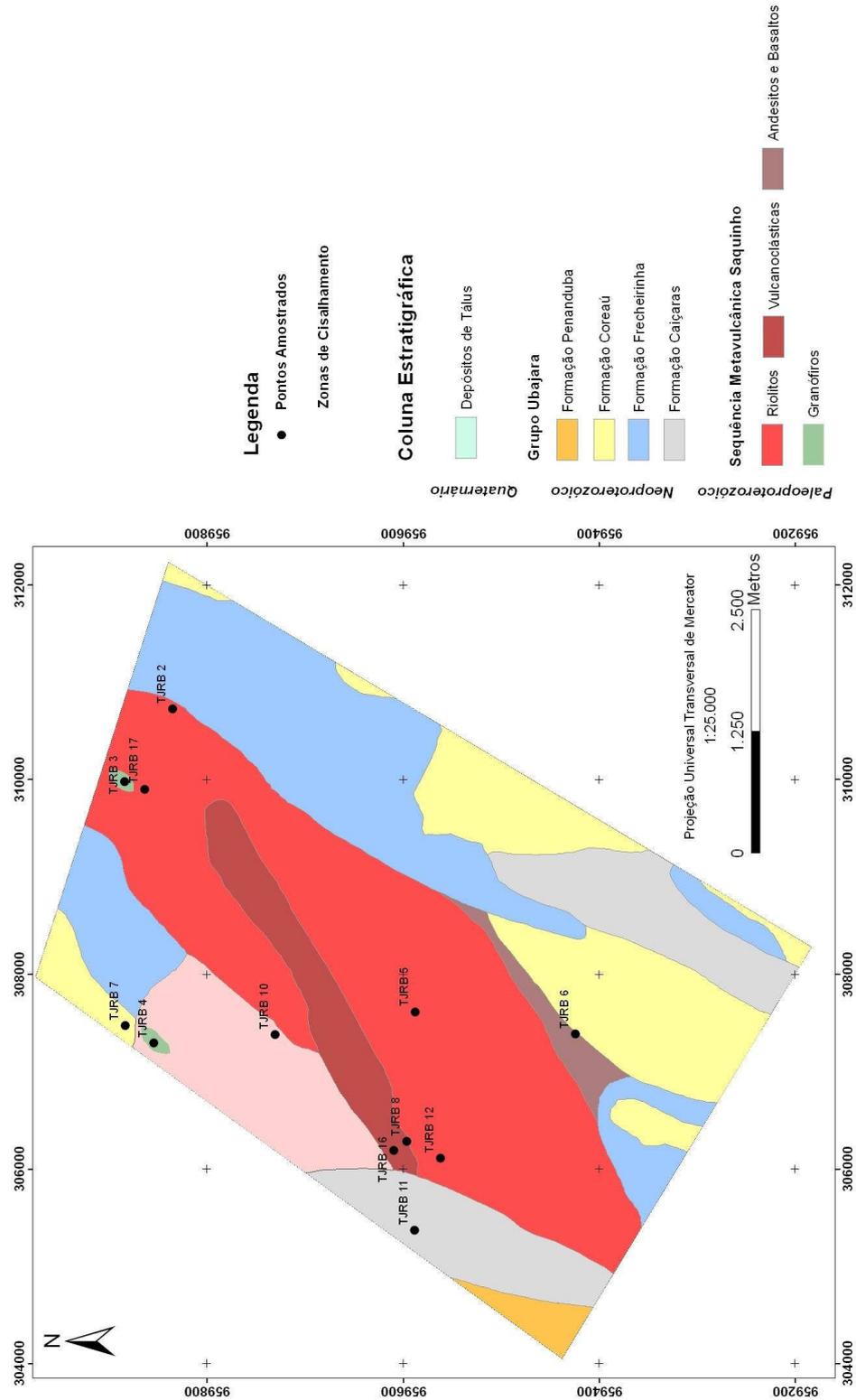


Figura 4: Mapa geológico da Unidade Saquinho (modificado de Reginato,2009).

1.1. Riolito.

Este litotipo vulcânico ocorre como diques com orientação NE-SW, e apresenta localmente xenólitos máficos (figura 5). É isótropa, de coloração cinza clara, textura fanerítica fina a localmente porfirítica evidenciada por fenocristais de feldspato potássico. A vista desarmada é composta essencialmente por quartzo, k-feldspato, plagioclásio e biotita.

Essas rochas apresentam zonas de stockwork com veios e vênulas de quartzo, além de sericitização seletiva, alterando o feldspato e cloritização pervasiva.

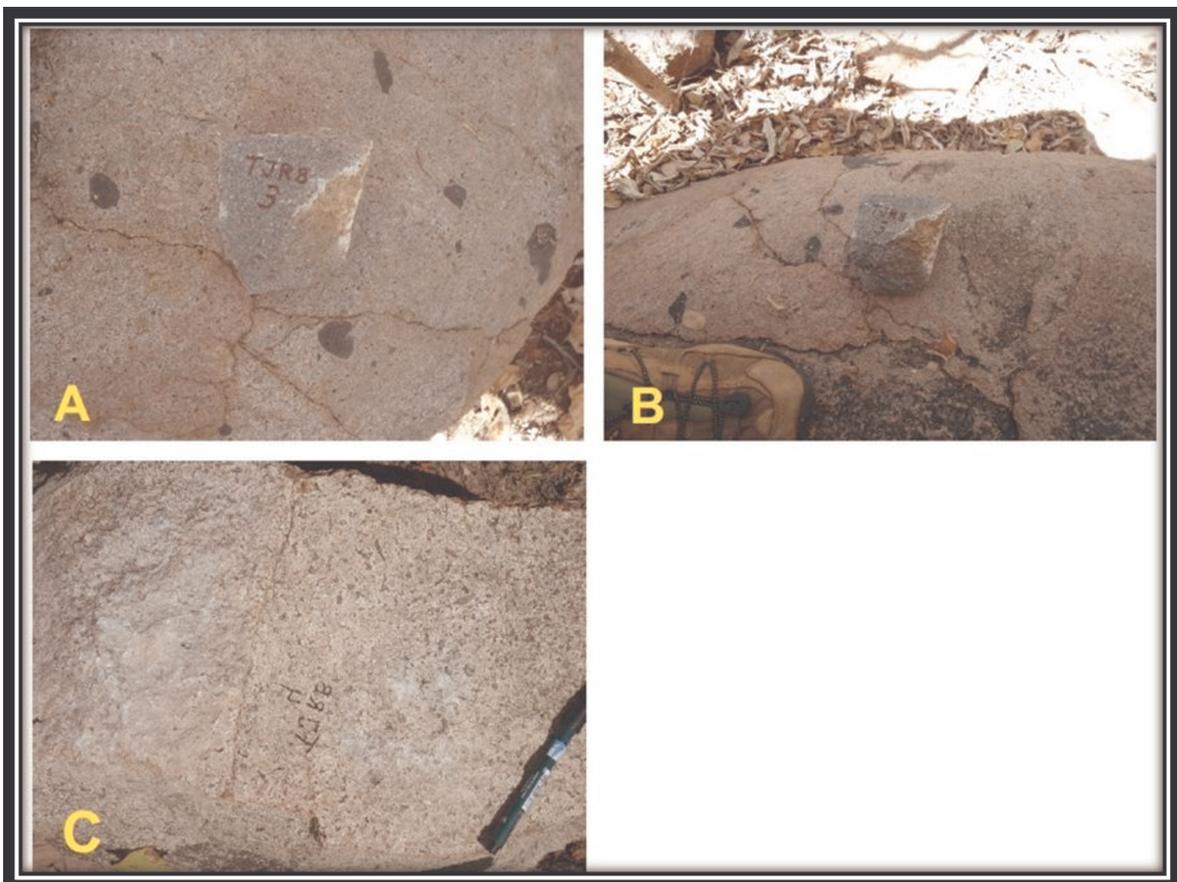


Figura 5: (a) Riolito com textura porfirítica e xenólitos máficos. (b) Modo de ocorrência de dique de riolito em blocos. (c) Dique de riolito com textura porfirítica representada por fenocristais de feldspato alcalino.

Esta rocha apresenta megacristais de quartzo (20%) (figura 6-F), e subordinadamente, megacristais de plagioclásio (15%), feldspato alcalino (5%),

calcita e anfibólio cloritizado (10%), em uma matriz fanerítica fina (50%). A matriz da rocha é dominada por quartzo (25%) e feldspato (25%).

Os cristais de feldspato da matriz apresentam-se intensamente sericitizados. Os megacristais de quartzo são subédrico a euédricos, fraturados, com textura de corrosão representada por golfos ou embaimento (figura 6-C) (Sial, 1984) e extinção ondulante, e megacristais de plagioclásio e ortoclásio subédricos com textura poiquilíta, com inclusões de quartzo, os cristais subédricos de calcita estão associados a cristais anédricos de anfibólio cloritizado e cristais pseudomorfos de clorita (figura 6-D).

Nas amostras TJRB -3 e TJRB - 4 , a matriz apresenta textura mirmequitica (figura 6-A), representada por quartzos vermiformes inclusos no plagioclásio, textura micrográfica com quartzo e feldspato, e textura esferulítica (figura 6-B, 6-G), sendo esta um processo de desvitrificação formada por cristais fibro-radiais de composição quartzo-feldspática.

Essas rochas foram classificadas como granófiros, baseado na sua composição granítica, e textura micrográfica.

Os fenocristais de quartzo e a matriz muito fina são típicos de rochas vulcânicas e subvulcânicas (Shelley, 1985) sendo estas, diferenciadas pela proporção de feldspatos presente em sua composição. Neste caso, em que a rocha apresenta fenocristais de quartzo, a composição da rocha de acordo com Willians *et al.* (1985) é riolítica.

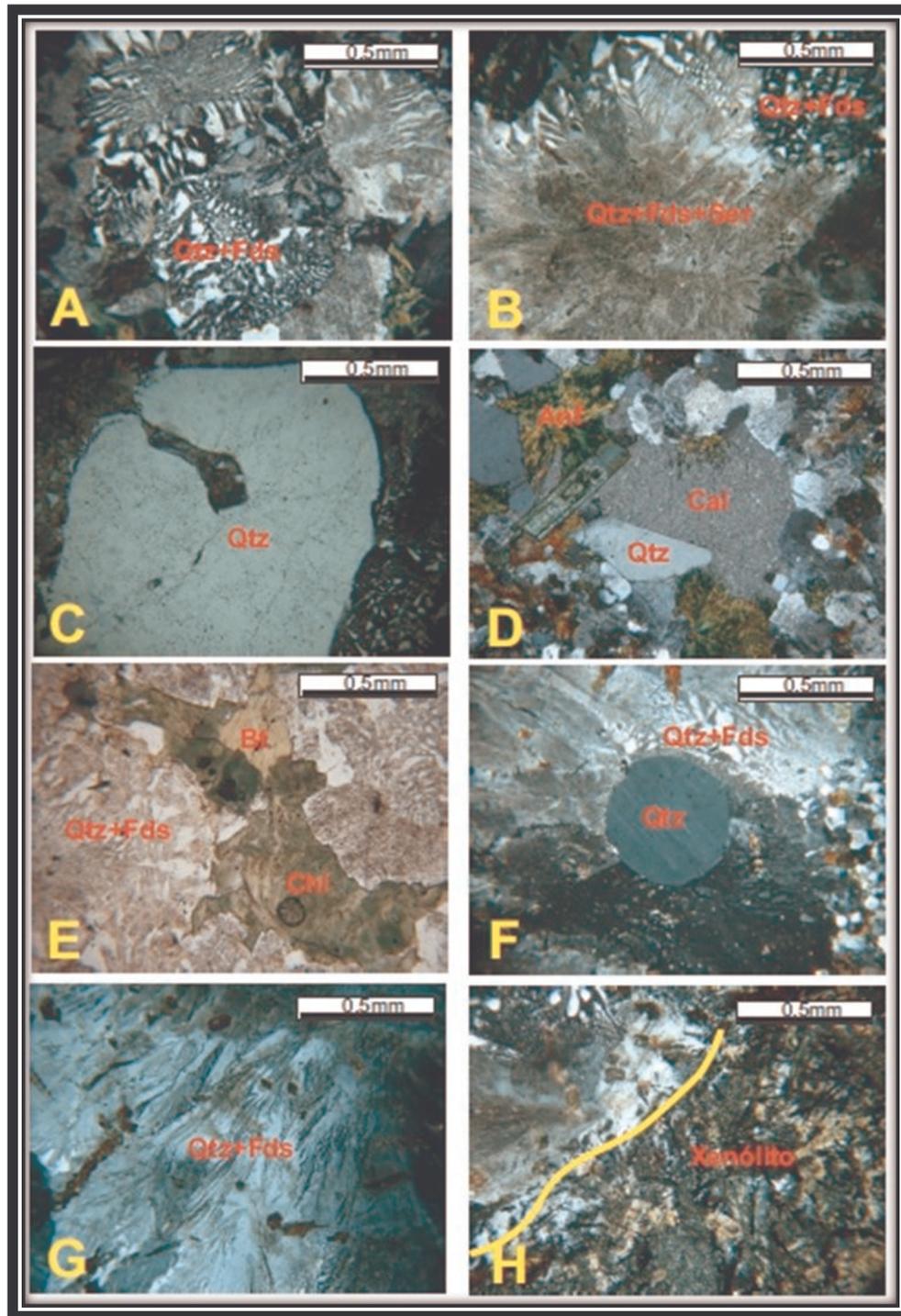


Figura 6: Fotomicrografia de riolitos (a) Textura mirmequitica. (b) Esferulito do tipo esférico. (c) Cristal de quartzo subédrico com textura de corrosão. (d) Cristal de calcita e anfibólio cloritizado. (e) Cristal pseudomorfo de clorita. (f) Fenocristal de quartzo envolto por textura mirmequitica e esferulitos. (g) Esferulito tipo pluma. (h) Xenólito máfico composto por cristais saussuritizados de andesina, cristais máficos alterados e agulhas de óxido de ferro.

1.2. Formação Ferrífera Bandada.

Os Bif's estão localizados especificamente no ponto TJRB 11, onde ocorrem in situ como afloramentos tabulares alongados e matacões alterados pelo intemperismo (figura 7). São rochas finamente estratificadas, com níveis irregulares mais quartzosos e uma matriz ferruginosa bastante fina. Esta rocha apresenta uma foliação que marca o acamamento dos níveis ferruginoso e quartzoso.



Figura 7: (a) Amostra intemperizada de BIF. (b) BIF com camadas de quartzo deformadas.

Em lâmina delgada a rocha apresenta estrutura bandada composta de níveis milimétricos de diferentes composições, com níveis de textura granoblástica, compostos de grãos de quartzo, com tamanho dos grãos variando de 0,1 a 0,4 milímetros (Figura 8-A), e níveis com grãos de quartzo atingindo no máximo 0,2 milímetros associados a minerais opacos e limonita e sericita (Figura 8-C).

Os grãos de quartzo recristalizados tem forma anédrica a euédrica e extinção ondulante, desenvolvem lamelas e bandas de deformação, até formação incipiente de subgrãos (Figura 8-D).

As bandas de óxido de ferro em lâmina são representadas por minerais opacos e limonita. Os opacos ocorrem como uma massa anédrica capeando os grãos de quartzo.

A sericita ocorre em grande quantidade na lâmina, de forma pervasiva e

hábito radial (Figura 8-B).

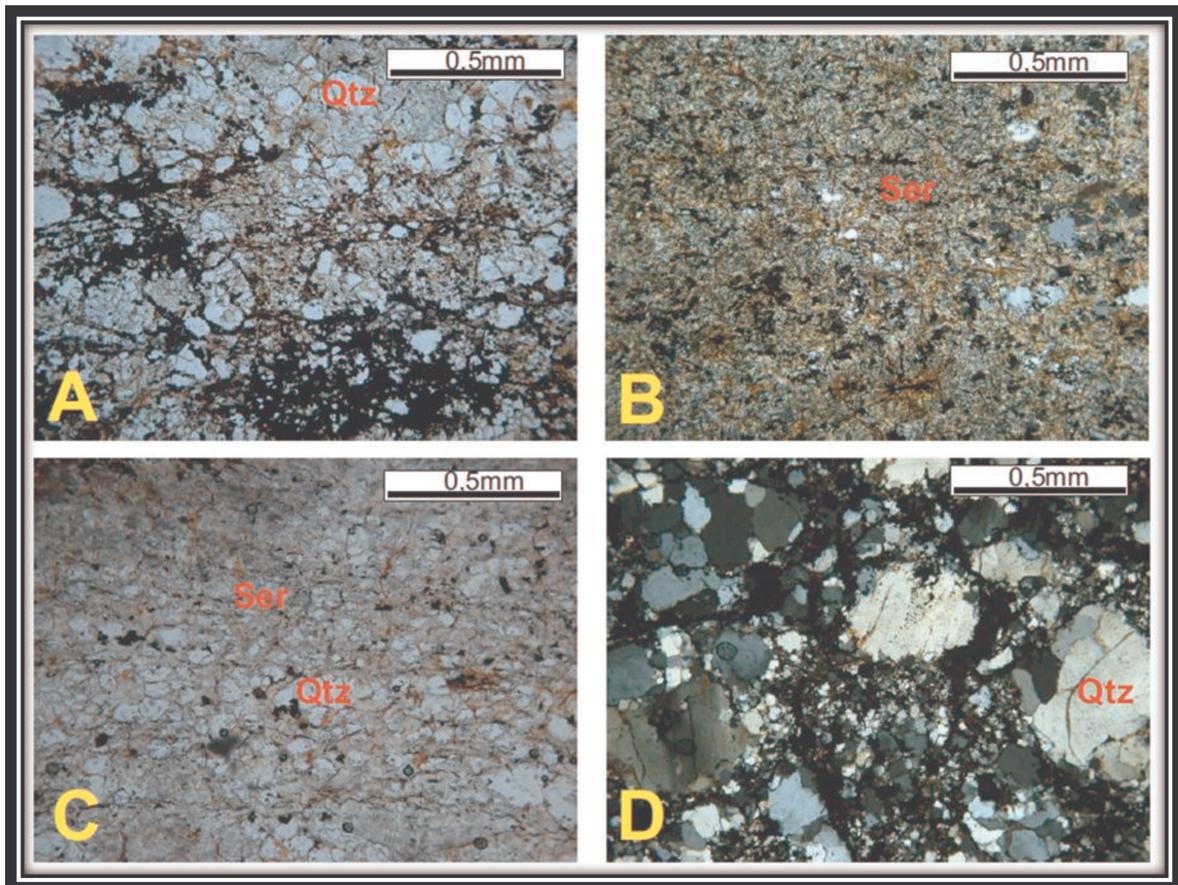


Figura 8: Fotomicrografia (a) Evidenciando uma porção mais rica em óxido de ferro. (b) Grande quantidade de sericita radial. (c) Camada rica em quartzo e sericita. (d) Camada evidenciando formação de subgrãos de quartzo com extinção ondulante.

1.3. Calciossilicática.

Essas rochas ocorrem próximo do açude em Salgado de Teodoro. São rochas bandadas com camadas brancas variando de 0,5 a 3,0 centímetros compostas por quartzo e níveis variando de 0,2 a 1,0 centímetro de coloração esverdeada.

Esse litotipo apresenta-se deformado com dobras cônicas inclinadas de até 15 centímetros de amplitude, evidenciando um evento deformacional em regime dúctil (figura 9).

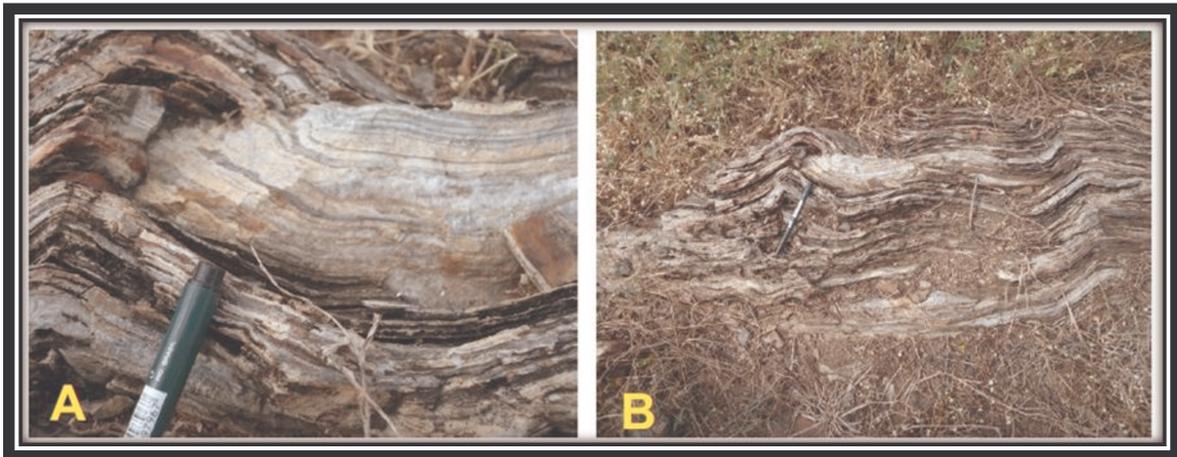


Figura 9: (a) Rocha calciossilicática evidenciando as camadas de quartzo e clorita dobradas. (b) Afloramento de rocha calciossilicática dobrada.

Em lâmina delgada esse litotipo apresenta uma textura granoblástica sendo composto por calcita (25%), muscovita (10%), clorita (15%) e sericita (35%).

Os minerais se apresentam em camadas, sendo algumas ricas em cristais de calcita (Figura 10-B) com tamanho inferior a 0,5 milímetros e muscovita, e outras formadas por uma massa fina de sericita (Figura 10-C) e clorita.

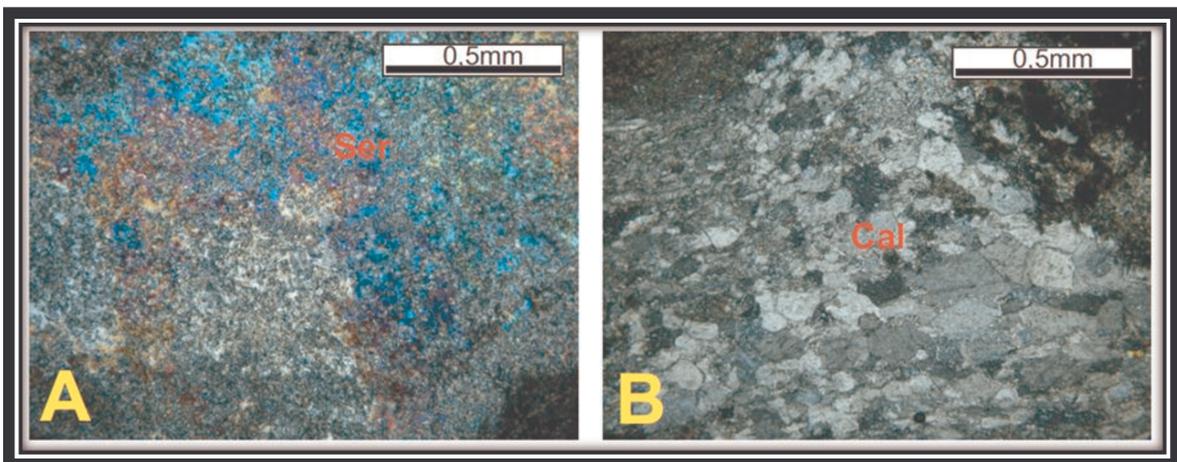


Figura 10: (a) Fotomicrografia de camada rica em sericita (b) Fotomicrografia com camada rica em calcita.

1.4. Rochas Vulcanoclásticas.

Essa classe de rocha foi identificada próximo ao açude na localidade de Salgado Teodoro, no ponto TJRB – 8, sendo subdividida em tufos, fino e intermediário, e brecha piroclástica.

As rochas vulcanoclásticas estão dispostas paralelamente ao *trend* NE-SW, ocorrendo predominantemente na porção central do corpo.

Os tufos são rochas de coloração cinza de granulação fina, com fragmentos de tamanho máximo de quatro milímetros (figura 11-D-F). A brecha piroclástica é formada por uma matriz vulcânica de coloração cinza arroxeada com tamanho dos fragmentos variando de poucos milímetros, e por seixos vulcânicos com até dez centímetros de diâmetro (figura 11-A-B-C).

Os tufos foram baseados na definição de Sial et al (1984), que os considera como rochas piroclásticas baseadas na abundância relativa dos tipos piroclásticos incorporados, sendo dominados por poeira, cinza e lúpili.

São rochas de textura porfirítica composta por quartzo (30%), feldspatos (10- 15%), sericita (20-35%), calcita (5-10%), epídoto (5-10%) clorita (< 1%) e opacos (< 10%).

Os cristaloclastos de quartzo se apresentam de forma anédrica a euédrica e com extinção ondulante (figura 12-A), já os cristaloclastos de plagioclásio e ortoclásio tem forma anédrica a subédrica e encontram-se intensamente sericitizados (figura 12-B).

A matriz cinerítica (figura 12-D) é composta por quartzo e sericita, e subordinadamente massa de calcita associada à microcristais de epídoto, e opacos.

A brecha piroclástica em lâmina delgada é composta por seixos vulcânicos de composição riolítica caracterizada por análise litoquímica, de forma anédrica com até 4 mm de diâmetro e uma matriz fanerítica fina composta por quartzo e sericita, também de composição riolítica definida pelo estudo litoquímico.

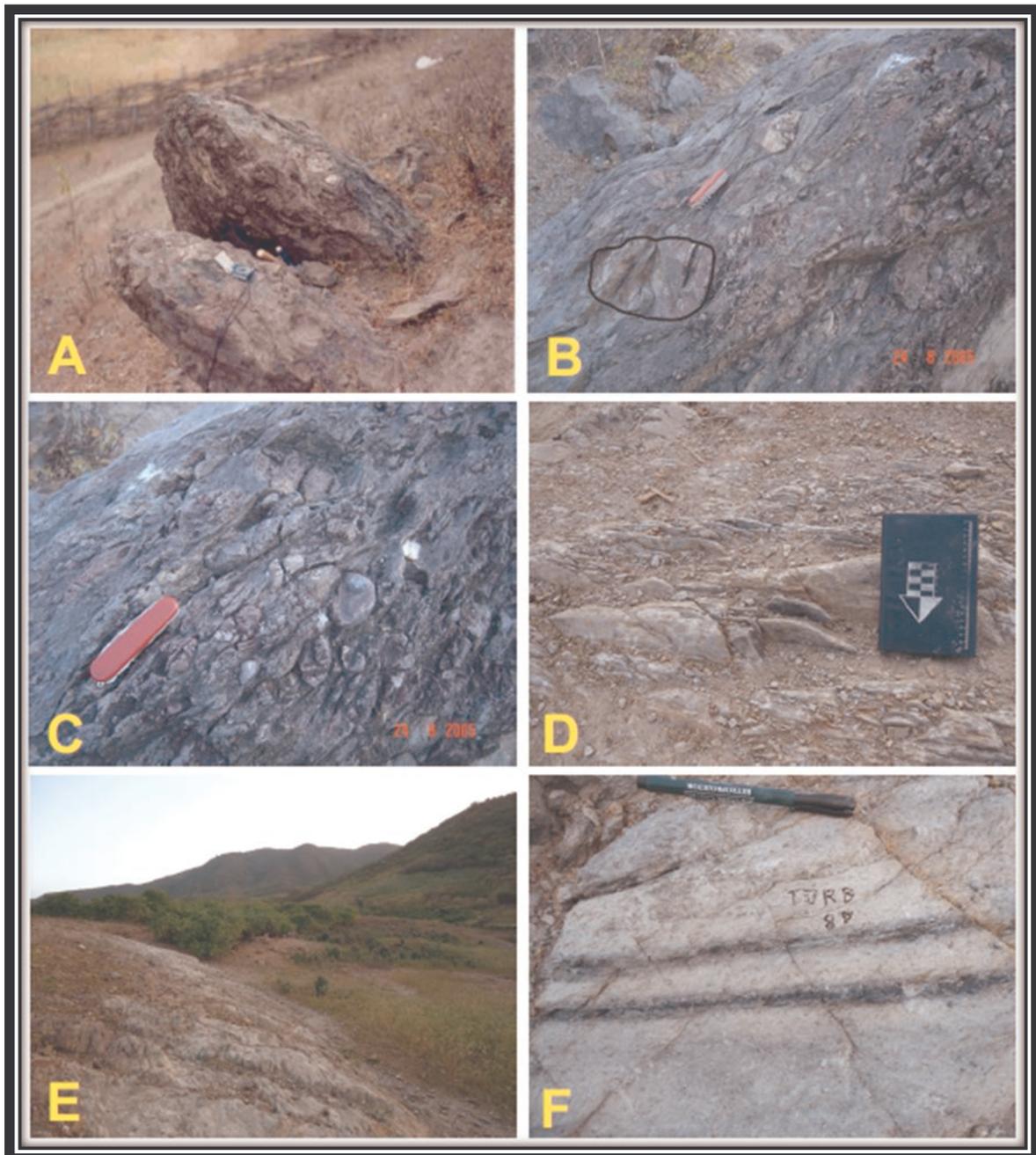


Figura 11: (a) Brecha piroclástica com seixos de rochas vulcânicas dispersas numa matriz vulcânica. Açude da localidade de Salgado do Teodoro. (b) Seixo vulcânico de composição riolítica, em detalhe seu diâmetro. (c) Seixos vulcânicos dispersos numa matriz vulcânica de composição riolítica. (d) Tufo afanítico. (e) Vista geral do afloramento de Tufo fanerítico fino. (f) Tufo fanerítico fino.

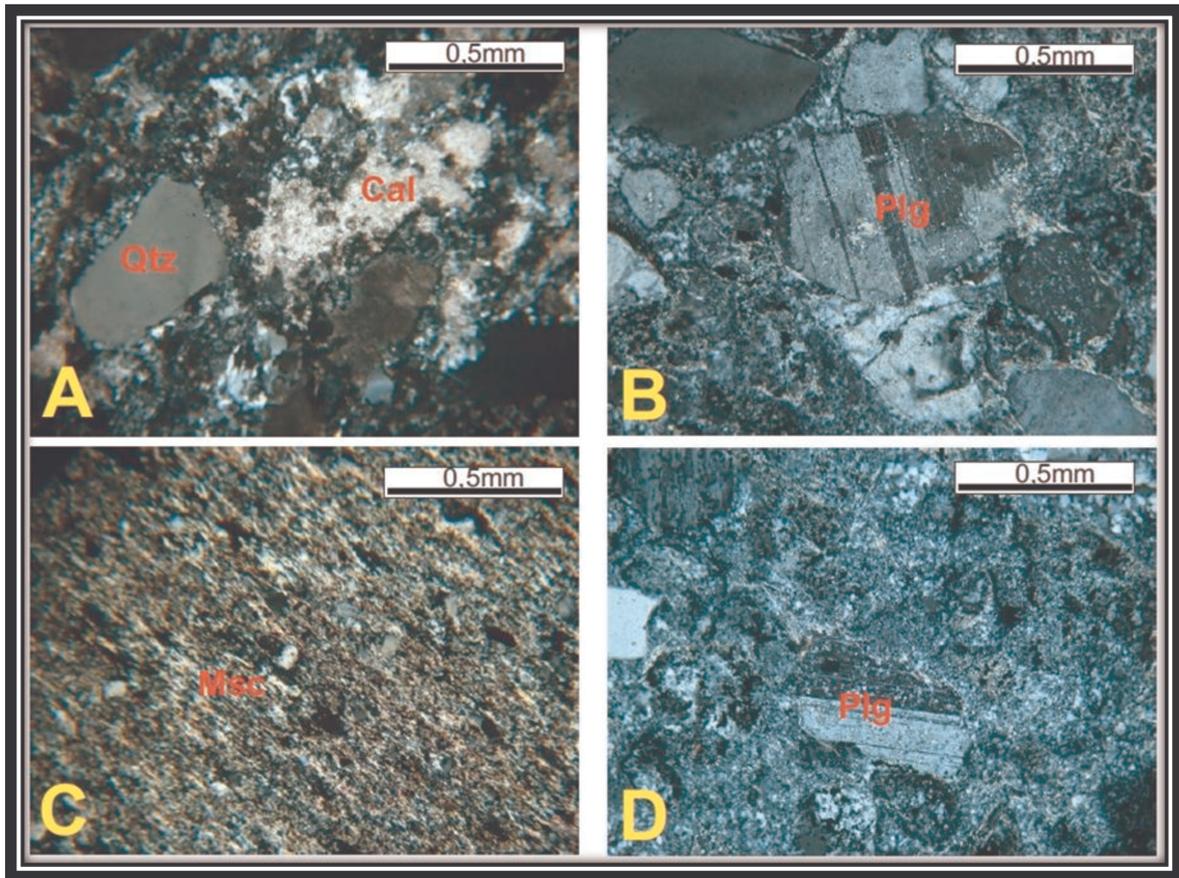


Figura 12: (a) Fotomicrografia mostrando cristaloclastos de quartzo subédricos e massa de calcita numa matriz tufacea composta por quartzo. (b) Tufo com textura glomeroporfirítica com cristaloclastos de plagioclásio e quartzo. (c) Tufo de granulação fina com matriz rica em muscovita. (d) Cristal de plagioclásio sericitizado em uma matriz cinerítica, em tufo.

Capítulo 4.

1. Caracterização Geoquímica da Unidade Metavulcânica Saquinho.

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com as análises químicas das rochas metavulcânicas da Unidade Saquinho. Os litotipos analisados foram agrupados de acordo com suas características macroscópicas e petrográficas visando à caracterização da sua evolução química.

Para o estudo litoquímico foram selecionadas 09 amostras, sendo 04 de riolitos, e 05 de rochas piroclásticas. Das piroclásticas têm-se três tufo e uma brecha, que por sua vez foi dividida em 02 amostras, uma de sua matriz e outra de um seixo (Figura 13). Devido ao acervo relativamente pequeno não foi possível excluir amostras com valores elevados de “perda ao fogo” (> 2%). O conjunto de amostras foi submetido à análise litoquímica para elementos maiores (na forma de óxidos de Si, Al, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, P e Fe) e elementos traço (incluindo terras raras) mais comuns, porém nas determinações dos elementos: Ce, Cs, La, Nd, Sc, Sn e U os valores obtidos são considerados indicativos. Os resultados analíticos são apresentados na Tabela 1 e 2.

As determinações para elementos maiores e traços foram efetuadas por Fluorescência de Raios-X, no laboratório de Geoquímica Analítica do Instituto de Geociências da UNICAMP. A preparação das amostras incluiu trituração e moagem, determinação de perda ao fogo a 1000°C (% PF), preparação de discos de vidro para elementos maiores e menores e pastilhas prensadas para elementos traço.

Para o tratamento dos dados e elaboração dos diagramas de classificação, variação química, afinidade tectônica e multielementares, foram utilizados os softwares Excel, CORELDRAW e IgPet.

Amostra	TJRB 8D	TJRB 8E	TJRB 8F	TJRB 17	TJRB 17	TJRB 17	TJRB 5
Nº Lab.	L-95	L-96	L-97	L-98-A	L-98-B	L-98	L-99
(%)						média	
SiO₂	84,03	73,79	70,51	69,42	69,41	69,41	75,91
TiO₂	0,413	0,408	0,937	0,426	0,442	0,434	0,275
Al₂O₃	7,10	11,17	10,55	14,14	14,24	14,19	11,51
Fe₂O₃	3,62	4,70	7,12	4,68	4,81	4,74	3,17
MnO	0,009	0,048	0,048	0,111	0,105	0,108	0,004
MgO	0,29	0,15	0,79	0,33	0,34	0,33	0,09
CaO	0,15	0,56	1,58	0,08	0,08	0,08	0,04
Na₂O	1,36	3,16	1,50	3,27	3,24	3,25	2,33
K₂O	2,27	4,80	4,82	6,07	6,18	6,13	6,36
P₂O₅	0,109	0,076	0,231	0,100	0,104	0,102	0,039
P.F.(1000 °C)	0,89	0,78	2,09	0,91	0,92	0,92	0,36
Soma	100,2	99,6	100,2	99,5	99,9	99,7	100,1
(µg g ⁻¹)							
Ba	903	2118	1948	2230	2248	2239	1273
Ce	63	252	161	639	645	642	262
Cr	6,9	8,7	9,5	4,2	<2,5	4,2	7,8
Cs	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7
Cu	5,8	18,4	15,7	4,8	5,4	5,1	5,4
Ga	12,1	12,0	18,5	21,8	21,9	21,9	17,8
La	42	47	63	<6	<6	<6	116
Nb	10,9	19,4	17,7	25,7	26,4	26,1	20,7
Nd	42	65	58	212	230	221	91
Ni	2,7	<1,5	3,2	9,9	8,7	9,3	<1,5
Pb	12,1	24,9	23,8	23,9	24,3	24,1	12,1
Rb	88	85	152	223	226	225	185
Sc	7	8	16	8	4	6	4
Sn	<3	3	7	6	4	5	6
Sr	50	127	95	97	98	97	56
Th	11,9	25,0	16,2	28,8	28,5	28,7	28,8
U	<3	3	3	4	4	4	4
V	17,1	29,4	55,8	6,7	8,5	7,6	7,8
Y	46	43	44	99	102	101	69
Zn	35	41	92	96	99	97	17,5
Zr	264	470	434	612	656	634	447

Tabela 1: Resultados analíticos da Fluorescência de Raios-X.

Amostra	TJRB 3	TJRB 12	TJRB 8A	TJRB 8B
Nº Lab.	L-100	L-101	L-102	L-103
(%)				
SiO₂	72,28	62,41	61,74	67,97
TiO₂	0,379	0,688	1,081	0,456
Al₂O₃	12,33	15,94	15,29	9,17
Fe₂O₃	3,51	8,58	9,79	2,81
MnO	0,052	0,032	0,058	0,058
MgO	0,43	0,47	2,33	0,57
CaO	1,23	0,15	0,48	7,93
Na₂O	3,64	2,47	1,27	1,62
K₂O	4,92	7,72	4,98	5,02
P₂O₅	0,073	0,132	0,167	0,089
P.F.(1000 °C)	0,96	1,19	3,02	3,35
Soma	99,8	99,8	100,2	99,0
(µg g ⁻¹)				
Ba	907	3231	829	2214
Ce	266	366	190	91
Cr	14,3	3,0	70	12,7
Cs	<7	<7	<7	<7
Cu	8,9	12,0	3,8	15,3
Ga	24,7	21,8	19,3	13,0
La	84	176	103	61
Nb	47	32	10,9	15,5
Nd	116	142	106	44
Ni	5,4	<1,5	38	3,6
Pb	21,1	29,6	5,5	10,6
Rb	145	237	232	141
Sc	4	16	21	7
Sn	<3	8	4	6
Sr	77	114	52	173
Th	18,0	26,0	7,9	12,0
U	4	14	3	<3
V	13,1	51	178	18,7
Y	101	107	59	37
Zn	147	91	62	24,2
Zr	539	1186	246	302

Tabela 2: Continuação dos resultados analíticos da Fluorescência de Raios-X.

1.1. Riolitos.

Esse litotipo tem seus teores de sílica variando entre 62 a 75% e segundo o diagrama TAS são classificadas como traquitos e riolitos (figura 14).

Em termos de afinidade geoquímica, segundo o diagrama de Irvine e Baragar (1971) (figura 15), alcalis versus sílica, que classifica quanto à alcalinidade, com exceção da amostra TJRB – 12 de afinidade alcalina, as demais amostras apresentam afinidade subalcalina. De acordo com o diagrama AFM (figura 16), as amostras TJRB – 03, TJRB – 05, TJRB – 17 fazem parte da série cálcio-alcalina, enquanto que a amostra TJRB – 12 apresentam afinidade toleítica. Segundo o diagrama $K_2O : SiO_2$ (figura 17), as rochas se enquadram na série cálcio-alcalina de alto potássio e na série alcalina ultrapotássica denominada de série shoshonítica.

Em relação ao índice de alumina, os litotipos variam de meta a peraluminoso (figura 18). Os diagramas de Whalen *et al* (1987) classificam estas rochas como granitos do tipo A (figura 19).

Os diagramas *Harker's* (figura 20) visam caracterizar *trend's* entre grupo de amostras cogenéticas permitindo evidenciar a presença de séries magmáticas ou mesmo anomalias. Como mostrado nos diagramas SiO_2 vs Al_2O_3 , TiO_2 , MgO e Fe_2O_3 as correlações geoquímicas são negativas formando *trend's* lineares. No diagrama SiO_2 vs Na_2O e K_2O , com exceção da amostra TJRB-5, os pontos mostram, respectivamente, uma correlação positiva e negativa. Os diagrama de SiO_2 vs CaO mostra uma linha reta próxima ao eixo da abscissa devido os baixos valores desse óxido. Por fim, o diagrama de SiO_2 vs MnO , apresenta os pontos dispersos sem correlação geoquímica, e a amostra TJRB-5 apresentou valor zero para este óxido.

Os diagramas de multielementos de Pearce (1983) normalizado ao MORB (figura 21), e de Sun (1980) normalizado aos Condritos (figura 22), mostram um padrão de enriquecimento em elementos mais incompatíveis com relação aos elementos menos incompatíveis, e apresenta anomalias fortemente negativas para nióbio, estrôncio, titânio e fósforo e anomalias positivas para cério, bário, tório e urânio. Como os valores analíticos para cério e urânio são apenas indicativos, devem-se descartar essas anomalias, ficando apenas com o pico de bário e tório.

1.2. Rochas Piroclásticas.

Essa classe de rochas vulcânicas é composta por tufos e brecha piroclástica. São rochas que tem seus teores de sílica variando entre 61 a 84% e segundo o diagrama TAS de Cox *et al.*(1979), são classificadas como andesitos, dacitos e riolitos (figura 14).

Em termos de afinidade geoquímica, segundo o diagrama de Irvine e Baragar (1971) (figura 15), alcalis versus sílica, que classifica quanto à alcalinidade, as amostras apresentam afinidade subalcalina. De acordo com o diagrama AFM (figura 16), a amostra TJRB -08B faz parte da série cálcio-alcalina, enquanto que o restante das amostras apresenta afinidade toleítica. Segundo o diagrama $K_2O : SiO_2$ (figura 17), as rochas variam da série cálcio-alcalina e cálcio-alcalina de alto potássio, até a série ultrapotássica ou shoshonítica.

Em relação ao índice de alumina, os litotipos variam de meta a peraluminoso (figura 18). Os diagramas de Whalen *et al.* (1987) classificam estas rochas como granitos tipo I ou S e majoritariamente como granitos do tipo A (figura 19).

Segundo os diagramas *Harker's* (figura 20) de SiO_2 vs Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , MnO e K_2O as correlações geoquímicas são negativas formando *trend's* lineares. Nos diagramas SiO_2 vs Na_2O e CaO , os pontos se apresentam dispersos sem correlação geoquímica.

Os diagramas de multielementos de Pearce (1983) normalizado ao MORB (figura 21), e de Sun (1980) normalizado aos Condritos (figura 22), mostram para essas rochas um padrão de enriquecimento em elementos mais incompatíveis com respeito aos elementos menos incompatíveis, e apresenta anomalias fortemente negativas para nióbio, estrôncio, titânio e fósforo e anomalias positivas para cério, bário, tório e urânio, porém, como os valores analíticos para cério e urânio são apenas indicativos, devem-se descartar essas anomalias, ficando apenas com o pico de bário e tório.

- Rochas Piroclásticas
- Diques Félsicos
- ▲ Seixo Brecha Piroclástica
- + Matriz Brecha Piroclástica

Figura 13: *Legenda unificada.*

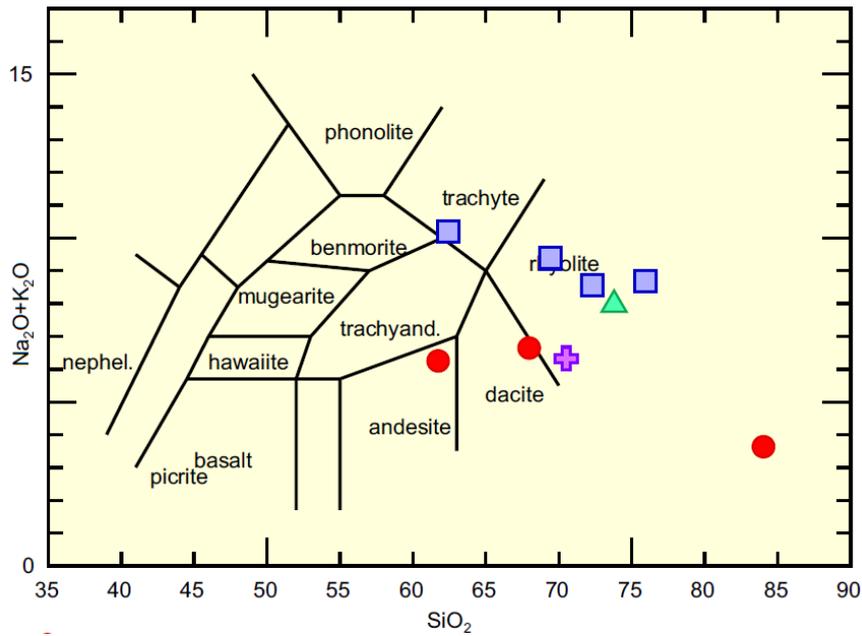


Figura 14: *Diagrama de Cox et al (1979).*

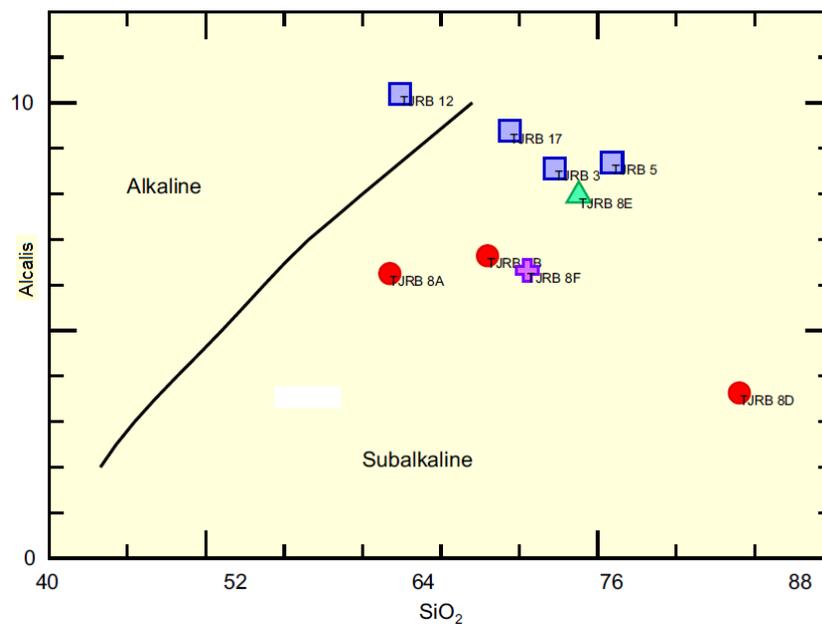


Figura 15: *Diagrama de alcalinidade de Irvine e Baragar (1971).*

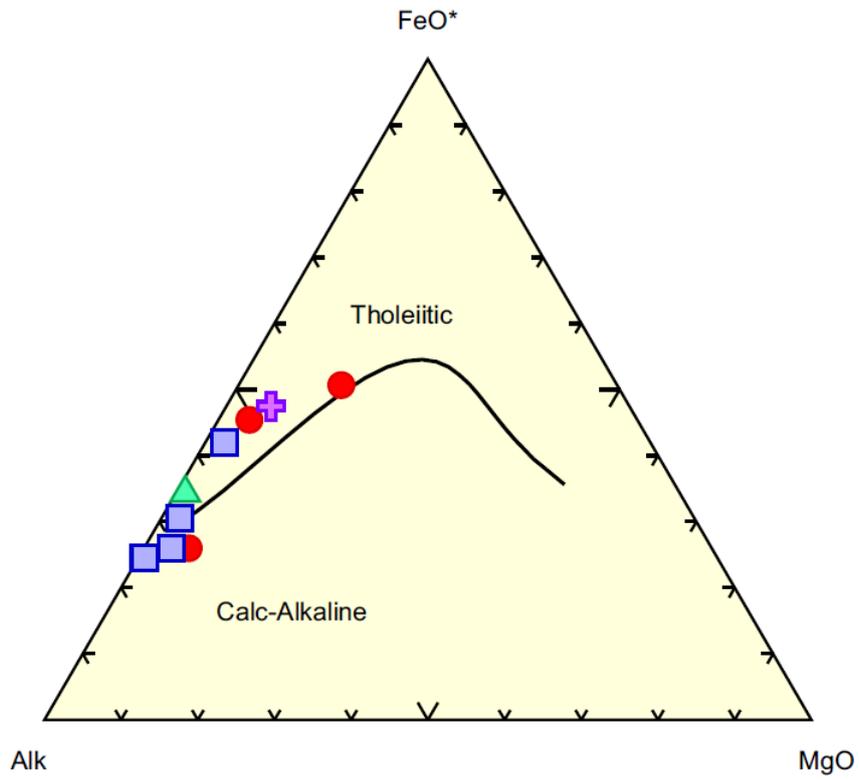


Figura 16: Diagrama AFM de Irvine.

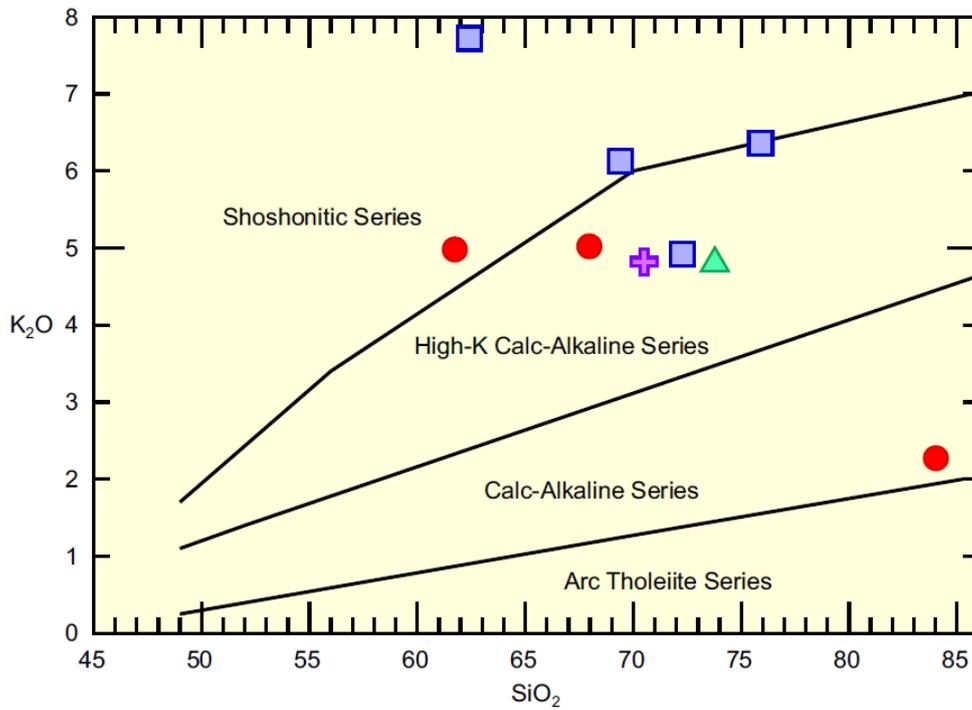


Figura 17: Diagrama K₂O : SiO₂ de Peccerilo & Taylor (1976).

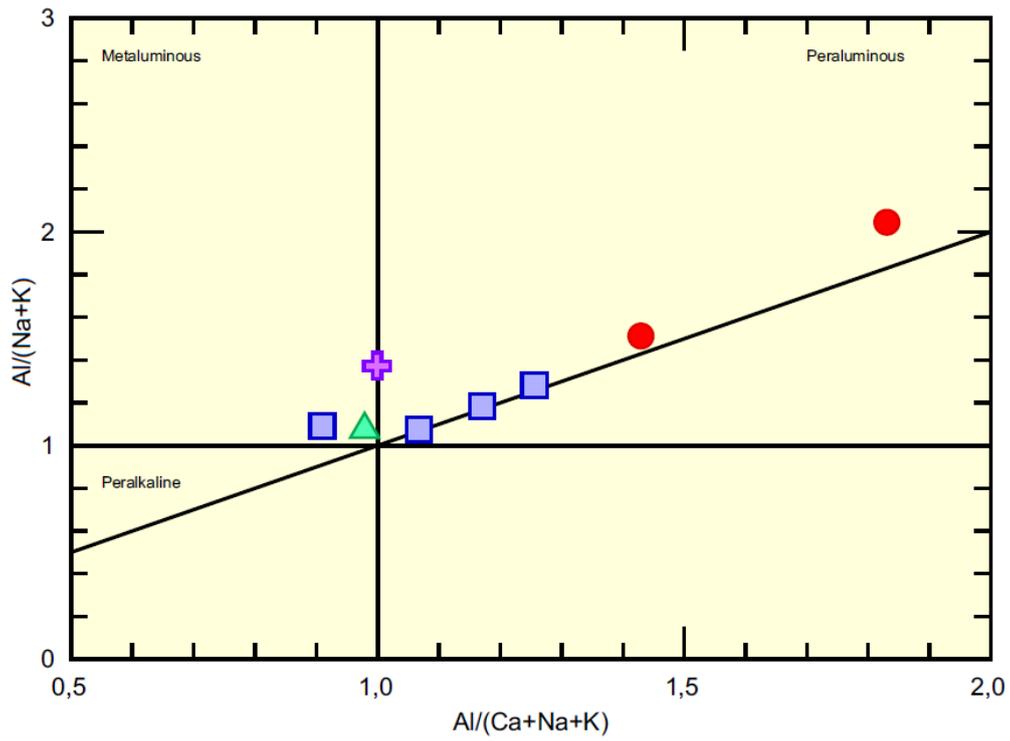


Figura 18: Diagrama de Shand (1943).

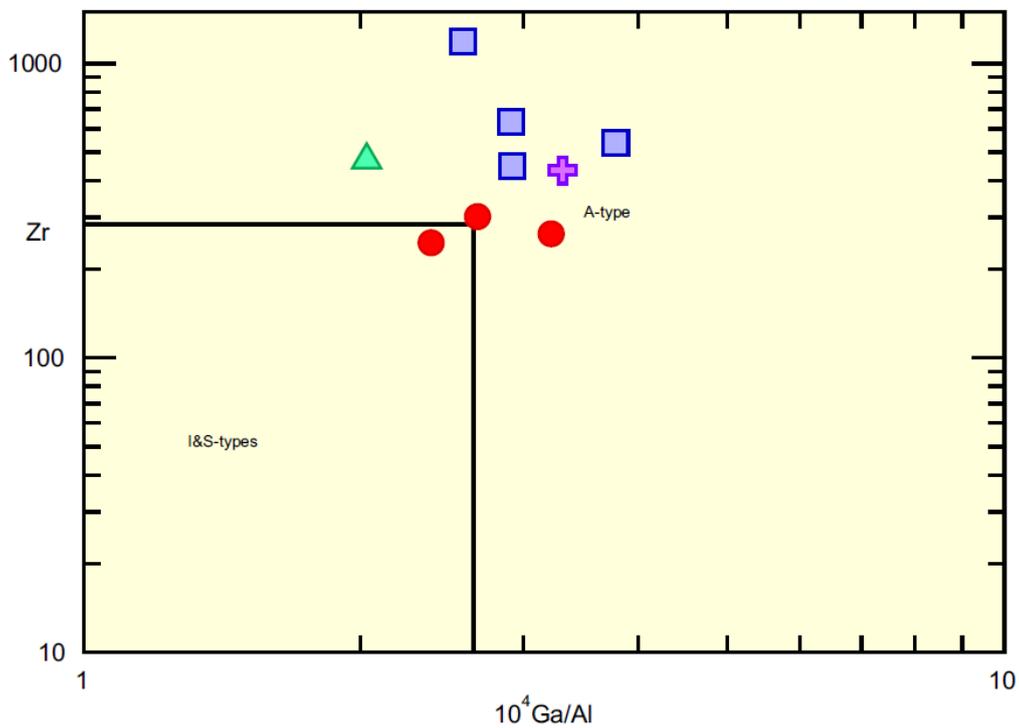


Figura 19: Diagrama de Whalen et al (1987).

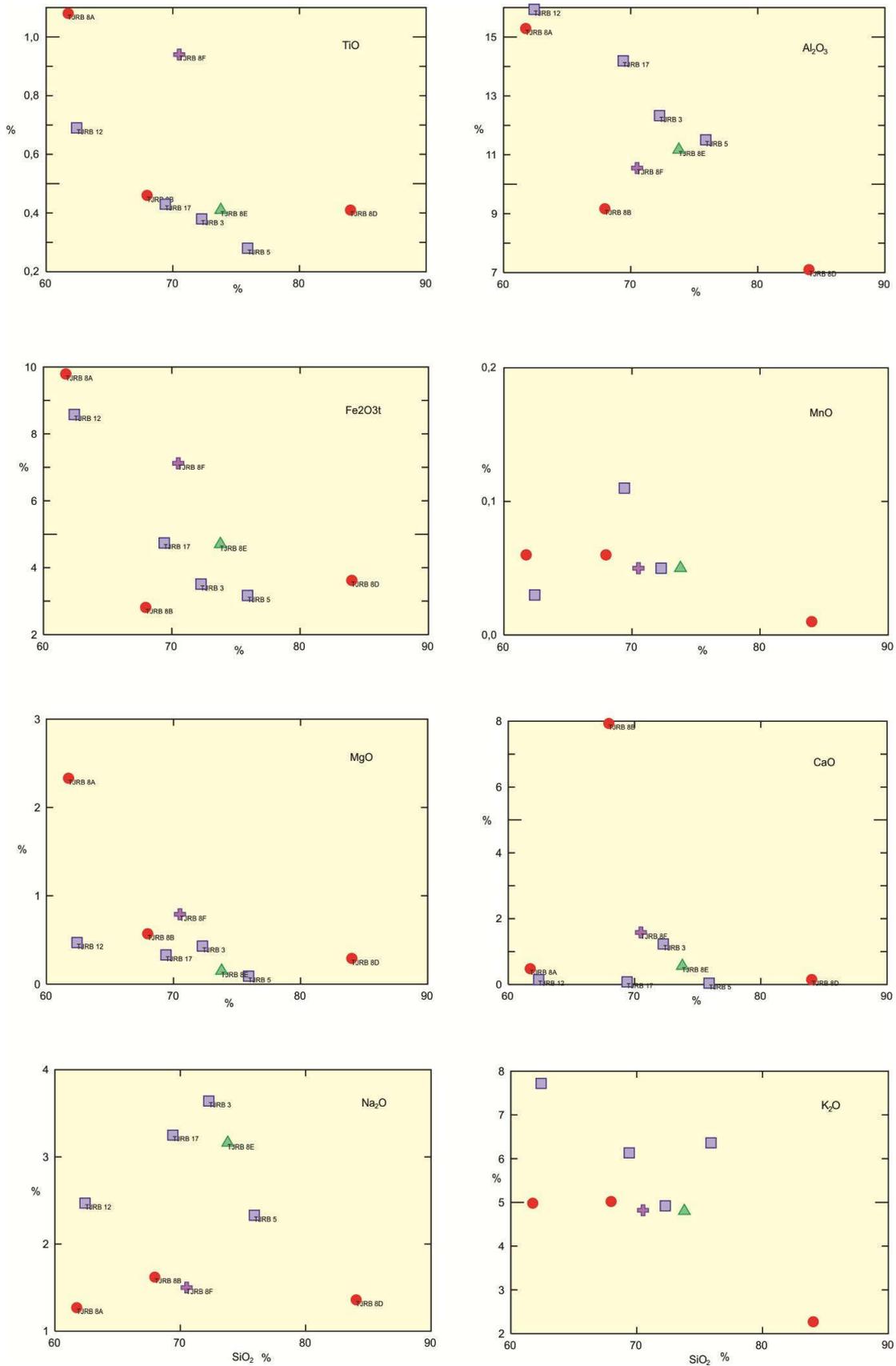


Figura 20: Diagramas binários de Harcker.

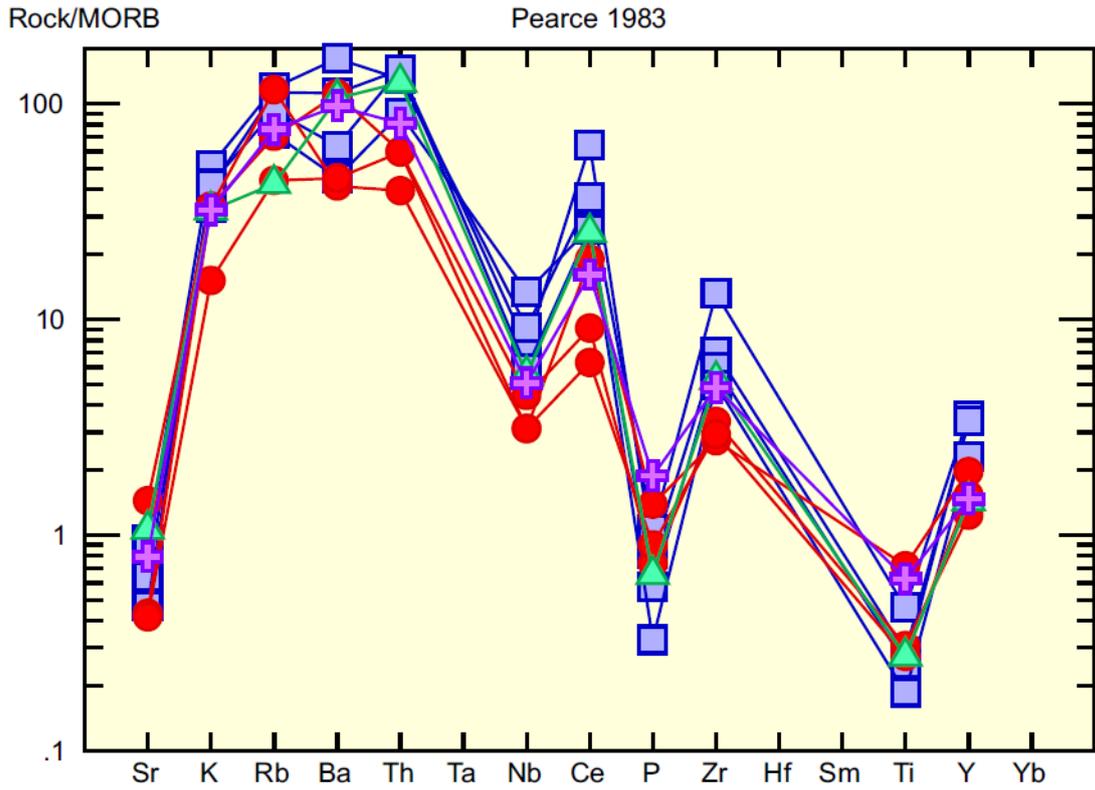


Figura 21: Diagrama Multielementar de Pearce (1983) normalizado ao MORB.

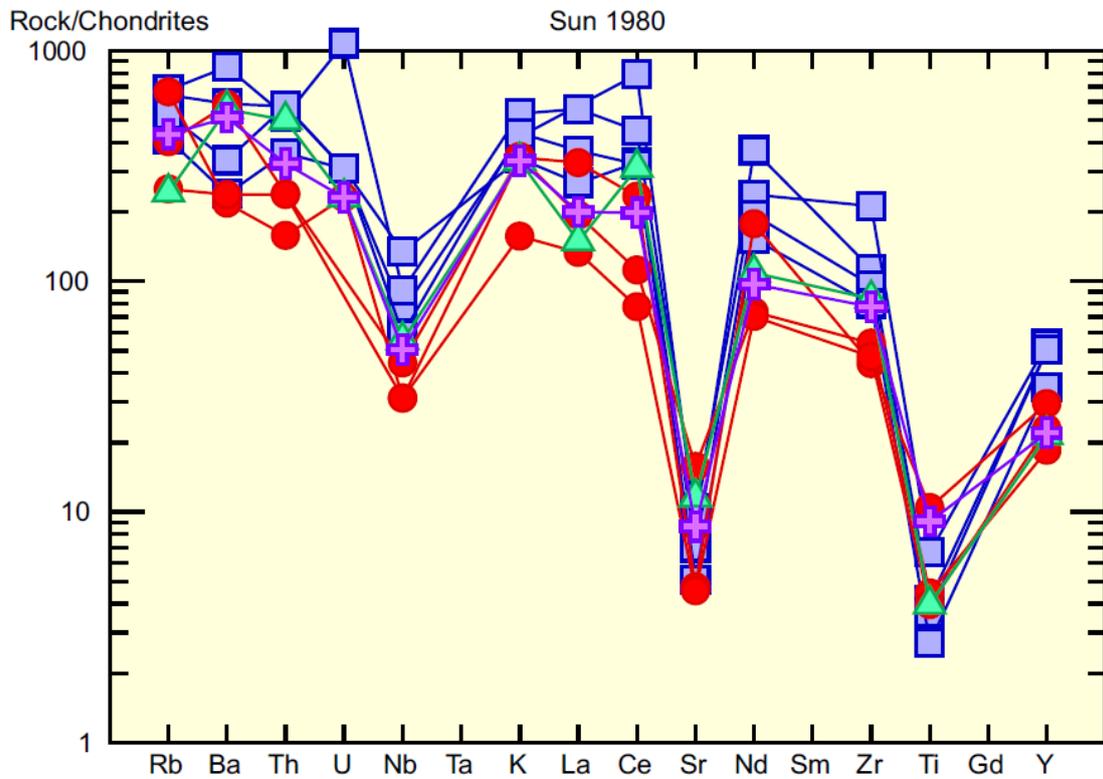


Figura 22: Diagrama Multielementar de Sun (1980) normalizado aos Condritos.

1.3. Ambiente Tectônico.

Os diagramas geotectônicos de Pearce *et al.* (1984) mostram que os granófiros correspondem a rochas formadas em ambiente intraplaca, porém as rochas piroclásticas caem na intersecção entre ambiente intraplaca e arco magmático (figura 23) e no ponto triplo entre ambiente intraplaca, cadeia meso-oceânica e arco magmático (figura 24).

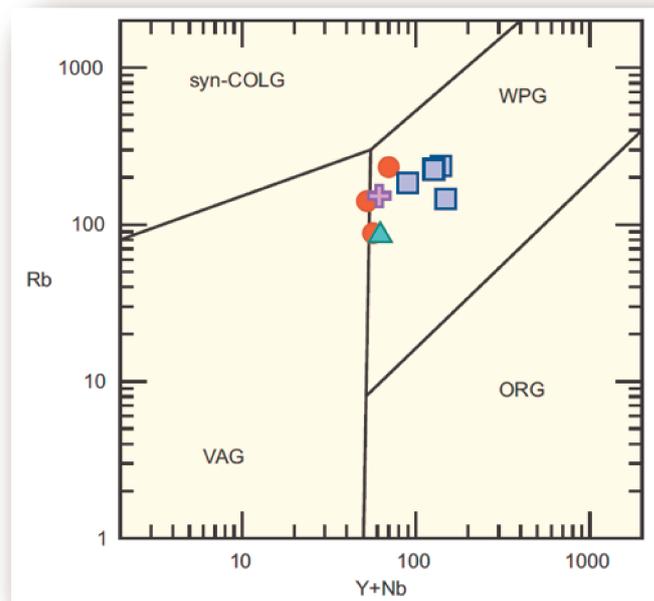


Figura 23: Diagrama de afinidade tectônica de Pearce(1984).

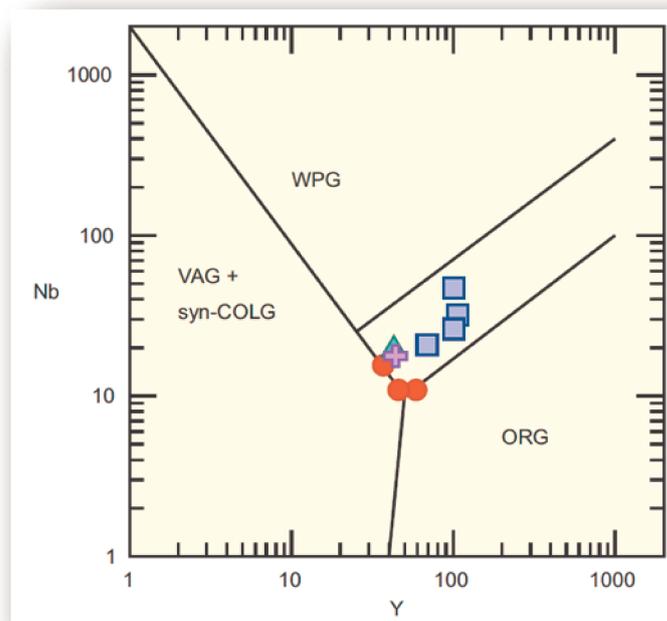


Figura 24: Diagrama de afinidade tectônica de Pearce(1984).

Capítulo 5.

1. Discussões e Conclusões.

O trabalho de campo realizado que objetivou a descrição dos litotipos metavulcânicos da Unidade Saquinho, como aspectos litológicos e estruturais, relações de contato, e posterior análise petrográfica e litoquímica, permitiu caracteriza-los como, granófiros, riloitos e rochas vulcanoclásticas, sendo estas representadas por tufos e brechas piroclásticas.

A partir dos estudos petrográficos foi possível identificar características texturais e mineralógicas que fornecem importantes informações sobre metamorfismo e hidrotermalismo, magma progenitor e a evolução desse vulcanismo ao longo da formação dessa Unidade.

A paragênese mineral composta por sericita \pm epídoto \pm clorita \pm carbonato sugere um metamorfismo regional de baixa temperatura. A matriz cinerítica fina presente nos granófiros e nos tufos, sugere acumulação de material vitroclástico. Os cristaloclastos de quartzo e feldspato indicam magmas com alta taxa de cristalização e sua intensa fragmentação sugere impacto ao longo do conduto magmático ou transporte superficial turbulento. Os golfos de corrosão ou embaiamento dos fenocristais de quartzo nos granófiros foram formados durante a ascensão e extravasamento do magma, devido o aumento da solubilidade da sílica com a diminuição da pressão, e como consequência os cristais de quartzo que estavam inicialmente em equilíbrio no líquido são parcialmente reabsorvidos (Mcphie et al, 1993). As texturas de devitrificação, representadas por esferulitos nos granófiros, remetem a vetores de temperatura, uma vez que cada tipo de esferulito se forma numa dada temperatura (Lofgren, 1971a). No caso das rochas da Unidade Saquinho, os esferulitos são majoritariamente do tipo esférico, que indica temperaturas baixas, inferiores a 400°C.

No que diz respeito ao estudo litoquímico, as rochas aqui analisadas são de caráter ácido, com traquitos e riolitos representados pelos granófiros, e dacitos e riolitos que compreendem os tufos e brecha piroclástica. Vale ressaltar que a Unidade Saquinho possui rochas básicas, como basaltos, que

foram descritas anteriormente por Santos (1999).

Esses litotipos foram formados a partir de um magma subalcalino, cálcio-alcalino ultrapotássico do tipo A, que evolui de metaluminoso a peraluminoso, e foram formados majoritariamente em um ambiente intraplaca (Diagrama de Pearce *et al.*, 1984), embora algumas amostras plotem no campo de rochas de cordilheira oceânica.

Em relação ao ambiente tectônico de formação dessa Unidade, e a possível colocação desses litotipos no contexto da Tafrogênese Estateriana, deve-se salientar algumas características essenciais das associações petrotectônicas deste tipo de ambiente.

Como dito anteriormente a tafrogênese se desenvolveu durante o Período Estateriano, entre 1,8 – 1,6 Ga, e consistiu de um evento de caráter extensional, que pode ter evoluído de um rifteamento continental, passando por uma margem passiva, até condições de formação de assoalho oceânico.

Sendo assim as rochas ígneas encontradas em riftes continentais são caracterizadas por suítes bimodais, com membros máficos representados por basaltos toleíticos, e félsicos com fonolitos, dacitos e riolitos. A sedimentação neste tipo de ambiente é caracterizada por sedimentos clásticos terrígenos imaturos (arcóseos, quartzitos feldspáticos e conglomerados).

Em ambientes de margem passiva a sedimentação ocorre em plataforma continental, com sedimentos clásticos maduros de águas rasas (arenitos, siltitos e argilitos) e carbonatos, sendo essa sequencia denominada QPC (quartzite, pelite, carbonate), e em talude continental, com espessos pacotes de turbiditos.

Se o processo de rifteamento evoluir para um ambiente de formação de assoalho oceânico, as rochas predominantes são basaltos toleíticos, denominados MORB (mid-ocean ridge basalt), caracterizados por composições de sílica relativamente constante em torno de 50%, baixa concentração de potássio ($K_2O < 0,2\%$) e baixas razões de K/Na.

Tendo esses conceitos em mente deve-se analisar os dados obtidos no presente estudo em conjunto com dados dos autores citados anteriormente.

Essas rochas encontram-se intercaladas com as formações Caiçaras e Trapiá-Frecheirinha do Grupo Ubajara (Hackspacher *et al.* 1988, Santos *et al.* 2004), e foram dispostas dessa maneira devido a falhas de cavalgamento com

movimento para NW, as quais colocam o calcário Frecheirinha e a Ardósia Caiçaras, por cima do corpo vulcânico. Na base das vulcânicas aflora um pacote de calcário desenvolvendo dobras fechadas com eixo inclinado, resposta de uma tectônica compressional que desenvolve um cavalgamento para NW (Figura 25).

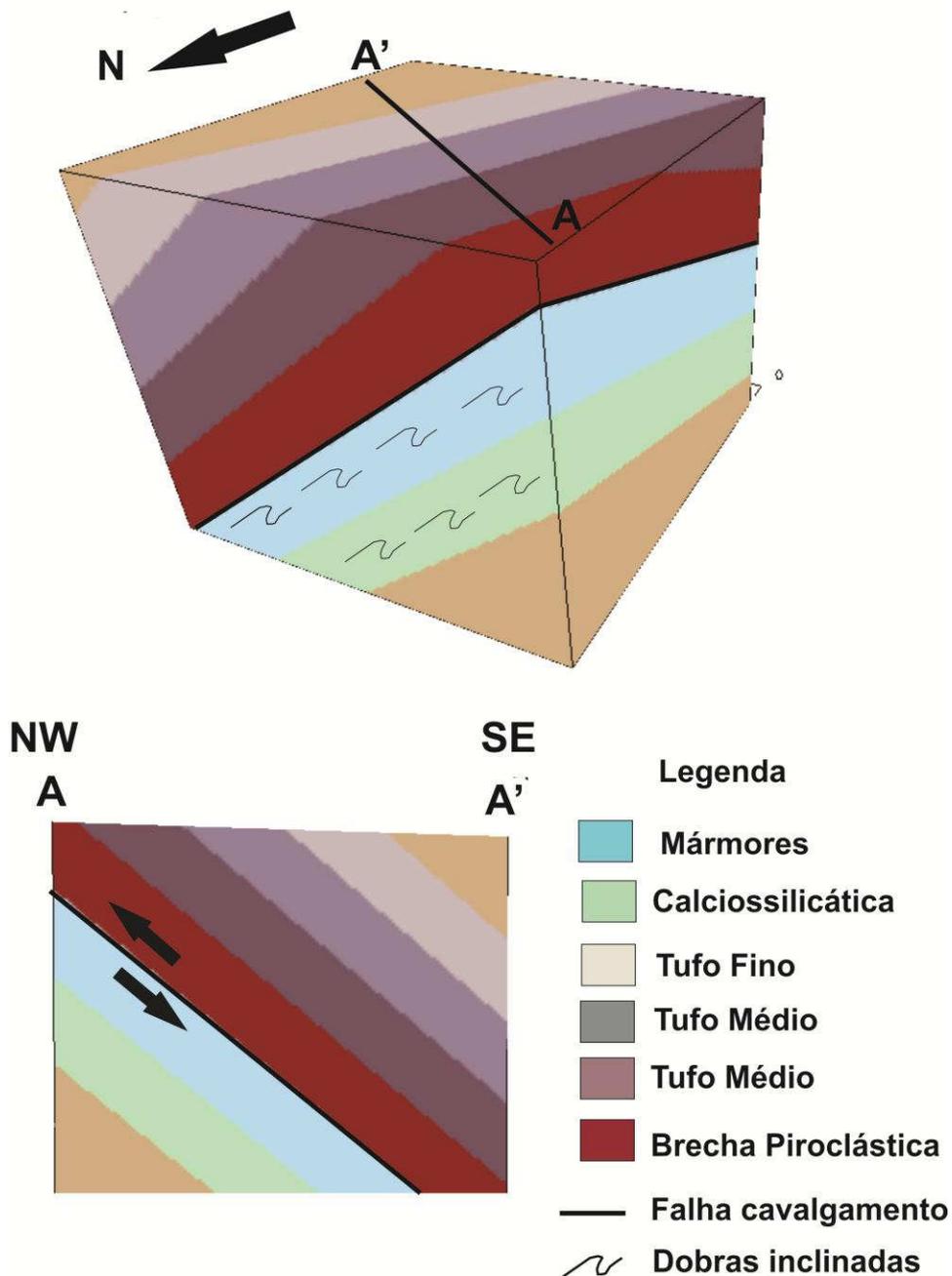


Figura 25: Bloco diagrama e perfil, representando disposição das rochas da Sequência Saquinho e Grupo Ubajara.

Segundo Santos (1999) a Unidade Saquinho pertence ao Proterozóico, com idade de 1,79 Ga (método U-Pb em zircão de metariolito) (*figura 26*), enquanto as rochas supracrustais dos Grupos Ubajara e Martinópole pertencem ao Neoproterozóico, com 777 ± 11 Ma (método U-Pb em zircão, Fetter et al., 2003) para o Martinópole e 1,0 Ga (método Rb-Sr, Novais et al., 1971) para o Ubajara.

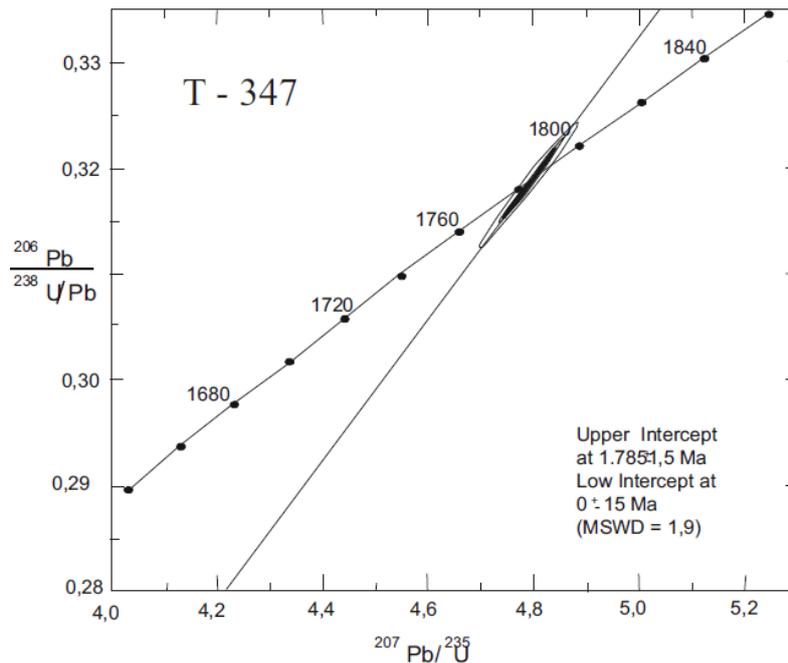


Figura 26: Gráfico com idade de cristalização de metariolito da Unidade Saquinho (Santos 1999)

De acordo com o estudo litoquímico em conjunto com dados de autores como Santos (1999) é possível sugerir que as rochas vulcânicas da Unidade Saquinho são caracterizadas por uma suíte bimodal, se considerarmos termos intermediários como andesitos raros na sequência, sendo essa suíte representada por traquitos, riolitos, dacitos, basaltos e minoritariamente andesitos.

Sendo assim algumas considerações podem ser feitas acerca da Unidade Saquinho. Sabendo que essas rochas datam de 1,79 Ga, são formadas em ambiente intraplaca e, são caracterizadas por uma suíte bimodal, podemos sugerir que a Unidade Saquinho pode pertencer ao contexto da Tafrogênese

Estateriana, num período de rifteamento continental, considerando também os muitos registros desse evento no território nacional. Levando em consideração sua disposição no campo, ou seja, imbricadas às rochas do Ubajara, e as diferentes idades desses grupos, pode-se sugerir que a Unidade Saquinho corresponde a uma sequência metavulcanossedimentar do final do Paleoproterozóico, resultante de um rifteamento do embasamento gnáissico migmatítico, e que durante a orogênese brasileira foi afetado e disposto paralelamente às rochas do Grupo Ubajara.

Essa conclusão é apenas uma hipótese baseada nos dados obtidos e revisão bibliográfica, sendo necessário um estudo mais detalhado dessa Unidade para o melhor entendimento de seu ambiente genético. Seria necessária uma coleta de amostras dos membros básicos, estudo litoquímico para elementos menores, traços e ETR por ICP-MS, e caracterização petrográfica e geocronológica das rochas sedimentares que ocorrem na localidade de Salgado Teodoro junto às rochas da Unidade Saquinho, como quartzitos ferruginosos e carbonatos, tendo em vista uma possível sequência sedimentar de deposição em ambiente de rifte continental.

Capítulo 6.

1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ASH-FLOW tuffs. Coautoria de Charles E Chapin, Wolfgang E Elston. Boulder, CO: Geol. Soc. of America, c1979. 211p., il. (Special paper; v. 180).

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.

BEST, Myron G. Igneous and metamorphic petrology. 2nd ed. Malden: Blackwell, 2006, c2003. 729p., il.

Brito Neves, B.B. Santos, E.J. Van Schmus, W.R. 2000, Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. *In: Cordani, U.G. Milani, E.J. Thomaz-Filho, A. Campos, D.A. (Eds.), Tectonic Evolution of South America*, p.:151-182.

BRITO NEVES, B. B.; SÁ, J. M.; NILSON, A. A.; BOTELHO, N. F. (1995). A tafrogênese Estateriana nos blocos Paleoproterozóicos da América do Sul e processos subseqüentes. *Geonomos*, v. 3 n. 2, p. 1-21.

Caby, R. Sial, A.N. Arthaud M. Vauchez A. 1991. Crustal Evolution ant the Brasiliano Orogeny in Northeast Brazil. *In: Dallmeyer, R.D. Lécorché J.P. (eds.), The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives*, Springer-Verlag, p.: 373-397.

CAS, R. A. F. (Ray A. F.); WRIGHT, J. V. (John V.). Volcanic successions: modern and ancient : a geological approach to processes, products and successions. London: Unwin Hyman, 1988. 528p., il.

Fetter, A.M. Santos T.J.S. Nogueira Neto, J.A. Schmus W.R.V. 1995. Geocronologia U/Pb em zircão e Sm/Nd em rocha total do estado do Ceará - Resultados iniciais. *In: Simp. Geol. do Nordeste. 16. Atas... Recife, Bol. Núcleo Nordeste da SBG. 14: 418-422.*

Fetter, A.H. Van Schmus, W.R. Santos, T.J.S. Arthaud, M. Nogueira Neto, J.A. 1997. Geologic history and framework of Ceará State: Northwest Borborema Province, NE Brazil. *South American Symposium on Isotope Geology, Brazil, Extended Abstracts*, 112-114.

Fetter, A.H. 1999. 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. Tese PhD, University of Kansas. 145 p.

Fetter, A. H., Van Schmus, W. R., Santos, T. J. S., Nogueira Neto, J. A., Arthaud, M. H. 2000. 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*, 30, n 1,2,3 versão CD.

Hackspacher, P.C. Soares, J.S., Petta, R.A. 1988. Geologia do Grupo Ubajara, região de Frecheirinha (CE). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Anais 6: 2661-2677.

NEVES, S.P. Dinâmica do manto e deformação continental: Uma introdução a Geotectônica. 2. ed. Recife: Ed. Universitária – Universidade Federal de Pernambuco. 168 p.

Oliveira, D.C. 1992, Geologia do Gráben de Martinópolis, Área de Campanário/Paula Pessoa (Granja, CE): Implicações na Evolução Litoestratigráfica e Tectonometamórfica do Nordeste do Ceará, *Revista Brasileira de Geociências*, 2: 143-156.

Oliveira, D.C. 2001, Reavaliação da Evolução Tectono-magmática do Graben Jaibaras (nordeste do Brasil). *Acta Geologica Hispanica*, 36, 1-2: 53-95.

Oliveira, D.C. Mohriak, W.U. 2003. Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 20: 351-383.

Santos, T. J.S., 1999. Evolução tectônica e geocronológica do extremo noroeste da Província Borborema. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista. 185p.

Santos, T. J. S. Fetter, A. Hackspacher, P. Van Schmus, W. R. Nogueira Neto, J. A. 2004. Structural and geochronological studies of the Médio Coreá Domain, NE Brazil: Constraints on Brasiliano/Pan-African tectonic evolution in the NW part of the Borborema Province. In: Weinberg, R. Trouw, R. Fuck, R. Hackspacher, P.(eds) *The 750-550 Ma Brasiliano Event of South America*, Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, 17, Paper 9.

Santos, T. J. S. Fetter, A. Hackspacher, P. Van Schmus, W. R. Nogueira Neto, J. A. 2008. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. *Journal of South American Earth Science*, 25: 271-284.

Santos, T.J.S. Dantas, E.L.. Ancelmi, M.F. Silva, W.F. Nogueira Neto, J.A. 2011. U-Pb and Sm-Nd isotopic constraints on the provenance of sedimentary rocks from the NW Borborema Province, Brazil. *Gondwana* 14, abstracts, p.103.

SIAL, A.N., MCREATH, I. *Petrologia Ignea: Os fundamentos e as ferramentas de estudo*. 1ed. Salvador: SBG;CNPq;BUREAU, 1984. 179p, v1.

Torquato, J.R. 1995, A Geologia do Nordeste do Ceará (Uma Visão Histórica), Revista de Geologia da Universidade Federal do Ceará, 8: 7-183.

Torquato, J.R. Nogueira Neto, J.A., 1996, Histografia da Região de Dobramentos do Médio Coreaú, Revista Brasileira de Geociências, 4: 303-314.

VERNON, R. H. (Ronald Holden). A practical guide to rock microstructure. Cambridge: Cambridge University Press, c2004. 594p., il.

WERNIC, E. 2004. Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica, 665 p Editora UNESP, São Paulo.