

Formação Serra da Bocaina: Contribuição do Vulcanismo Paleoproterozoico do Arco Magmático Amoguijá no Bloco Rio Apa, Sul do Cráton Amazônico

Cintha de Deus Souza^{1,3,4,*}
 Maria Zélia Aguiar de Sousa^{1,2,3,4}
 Amarildo Salina Ruiz^{1,2,3,4}
 Maria Elisa Fróes Batata^{4,5}
 Ana Flávia Nunes Brittes^{3,4,7}
 Jean-Michel Lafon^{3,6,7}

Programa de Pós-Graduação em Geociências
 Faculdade de Geociências – (FAGEO)
 Universidade Federal de Mato Grosso – (UFMT)
 Avenida Fernando Corrêa, s/n, Bairro Coxipó
 Cuiabá-MT, Brasil
 CEP 78060-900
 cinthasouza17@gmail.com

Faculdade de Geociências – (FAGEO)
 Universidade Federal de Mato Grosso – (UFMT)
 Avenida Fernando Corrêa, s/n, Bairro Coxipó.
 Cuiabá-MT, Brasil
 CEP 78060-900
 asruiz@gmail.com

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de
 Geociências da Amazônia (GEOCIAM)
 geo.geociam@ufpa.br

Grupo de Pesquisa em Evolução Crustal e
 Tectônica – Guaporé.
 gabillimagel@gmail.com

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e
 Petrologia
 Instituto de Geociências
 Universidade de São Paulo (USP)
 elisabatata@hotmail.com

Laboratório de Geologia Isotópica Pará-Iso
 Instituto de Geociências
 Universidade Federal do Pará (UFPA)
 mlafon@ufpa.br

Programa de Pós-Graduação em Geologia e
 Geoquímica
 Universidade Federal do Pará (UFPA)
 afbrttes@gmail.com

* autor correspondente

Resumo

A Formação Serra da Bocaina compreende rochas vulcânicas efusivas e piroclásticas, paleoproterozoicas, com texturas bem preservadas relativas a um evento plutônico-vulcânico que marcou o sul do Cráton Amazônico, no bloco Rio Apa. Esse registro está situado na serra de São Francisco, município de Porto Murtinho, sudoeste de Mato Grosso do Sul. Análises geológica e petrográfica permitiram distinguir vulcanismo efusivo representado por depósitos vulcânicos coerentes subaéreos, expresso na ocorrência de lavas riolíticas, e também vulcanismo explosivo definido por depósitos ignimbíticos, onde foram identificadas 3 fácies: ignimbrito lítico, ignimbrito rico em cristais e tufo ignimbrito. As rochas explosivas exibem feições diagnósticas de deposição de piroclastos sob altas temperaturas, possivelmente associadas a um ambiente de caldeira. Geoquimicamente, são representadas por magmatismo subalcalino, peraluminoso, ferroso e afinidade com as rochas da série cálcio-alcalina. Determinação geocronológica pelo método U-Pb (SHRIMP) em zircão forneceu idade de 1899 ± 9 Ma para a cristalização dos derrames riolíticos. Os dados obtidos apontam para uma ampla extensão do vulcanismo da Formação Serra da Bocaina que já vem sendo descrito por outros autores e suas rochas revelam importante registro durante o Orosiriano constituindo parte da história evolutiva do Arco Magmático Amoguijá.

Palavras-chave: Formação Serra da Bocaina; Arco Magmático Amoguijá; Bloco Rio Apa; Geoquímica; geocronologia U-Pb (SHRIMP).

Abstract

The Serra da Bocaina Formation comprises Paleoproterozoic effusive and pyroclastic rocks displaying well preserved textures related to a plutonic-volcanic event recorded in the southern of the Amazonian Craton in the Rio Apa Block. This record sits in the São Francisco Hill, municipality of Porto Murtinho, southwestern of the Brazilian state of Mato Grosso do Sul. Geological and petrographic analyses allowed to distinguish between effusive volcanism represented by subaerial coherent volcanic deposits that occur as rhyolite flows, and explosive volcanism that is represented by ignimbrite deposits among which three distinct facies are recognized: Lithic Ignimbrite, Crystal-rich Ignimbrite, and Ignimbrite Tuff. The explosive rocks show diagnostic features of deposition of pyroclasts under high temperatures, and were likely formed in caldera settings. Geochemically, these rocks are compatible with subalkaline, peraluminous and ferrous magmatism as well as show calc-alkaline affinities. A U-Pb (SHRIMP) zircon crystallization age of 1899 ± 9 Ma was obtained for the rhyolite flows. The data obtained suggest a large magnitude for the volcanism that gave rise to the Serra da Bocaina Formation, which has already been described by other authors and is an important Orosirian record of evolutionary history of the Amoguijá Magmatic Arc.

Keywords: Serra da Bocaina Formation; Amoguijá Magmatic Arc; Rio Apa Block; Geochemistry; U-Pb (SHRIMP) Geochronology.

1. INTRODUÇÃO

Ocorrências de rochas vulcânicas na região SW de Mato Grosso do Sul foram descritas por Corrêa *et al.* (1976), Schobbenhaus *et al.* (1979), Correia Filho *et al.* (1981), Araújo *et al.* (1982), Lacerda Filho *et al.* (2006), entre outros. Em recentes trabalhos, Brittes *et al.* (2013) e Plens *et al.* (2013), apontam para um vulcanismo ácido de idade orosiriana de natureza efusiva e piroclástica referente a Formação Serra da Bocaina (1.87 Ga) nas serras da Bocaina e Esperança. Lacerda Filho *et al.* (2006) agrupam essas rochas juntamente com as rochas graníticas da Suíte Intrusiva Alumiador (1.86 Ga) como pertencentes ao Arco Magmático Amoguijá do Terreno Rio Apa, com idades U-Pb (SHRIMP) em zircão de 1.87 a 1.75 Ga.

Brittes *et al.* (2013) caracteriza a Formação Serra da Bocaina (FSB) com rochas

dominantemente de caráter extrusivo com diversos produtos piroclásticos representadas por quatro fácies ignimbríticas: brecha ignimbrítica, ignimbrito rico em cristais, tufo co-ignimbrítico e reoignimbrito, e uma efusiva de composições andesíticas e riolíticas.

O propósito deste trabalho é contribuir para a compreensão da ocorrência de rochas vulcânicas situadas na serra de São Francisco, buscando posicioná-las como uma extensão da FSB ou indicar um novo episódio vulcânico no Terreno Rio Apa. Para isso, foram empregadas caracterizações geológicas e petrográficas, análises geoquímicas e geocronológicas (U-Pb/SHRIMP em zircão) a fim de se definir a petrogênese do magma, a idade do evento vulcânico e o provável ambiente tectônico gerador de suas rochas.

2. GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está inserida nos domínios do Terreno Rio Apa (TRA), sul do Cráton Amazônico (Figura 1). O TRA é um fragmento crustal exposto em área restrita no SW do Mato Grosso do Sul, fronteira com a Bolívia, e estende-se para o norte paraguaio, constitui-se por rochas paleomesoproterozoicas, intrudidas por granitos, recoberto por seqüências sedimentares neoproterozoicas dos grupos Itapocumi e Corumbá e quaternárias da Formação Pantanal, e tem sua evolução tectônica atribuída a formação de uma série de arcos magmáticos complexos (Cordani *et al.* 2010).

Os mesmos autores indicam que ocorreu uma homogeneização isotópica de Sr relacionada a uma deformação tectônica e metamorfismo de médio grau, que teria afetado a região em aproximadamente 1670 Ma, conforme isócronas de referência de Rb-Sr em rocha total. Por conseguinte, em 1300 Ma, datações de Ar/Ar apontam para um aquecimento regional que teria excedido temperaturas de 350°C.

Lacerda Filho *et al.* (2006) propõem uma compartimentação tectônica para o TRA, baseada em caracterizações litoestratigráficas, estruturais, geoquímicas e geocronológicas, correspondendo a: Remanescente de Crosta Oceânica (2.2 a 1.95 Ga), Arco Magmático Rio

Apa (1.95 a 1.87 Ga), Arco Magmático Amoguijá (1.87 a 1.75 Ga) e também são reconhecidas o Magmatismo Máfico Continental e Enxames de Diques Máficos.

Cordani *et al.* (2010), considerando a distribuição geográfica, idade e assinatura isotópica das unidades litotectônicas, sugere a existência de dois domínios diferentes, oriental e ocidental, separados por uma zona de sutura NS e justapostos em torno de 1670 Ma, modelo adotado neste trabalho (Figura 2).

O Domínio Oriental é representado pelos gnaisses Morraria e Caracol, Grupo Alto Tererê, Granito Baía das Garças e os gnaisses, granitos e migmatitos da Província Paso Bravo, enquanto o Ocidental compreende o Gnaisse Porto Murinho, Supersuíte Amoguijá, Suíte Intrusiva Morro do Triunfo, Suíte Gabro-Anortosítica Serra da Alegria e os metassedimentos dos grupos San Luis e Amolar.

Conforme Faleiros *et al.* (2015), o Terreno Rio Apa foi formado pela acreção de arcos magmáticos como uma margem continental ativa em 1950 a 1720 Ma e apresenta uma nova compartimentação geotectônica baseando-se em dados geológicos e geocronológicos U-Pb (SHRIMP), composto por 3 domínios principais, sendo eles: sudeste, ocidental e oriental.

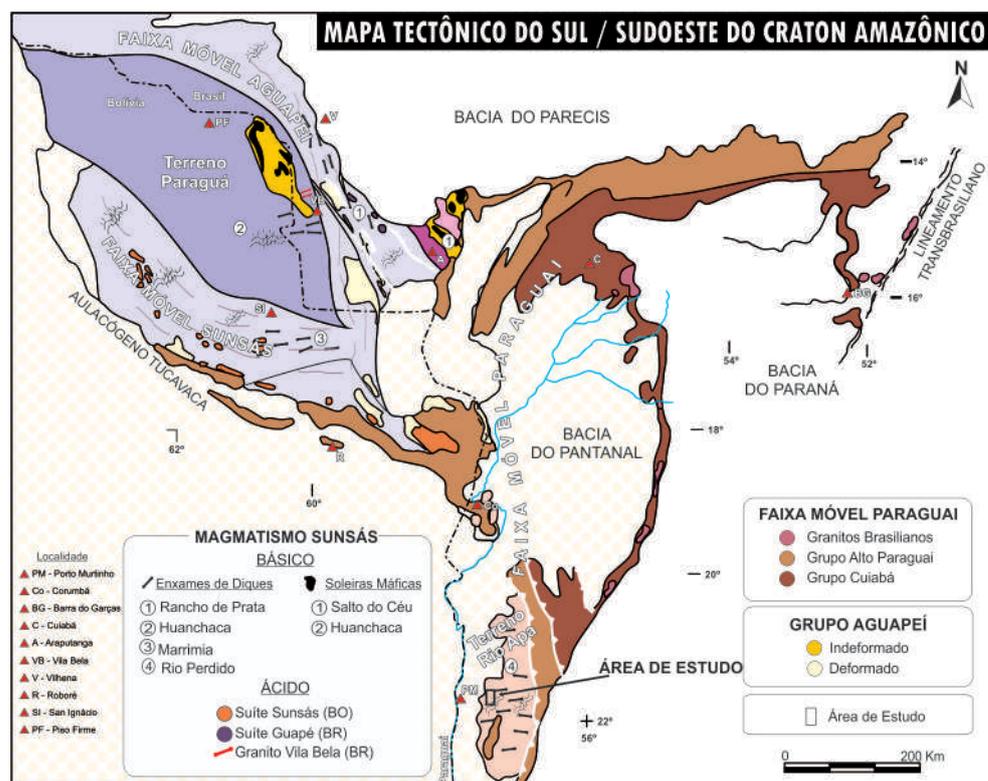


Figura 1.

Mapa tectônico do Sul/Sudoeste do Cratão Amazônico de Ruiz *et al.* (2010) destacando o Terreno Rio Apa.

O Arco Magmático Amoguijá está inserido no Bloco Ocidental e agrupa rochas da Formação Serra da Bocaina e Suíte Intrusiva Alumiador. De acordo com Lacerda Filho *et al.* (2006), Godoy *et al.* (2006), Cordani *et al.* (2010), Brittes *et al.* (2013) o Arco Magmático Amoguijá compreende rochas plutônicas, subvulcânicas e vulcânicas félsicas de afinidade cálcio-alcalina. A fácies plutônica corresponde à Suíte Intrusiva Alumiador e é constituída por granitoides de composição, predominantemente, monzo a sienogranítica, isotrópicos a fracamente anisotrópicos, sin- a tardi- colisionais, de idade U-Pb (SHRIMP) em zircão, paleoproterozoica (1.86 e 1.79 Ga).

As vulcânicas da Formação Serra da Bocaina foram definidas por Araujo (1982), Godoy (2001, 2010), Lacerda Filho *et al.* 2006

3. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DA FORMAÇÃO SERRA DA BOCAINA

As rochas vulcânicas que ocorrem na serra de São Francisco pertencem a Formação Serra da Bocaina e representam o revelo negativo da região, apresentando-se maciças ou com discreta foliação (Figura 3). O mapeamento geológico, em escala 1:100.000, realizado

como riolitos porfíricos e microporfíricos, riolacitos e dacitos, com intercalações de rochas piroclásticas e brechas vulcânicas. Brittes *et al.* (2013) caracterizam as rochas que ocorrem na serra da Bocaina como, predominantemente, explosivas com diferentes produtos piroclásticos como púmices, fragmentos líticos, cristaloclastos, *shards*, cristalites e *fiammes*, de diversos tamanhos e composições, separadas em 4 fácies petrográficas: brecha ignimbrítica, ignimbrito rico em cristais, tufo co-ignimbrítico e reoignimbrito, e uma fácies efusiva de composições andesíticas e riolíticas. As rochas dessa unidade formam uma sequência intermediária a dominantemente ácida, cálcio-alcalina de médio a alto K.

neste trabalho permitiu a identificação de 4 fácies petrográficas nesta unidade, a partir de granulação, cor, texturas e produtos piroclásticos, sendo elas, Ignimbrito Lítico (FIL), Ignimbrito Rico em Cristais (FIRC), Tufo Ignimbrítico (FTI), Efusiva (FE).

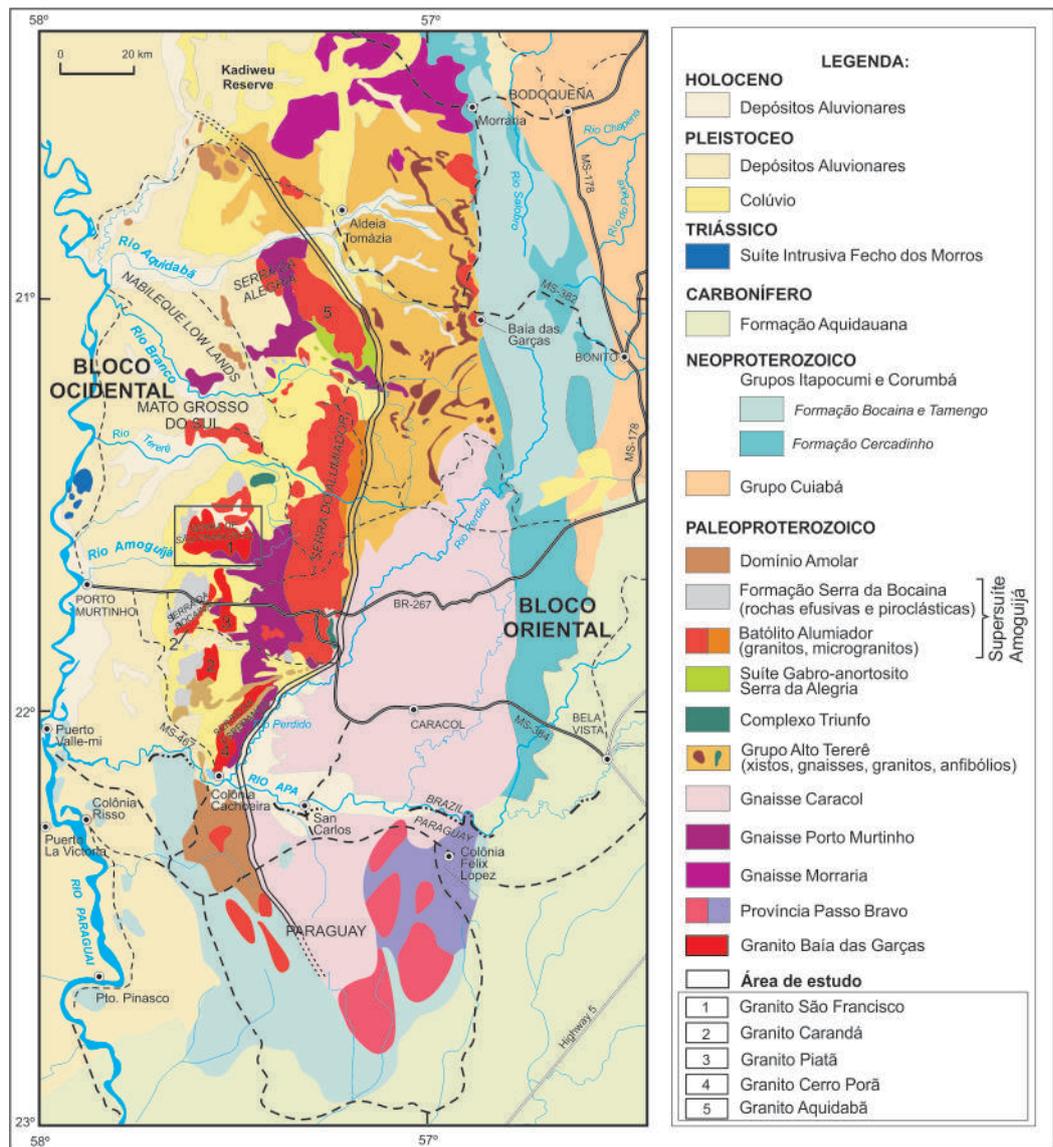


Figura 2. Mapa geológico do Terreno Rio Apa destacando os dois blocos tectônicos Oriental e Ocidental, zona de sutura preferencial NS e área de estudo, extraído de Cordani *et al.* (2010).

A FIL está situada na porção oeste da área de estudo e corresponde a rochas fracamente anisotrópicas de cores avermelhadas/arroxeadas, acinzentadas ou esverdeadas, sendo caracterizadas pela abundância e variedade de fragmentos líticos (Figura 4A, B e C). Esses fragmentos são de composição riolítica, com formas tanto elipsoidais como arredondadas e angulosas, de tamanhos que variam entre 3 mm a 7 cm, imersos em matriz cinerítica fina a vítrea, onde às vezes se identificam cristaloclastos de feldspato alcalino e quartzo.

A FIRC é volumetricamente subordinada e ocorre na porção central da área estudada. As rochas dessa fácies apresentam estrutura maciça, fratura conchoidal, cor cinza-escuro a cinza-esverdeado, exibindo fenocristais de quartzo e feldspato, apresentando mesóstase cinerítica fina a vítrea (Figura 4D e E). Os cristaloclastos, quando identificáveis a olho nu, são de mesma composição dos fenocristais, com dimensões sempre inferiores a 5,0 mm, enquanto os demais produtos piroclásticos são de difícil percepção a olho nu.

Tabela 1. Smario de dados geocronológicos e isotópicos da Suite Intrusiva Alumiador e Formação Serra da Bocaina. Análises em biotita (bt), zircão (Zr) e rocha total (RT). Referências: (A): Araújo *et al.* (1982); (B): Lacerda Filho *et al.* (2006); (C): Cordani *et al.* (2010); (D): Plens *et al.* (2013); (E): Brittes *et al.* (2013); (F): Redes *et al.* (2015); (G): Faleiros *et al.* (2015); (H) Nogueira *et al.* (submetido); (I): Souza *et al.*(submetido); (J): este trabalho.

Unidades Litoestratigráficas		U-Pb	Pb-Pb	Rb-Sr	Sm-Nd		Ar-Ar
		Idade (Ma) (z)	Idade (Ma) (z)	Idade (Ma) (rt)	T _{DM} (Ga)	ε _{Nd(t)} (rt)	Idade (Ma) (b)
Suite Intrusiva Alumiador	Granito Chatelodo	1902±12 ^(G)	-	-	-	-	-
	Granito São Francisco	1878 ± 7 ^(I)	-	-	2,60 ^(I) 2,36 ^(I)	-3,65 ^(I) -2,53 ^(I)	-
	Granito Alumiador	1867 ^(B)	-	-	2,17	-0,68	-
	Granito Taquaral	1861±5 ^(F)	-	-	2,32 ^(F) 2,35 ^(F)	-1,48 ^(F) -1,28 ^(F)	-
	Granito Córrego do Cervo	1841±15 ^(G)	-	-	-	-	-
	Granito Alumiador	1839±33 ^(C)	-	-	-	-	-
	Granito Santa Otlia	1830±12 ^(G)	-	-	-	-	-
	Granito Aquidabã	1811±6.8 ^(H)	-	-	-	-	-
	Granito Cerro Por	1749±45 ^(D)	-	-	-	-	-
	Granito Alumiador	- -	- -	1600±40 ^(A) -	- 2,49 ^(C) 2,53 ^(C)	- -	1304±4 ^(C) 1295±3 ^(C)
Formação Serra da Bocaina	Riolito	1899±9 ^(J)	-	-	-	-	-
	Ignimbrito rico em cristais	-	1877±3.9 ^(E)	-	-	-	-
	Vulcânica Saussuritizada	1794 ^(B)	-	-	2,26 ^(B)	-2,0 ^(B)	-
	Vucnica cida	-	-	1650±63 ^(A)	-	-	-

A FTI ocorre na porção NW da serra de São Francisco, seus litotipos apresentam cor avermelhada a rosada e cinza-esbranquiçada e diferencia-se das outras fácies pelo tamanho dos fenocristais e produtos piroclásticos (<< 0,1 mm) que não são identificáveis  vista desarmada. A mesóstase apresenta tamanho cinza muito fina, com porções criptocristalinas. Observam-se estrutura primária, do tipo laminação plana paralela, de baixo ângulo, formada por faixas ou camadas delgadas de diferentes composições (Figura 5A) e feições de devitrificação como litofisas com *vugs* circulares ou em forma de estrelas (Figura 5B).

A FE ocorre na porção central N e S da área estudada, corresponde às lavas riolíticas, de cor vermelha-alaranjadas ou cinza-esverdeadas,

apresentando textura porfirítica a glomeroporfirítica, com matriz fluidal, fina a muito fina, onde se destacam fenocristais bem formados de feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo (Figura 5C e D).

As rochas da Formação Serra da Bocaina ocorrem em blocos *in situ*, lajedos ou em morrote (FTI). A FE é cortada por diques do Granito São Francisco, que também pode ser observado através de apófises. Os contatos entre as fácies da Formação Serra da Bocaina encontram-se recobertos pelos sedimentos quaternários da Formação Pantanal, excetuando-se a FTI que apresenta contato abrupto com a FIL através de lentes ou fragmentos (Figura 4F).

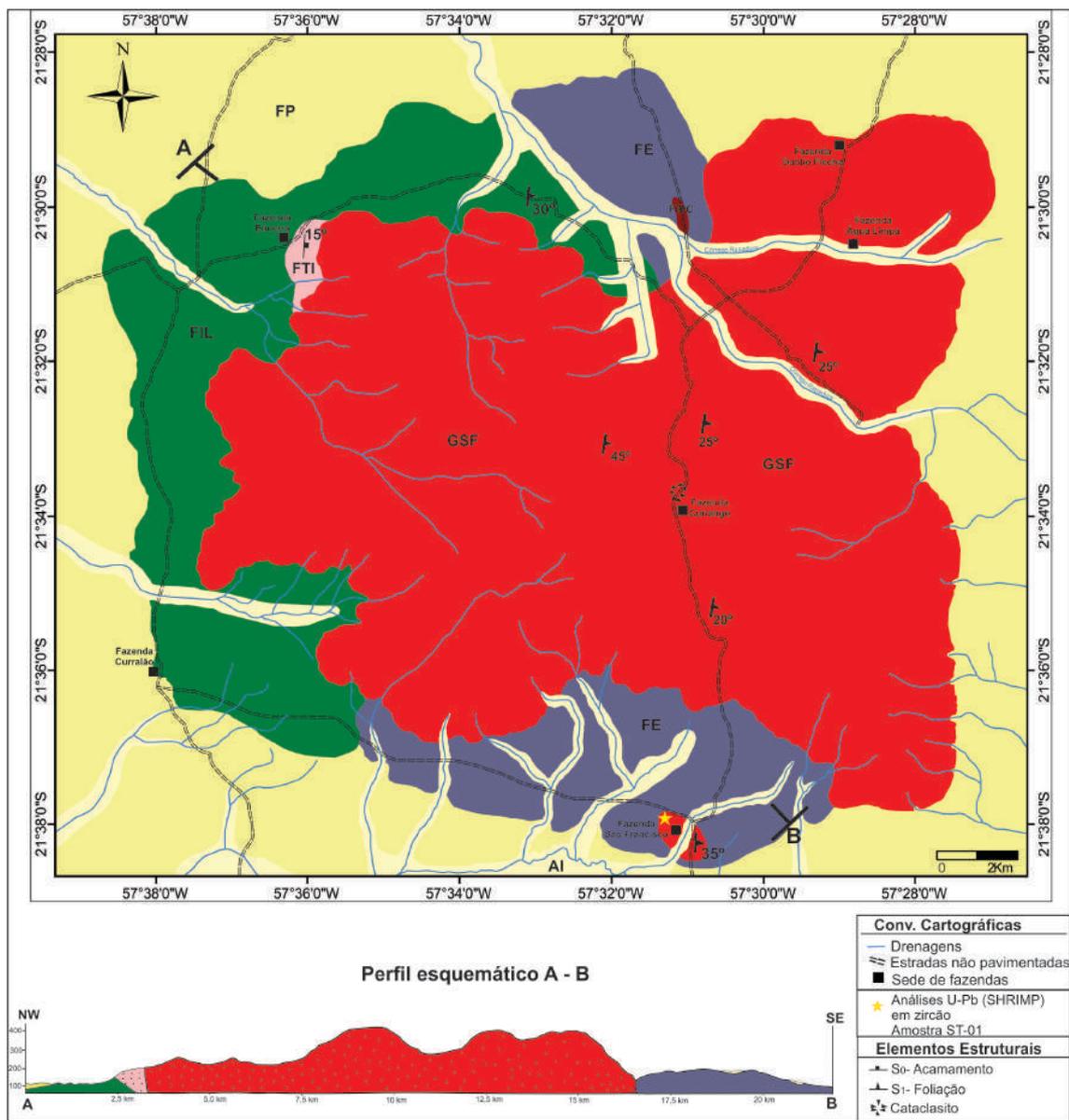


Figura 3.

Mapa geológico da região da serra de São Francisco de Souza *et al.* (submetido), destacando o granito homônimo (GSF), Formação Pantanal (FP), Aluviões Atuais (AI), Ignimbrito Lítico (IgL), Ignimbrito rico em cristais (IgC), Tufo Ignimbrito (TIg), Efusivas (Ef), sendo as quatro últimas pertencentes à Formação Serra da Bocaina.

Microscopicamente, as rochas da FIL são caracterizadas pela abundância de elementos piroclásticos como: púmices, cristaloclastos, fragmentos líticos (litoclastos) de variadas dimensões e composições, que se encontram imersos numa mesóstase cinerítica muito fina, de composição felsítica, intensamente alterada.

Os púmices ocorrem com contornos predominantemente elipsoidais, achatados ou alongados e, por vezes, apresentam-se com grau de achatamento maior como evidência de atuação de processo de soldagem (Figura 6A); formando, desta maneira, *fiammes* estirados e orientados com intenso grau de alteração para sericita e argilominerais, configurando textura eutaxítica (Figura 6B). Mostram-se parcialmente devitrificados, compostos por

arranjos quartzo-feldspáticos. Púmices-tubo também foram identificados, imersos na mesóstase.

Os cristaloclastos essenciais são predominantemente de feldspato alcalino, quartzo e plagioclásio (Figura 6C), ocorrendo angulosos a subarredondados com feições de corrosão magmática perfazendo 13 % da rocha. Apresentam-se parcialmente alterados, fraturados com embaiamento e golfos de corrosão.

Os fragmentos líticos (litoclastos) constituem 24% dessas rochas e ocorrem subarredondados a angulosos, com dimensões entre 3 mm e 7 cm (Figura 6D). Representam termos cognatos de composição similar a da rocha ou porções do mesmo magma, e

caracterizam-se por textura porfirítica com fenocristais de feldspato alcalino e quartzo em matriz felsítica.

Os produtos de devitrificação são encontrados na mesóstase como axiolitos e esferulitos (Figura 6E), formados por feldspato alcalino e quartzo. Os shards são comumente encontrados na matriz e nos púmices com formas típicas em *plates* e “Y” envoltos por micrólitos fibrosos representados por axiolitos. Observam-se também fragmentos devitrificados arredondados a subarredondados, achatados constituindo mosaicos quartzo-feldspáticos; bem como fraturas preenchidas por esses mesmos minerais representando cristalizações na fase a vapor (Figura 6F).

O feldspato alcalino, identificado como microclina, é mais preservado de alteração, ocorrendo em cristais subédricos, com geminação em grade e dimensões, em geral, sub-milimétricas. O quartzo, em geral, ocorre em fenocristais anédricos, com dimensões entre 1,5 e 1,0 mm, também sendo possível encontrar quartzo de alta temperatura. O plagioclásio ocorre subédrico a anédrico, com dimensões de 1,5 mm e mais raramente inferiores a 1 mm; exibindo zonação, geminações albita, periclina, por vezes combinadas com Carlsbad, bem como, intenso grau de alteração (sericitização, argilização e saussuritização).

O mineral máfico essencial é representado unicamente pela biotita de alta temperatura, que ocorre de plaquetas e palhetas parcialmente transformadas em opacos. A paragênese acessória e de alteração é formada por: apatita, zircão, opacos, epídoto, argilominerais, clorita, sericita e muscovita.

As rochas da Fácies Ignimbrito Rico em Cristais são caracterizadas por púmices, mesóstase muito fina de composição felsítica e pela abundância de fragmentos de cristais (Figura 7A) em relação aos litoclastos que são mais raramente encontrados. Os produtos piroclásticos são menos abundantes que os da fácies FIL, sendo mais comuns na FIRC, os púmices, fragmentos vítreos e cristaloclastos. Os púmices são arredondados a subarredondados apresentando *shards* (Figura 7B), enquanto os fragmentos vítreos apresentam a mesma geometria dos púmices e demonstram-se parcialmente a totalmente devitrificados constituindo arranjos quartzo-feldspáticos.

Os cristaloclastos (20%) são de mesma composição dos encontrados nas rochas das outras fácies ignimbríticas, porém com dimensões inferiores (entre 1 e < 1 mm) e exibem feições de corrosão magmática, tais como, como golfos e embaiamentos. A biotita é o único mineral máfico essencial e encontra-se parcialmente transformada em opacos.

A Fácies Tufo Ignimbrítico é caracterizada por uma mesóstase homogênea, cinerítica muito fina a criptocristalina (Figura 7C), com evidências de queda de cristais (Figura 7D). Os produtos piroclásticos descritos são púmices e cristaloclastos. Os fragmentos de cristais (cristaloclastos) são de feldspato alcalino, quartzo e plagioclásio e exibem efeitos de intensa corrosão magmática. Os púmices apresentam-se arredondados a subarredondados com cristaloclastos. A biotita, caracterizada como de alta temperatura, ocorre em pequenas plaquetas ou palhetas com intensa transformação para opacos e clorita.

A Fácies Efusiva é caracterizada por textura porfirítica (Figura 8A) a glomeroporfirítica (Figura 8B), com fenocristais de feldspato alcalino, quartzo e plagioclásio (perfazendo um total de 18 %) que se apresentam subédricos a anédricos com dimensões entre 1 e 3 mm e com evidências de corrosão magmática, imersos numa matriz fina a muito fina de composição felsítica. A biotita é o único mineral máfico essencial ocorrendo em minúsculas plaquetas ou palhetas, parcial a totalmente alterada para clorita sempre associada a epídoto e opacos. Os minerais acessórios e de alteração são representados por: apatita, zircão, epídoto, clorita, sericita e argilominerais.

O feldspato alcalino é representado pela microclina e apresenta-se subédrico a anédrico, com dimensões entre 1,0 e 1,5 mm, geminado em grade, fracamente alterado para sericita e argilominerais, por vezes, ocorre formando glômeros que definem uma textura típica de lavas. O quartzo ocorre na matriz felsítica e como fenocristais geralmente embaiados e com golfos de corrosão.

O plagioclásio ocorre como fenocristais subédricos de hábito tabular, com zonação normal e geminação albita e/ou periclina podendo estar combinadas com Carlsbad. A alteração é proeminente e evidencia atuação de processos de sericitização, argilização, saussuritização e epidotização.

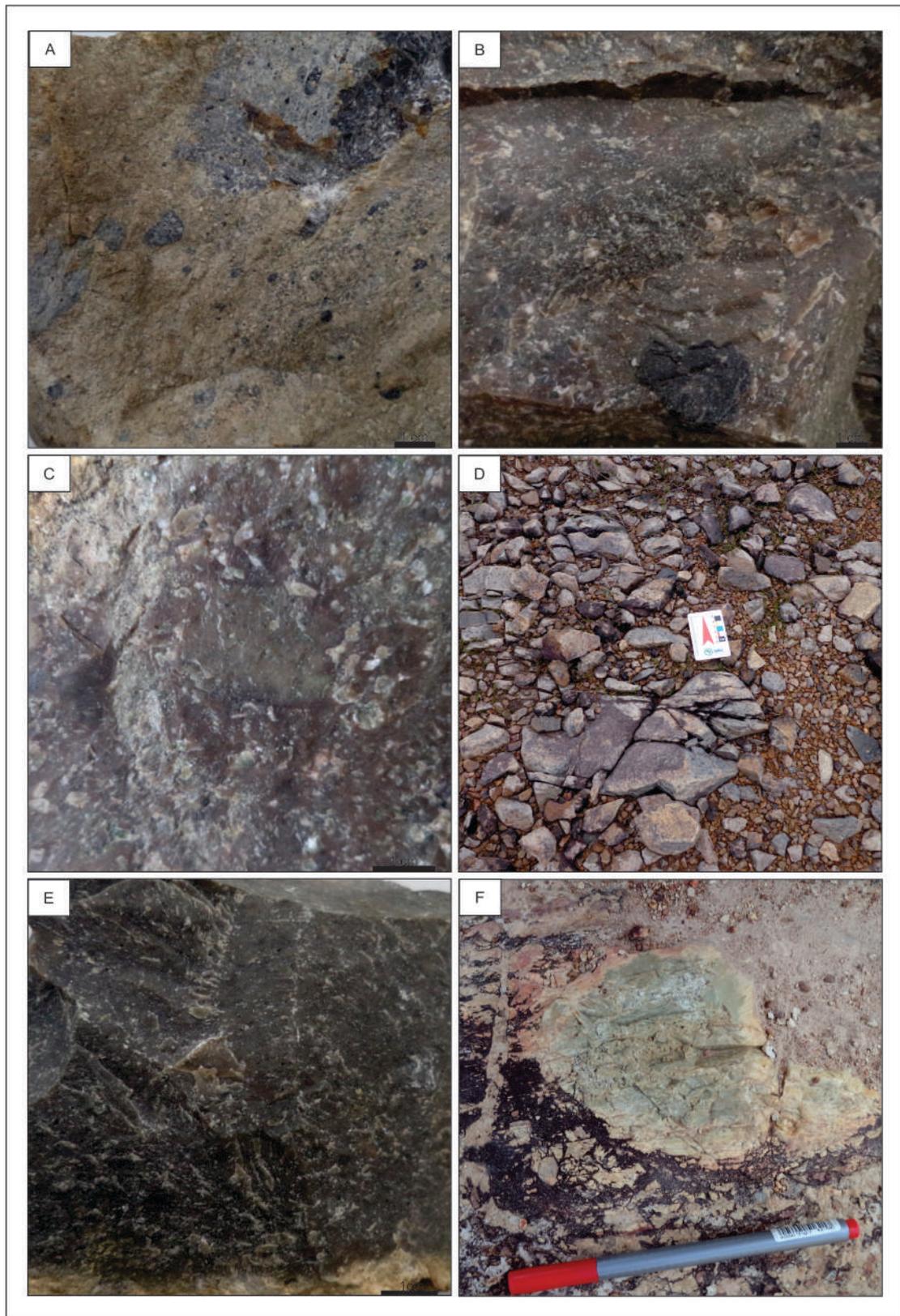


Figura 4.

Aspectos de campo e/ou macroscópicos de rochas da Formação Serra da Bocaina: (A), (B) e (C) grande quantidade de fragmentos líticos de variados tamanhos e formas, imersos numa matriz cinerítica muito fina da FIL; (D) afloramento de blocos in situ com elevado grau de alteração da FIRC; (E) fratura conchoidal e fenocristais de feldspato e quartzo em rocha de cor cinza-escuro a cinza-esverdeado da FIRC; (F) enclave da FTI na FIL.

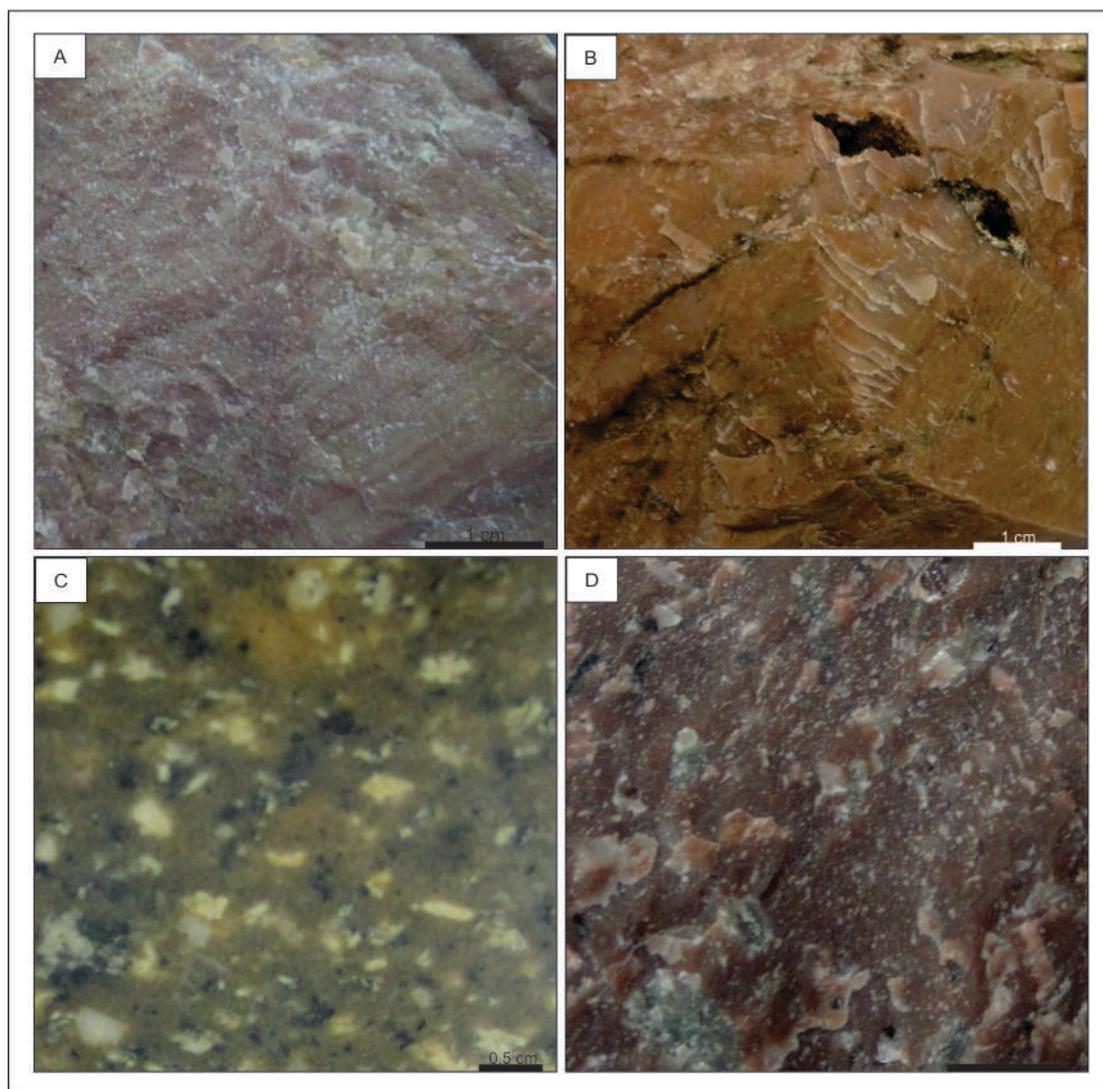


Figura 5.

Aspecto macroscópico de rochas da Formação Serra da Bocaina. (A) estrutura primária do tipo laminação plano-paralela evidenciada pela variação de cores da FTI; (B) detalhe de litofisa com formas elipsoidal e em estrela da FTI; (C) e (D) rochas cinza- esverdeadas a avermelhadas- alaranjadas, matriz fina e textura porfirítica da FE.

4. GEOQUÍMICA ELEMENTAR

O estudo geoquímico das rochas da Formação Serra da Bocaina foi realizado a partir dos dados analíticos obtidos para elementos maiores, menores e traços, incluindo terras raras de 12 amostras (Tabela 2), objetivando a caracterização geoquímica e identificação da natureza do magmatismo. Das amostras analisadas, quatro são da FIL, duas da FIRC, duas da FE, três da FTI e uma média de litoclastos da FIL. As amostras da FIL foram tratadas, através de catação manual, visando a separação dos fragmentos líticos, para serem analisados separadamente.

As amostras de todas as fácies definidas neste trabalho apresentam natureza ácida, com homogeneidade composicional e valores de sílica entre 72,70 a 75,32 %. A amostra de fragmento lítico da FIL apresenta um maior teor de sílica (77,13 %), mostrando-se, no

entanto, geoquimicamente semelhante às demais fácies.

Nos diagramas do tipo Harker (1909; Figura 9.) observa-se que os conteúdos de TiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MnO , MgO , P_2O_5 e Fe_2O_3 tendem a decrescer com o aumento de sílica devendo refletir o empobrecimento em plagioclásio e em minerais máficos primários, tais como, biotita, titanita, ilmenita/magnetita/hematita e apatita durante a evolução magmática. Esta hipótese é coerente com os padrões geoquímicos dos elementos traço *versus* Zr (Figura 10) justificado pelo aumento dos teores de Rb, Th, Hf e Y que não são compatíveis com as fases extraídas. Os diagramas que envolvem os álcalis apresentam relativa dispersão, provavelmente, resultante da maior mobilidade destes elementos durante a atuação de processos pós-magmáticos.

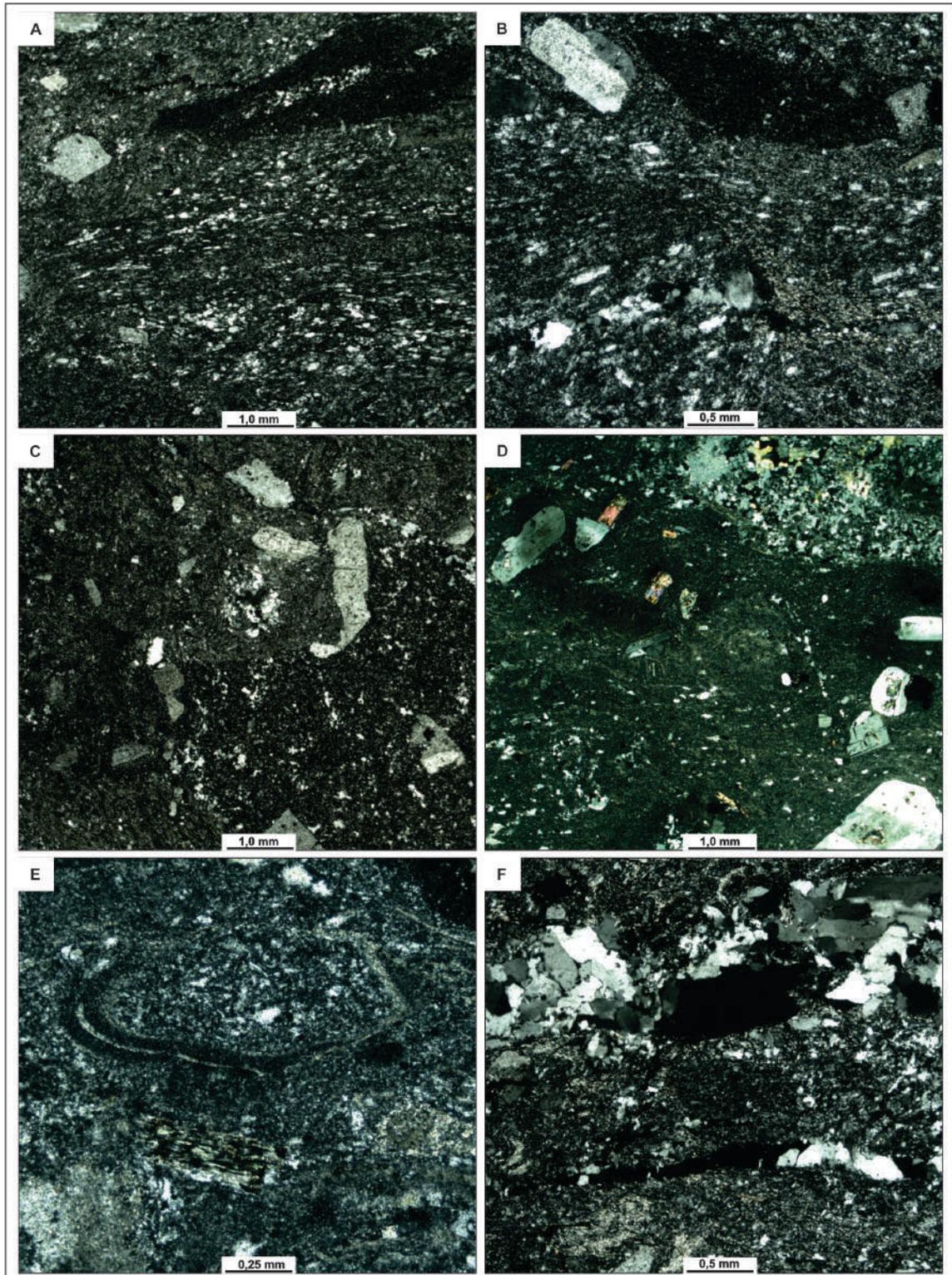


Figura 6.

Fotomicrografias de rochas da FIL da Formação Serra da Bocaina. (A) púmice achatado com devitrificação; (B) púmice no canto superior direito, fenocristais de plagioclásio e quartzo e textura eutaxítica; (C) cristaloclastos de quartzo e feldspatos corroídos; (D) litoclasto com textura porfirítica em matriz vítrea; (E) esferulito em matriz cinerítica muito fina; (F) cristalização na fase vapor. Polarizadores cruzados em A, B, C, D, E e F.

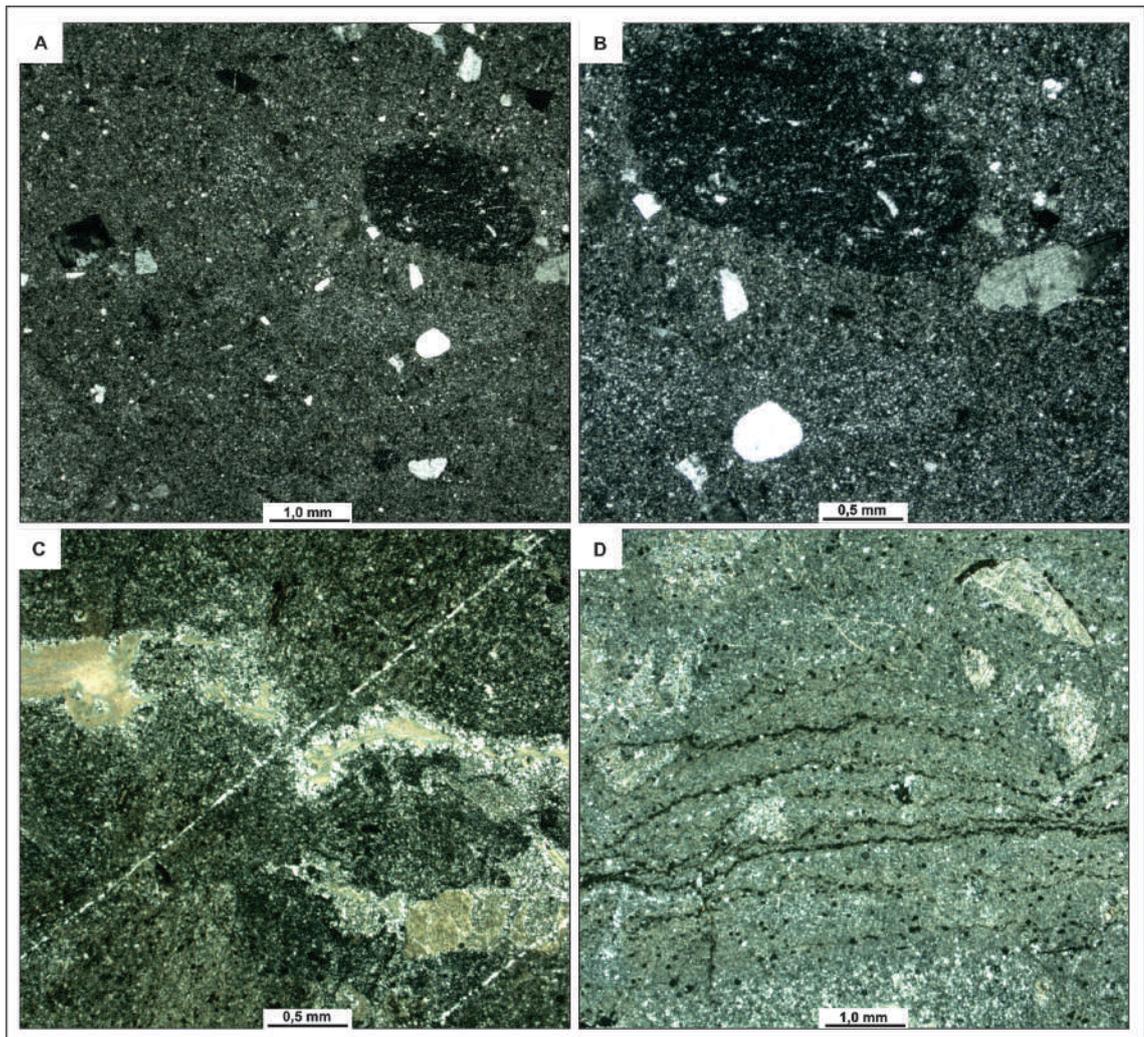


Figura 7.

Fotomicrografias de rochas das FIRC em A e B e da FTI em C e D da Formação Serra da Bocaina. (A) púmice elipsoidal; (B) púmice com cristaloclastos em seu interior, fragmento de cristais de plagioclásio, quartzo, imersos numa mesóstase cinerítica muito fina; (C) lamelas criptocristalinas com intensa sericitização imersos em matriz felsítica muito fina; (D) evidência de queda de cristaloclastos. Polarizadores cruzados em A, B, C e D.

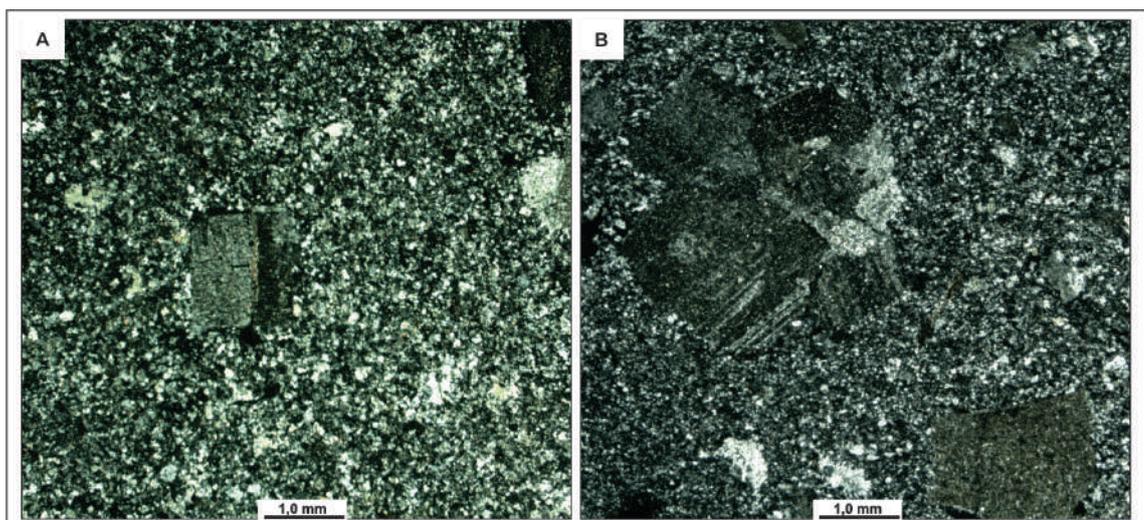


Figura 8.

Fotomicrografias de rochas da FE da Formação Serra da Bocaina. (A) textura porfírica com fenocristal de plagioclásio alterado para carbonato; (B) glômero de feldspato em matriz fina. Polarizadores cruzados em A e B.

Tabela 2. Composição química de elementos maiores, menores (% em peso), traços incluindo terras raras (ppm) de rochas da Formação Serra da Bocaina.

Amostras	ST-83	ST-45	ST-04 A	ST-33A	ST-47	ST-02 A
Fácies	FIL	FIL	FIRC	FTI	FIL	FE
SiO ₂	72.70	73.01	73.11	74.45	73.58	73.69
TiO ₂	0.34	0.42	0.38	0.19	0.28	0.30
Al ₂ O ₃	14.46	14.04	13.95	15.79	13.76	13.70
Fe ₂ O ₃	2.56	3.16	2.69	1.35	2.34	2.27
MnO	0.09	0.05	0.09	0.06	0.08	0.05
MgO	0.38	0.40	0.46	0.15	0.29	0.38
CaO	1.35	0.75	1.44	0.58	0.71	0.60
Na ₂ O	3.98	3.47	2.99	3.81	3.98	4.43
K ₂ O	3.84	4.38	4.55	3.41	4.58	4.30
P ₂ O ₅	0.05	0.08	0.06	0.04	0.01	0.05
P.F.	0.60	0.90	0.90	1.70	0.50	0.60
Total	100.35	100.66	100.62	101.53	100.11	100.37
Ba	1256.00	1343.00	1481.00	1122.00	1512.00	1181.00
Be	4.00	1.00	1.00	3.00	3.00	1.00
Co	1.50	3.00	1.00	39.60	0.70	0.50
Cs	2.60	2.40	2.50	2.30	3.70	0.90
Ga	15.20	15.10	19.10	15.60	17.00	15.10
Hf	6.60	6.30	8.10	4.00	5.90	6.00
Nb	9.60	9.70	10.80	7.90	10.60	9.50
Rb	116.80	131.80	168.30	108.50	135.20	121.10
Sr	228.10	221.10	228.70	191.10	169.70	103.80
Ta	0.80	0.70	0.70	0.70	0.80	0.70
Th	12.10	10.70	12.50	8.90	12.30	9.90
U	2.00	1.80	2.40	2.10	2.70	2.30
W	0.80	1.00	0.80	163.80	1.90	1.00
Zr	257.70	236.60	328.90	138.50	233.00	202.60
Y	27.00	25.70	30.00	17.50	26.40	34.10
Pb	16.70	5.20	15.30	4.40	10.80	8.70
La	49.00	42.30	48.90	29.60	50.50	58.50
Ce	93.00	77.40	93.00	65.20	96.80	99.30
Pr	10.71	9.29	11.37	7.03	10.81	13.24
Nd	40.40	36.70	41.10	26.20	40.50	46.40
Sm	7.03	6.55	7.84	4.24	6.93	8.57
Eu	1.45	1.43	1.73	0.91	1.70	1.80
Gd	5.91	5.69	6.58	3.34	6.07	7.48
Tb	0.91	0.89	1.04	0.52	0.86	1.18
Dy	4.81	4.50	5.39	3.10	4.96	6.27
Ho	0.94	0.88	1.15	0.64	0.92	1.28
Er	2.85	2.74	3.16	2.05	3.14	3.64
Tm	0.41	0.42	0.46	0.29	0.42	0.52
Yb	2.86	2.51	3.12	2.02	2.46	3.34
Lu	0.42	0.39	0.49	0.32	0.36	0.49
Eu/Eu*	0.69	0.72	0.74	0.74	0.80	0.69
(La/Yb)N	11.58	11.39	10.59	9.9	13.87	11.84

Tabela 2. Continuação.

Amostras	ST-33	ST-04	ST-01	ST-02	ST-43	ST-83A
Fácies	FTI	FIRC	FE	FE	FIL	Litoclasto
SiO ₂	74.57	74.30	75.07	75.09	75.32	77.13
TiO ₂	0.20	0.38	0.25	0.24	0.16	0.20
Al ₂ O ₃	14.86	13.32	13.12	12.91	13.30	11.01
Fe ₂ O ₃	2.00	2.62	1.76	2.29	1.66	2.80
MnO	0.06	0.08	0.06	0.08	0.05	0.06
MgO	0.14	0.45	0.19	0.25	0.14	0.07
CaO	0.84	1.31	0.70	0.58	0.41	0.61
Na ₂ O	3.47	2.73	3.99	4.07	4.13	2.35
K ₂ O	3.62	4.41	4.44	4.18	4.60	5.54
P ₂ O ₅	0.05	0.07	0.03	0.05	0.02	0.04
P.F.	1.30	0.60	0.20	0.20	0.40	0.50
Total	101.11	100.27	99.81	99.94	100.19	100.31
Ba	1191.00	1554.00	1384.00	1155.00	1373.00	1129.00
Be	4.00	2.00	5.00	4.00	1.00	3.00
Co	0.80	1.40	0.30	0.80	0.60	0.20
Cs	1.80	3.00	1.30	1.10	1.90	1.80
Ga	14.70	20.40	14.10	15.90	11.90	10.60
Hf	4.30	9.60	7.00	5.60	3.30	5.10
Nb	7.90	11.60	10.60	12.60	9.20	8.10
Rb	108.10	185.10	120.40	130.50	136.20	116.00
Sr	226.20	237.10	137.90	98.30	91.00	98.80
Ta	0.60	1.00	0.80	0.70	0.70	0.70
Th	7.50	12.90	11.60	12.00	8.30	8.80
U	1.80	2.40	2.20	2.60	2.00	1.90
W	0.70	1.50	0.50	0.80	0.50	3.70
Zr	135.80	335.20	224.70	203.80	108.10	186.00
Y	17.60	34.20	36.00	38.40	20.80	25.50
Pb	5.70	12.30	21.90	11.70	4.80	47.60
La	35.90	55.30	60.70	47.10	41.60	35.90
Ce	63.70	108.40	110.60	92.30	76.80	71.40
Pr	7.49	12.59	12.86	10.25	8.69	8.49
Nd	27.50	43.40	49.20	39.50	28.90	30.80
Sm	4.45	8.15	8.35	6.89	5.39	5.93
Eu	0.85	2.04	1.67	1.40	0.93	1.10
Gd	3.52	7.27	7.45	6.79	4.51	5.29
Tb	0.58	0.98	1.11	0.98	0.71	0.81
Dy	3.05	6.06	6.12	6.48	3.51	4.27
Ho	0.59	1.06	1.20	1.28	0.74	0.88
Er	1.78	3.65	3.26	4.14	2.13	2.60
Tm	0.25	0.54	0.48	0.61	0.32	0.38
Yb	1.82	3.68	3.18	3.68	2.21	2.52
Lu	0.26	0.53	0.50	0.56	0.33	0.39
Eu/Eu*	0.66	0.81	0.65	0.63	0.58	0.6
(La/Yb)N	13.33	10.15	12.9	8.65	12.72	9.63

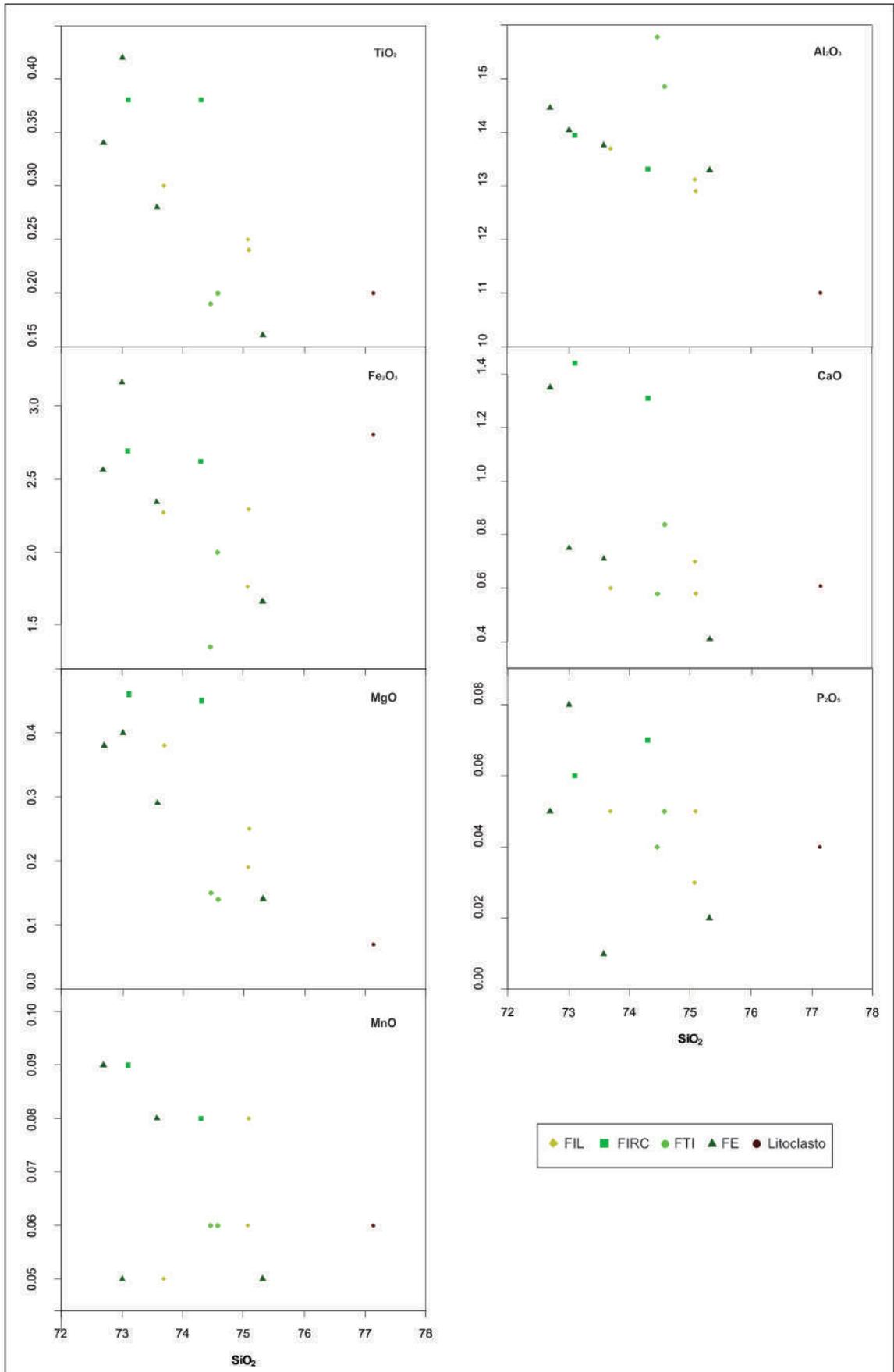


Figura 9. Diagramas de variação de Harker (1909) para elementos maiores, expressos em óxidos (% em peso), de rochas da Formação Serra da Bocaina.

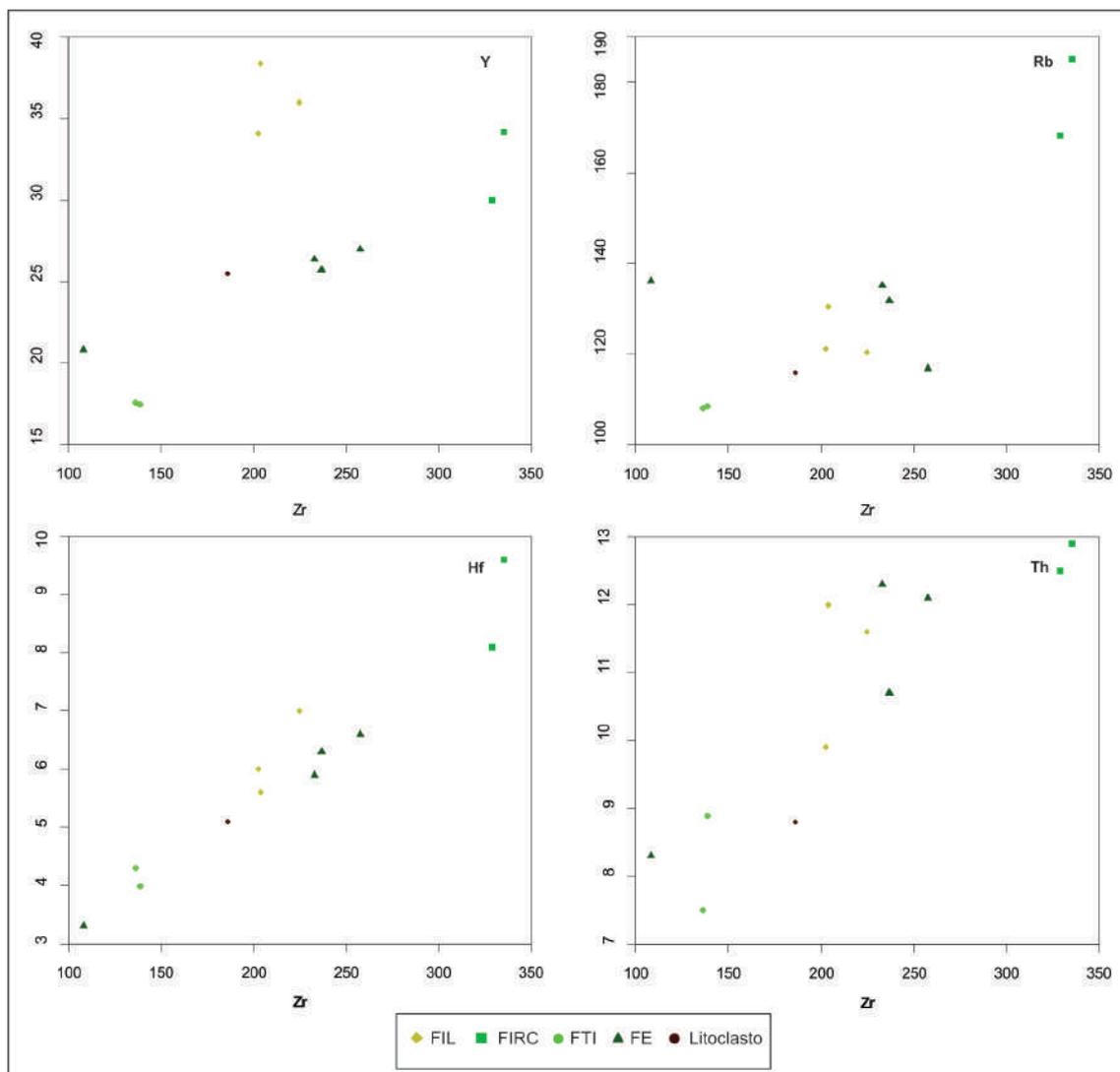


Figura 10.

Diagrama Zr versus elementos-traços da Formação Serra da Bocaina.

As rochas de todas as fácies e do litoclasto da Formação Serra da Bocaina são classificadas como riolitos nos diagramas R_1 - R_2 e TAS que utilizam apenas elementos maiores e que foram propostos, respectivamente, por La Roche *et al.* (1980; Figura 11A) e Le Bas (1986; Figura 11B), bem como, quando leva-se em consideração também elementos traço Zr/TiO_2 versus SiO_2 no diagrama de Winchester & Floyd (1977; Figura 11C).

O diagrama TAS com limite alcalinidade de Irvine & Baragar (1971), ilustrado na figura 11B, indica que o magmatismo que originou as rochas da Formação Serra da Bocaina é de afinidade subalcalina, enquanto sua natureza cálcio-alcalina a álcali-cálcica é sugerida no

diagrama $Na_2O + K_2O - CaO$ versus SiO_2 de Frost *et al.* (2001, Figura 11D).

A relação entre ferro e magnésio das rochas da Formação Serra da Bocaina as classificam como granitos ferrosos, no gráfico $FeO_v/(FeO_t+MgO)$ versus SiO_2 de Frost *et al.* (2001; Figura 12A); enquanto o diagrama A/CNK versus A/NK , proposto por Maniar & Picolli (1989), que utiliza índices de alcalinidade de Shand (1927) as caracteriza como peraluminosas (Figura 12B).

Os pontos que representam as rochas da Formação Serra da Bocaina coincidem com o domínio de granitoides fanerozoicos gerados em ambiente de arco magmático no diagrama Hf-Rb/30-Ta (Harris *et al.* 1986; Figura 13A) e corroborado no diagrama Rb versus Y+Nb (Pearce *et al.* 1984; Pearce 1996; Figura 13B).

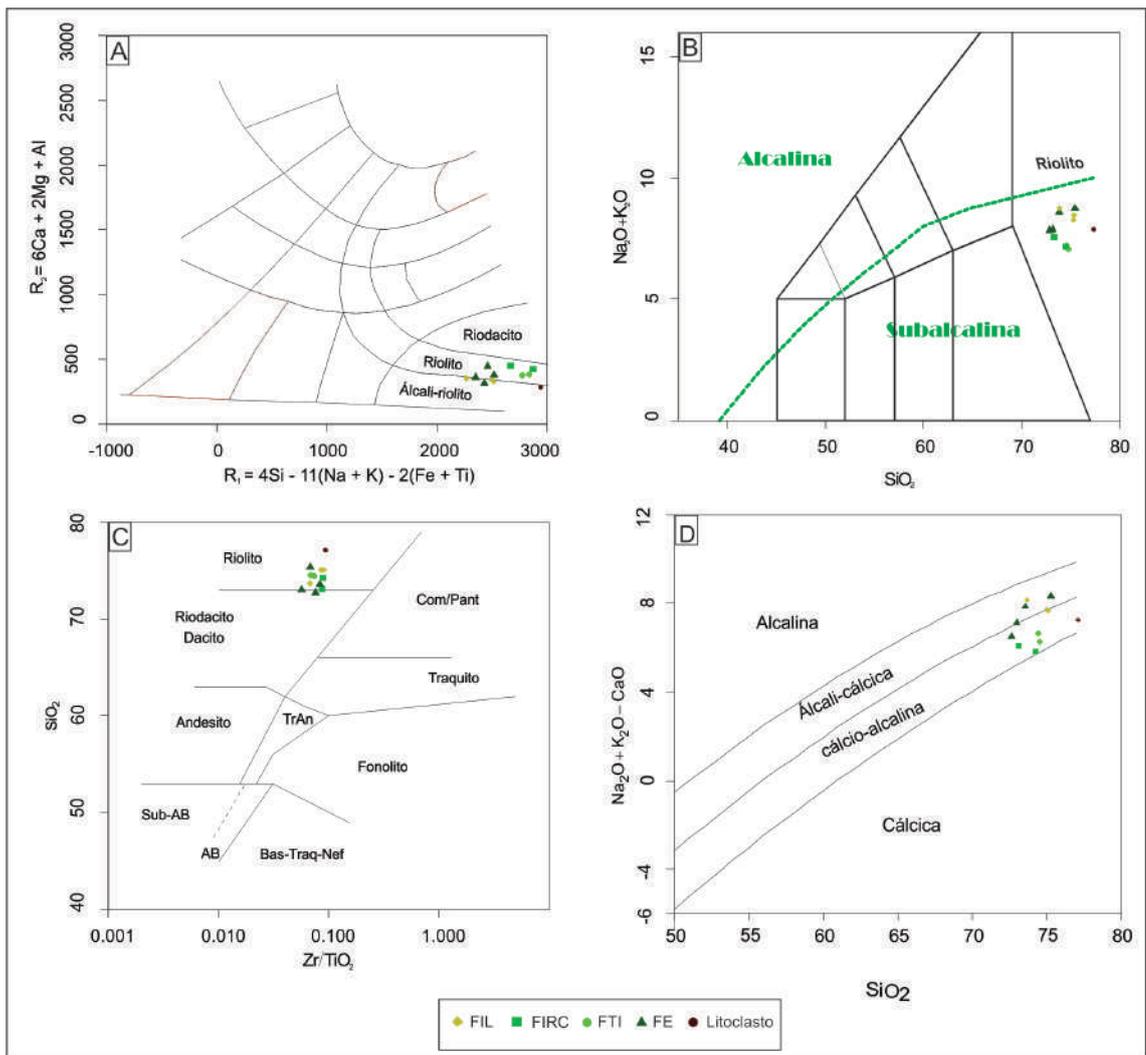


Figura 11.

Diagramas de classificação geoquímica das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) R_1 versus R_2 (La Roche *et al.* 1980); (B) total de álcalis versus sílica (Le Bas, 1986), com limite entre domínio alcalino/subalcalino de Irvine & Baragar (1971); (C) SiO_2 versus Zr/TiO_2 (Winchester & Floyd, 1977); (D) $Na_2O + K_2O - CaO$ versus SiO_2 (Frost *et al.* 2001).

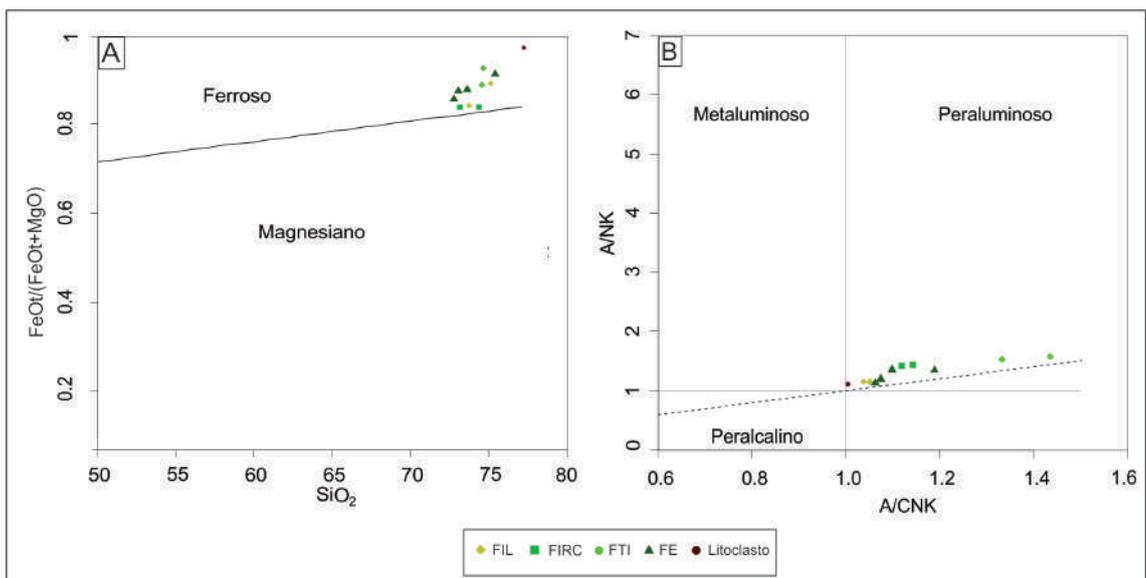


Figura 12.

Distribuição dos pontos representativos das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) $FeO/(FeO+MgO)$ versus SiO_2 (Frost *et al.*, 2001); (B) A/NK versus A/CNK (Maniar & Piccoli, 1989).

O padrão geoquímico dos Elementos Terras Raras (ETR) destas rochas, normalizados pelo condrito de Nakamura (1977; Figura 14A), mostra um enriquecimento dos ETR leves em relação aos ETR pesados, com razões $(La/Yb)_n$ entre 8,65 e 13,87; apresentando discretas anomalias de Eu (Eu/Eu^* entre 0,65 e 0,81), relacionadas, possivelmente, a fracionamento de feldspatos.

Nos diagramas multi-elementares (Figura 14B), normalizados por valores dos granitos de cordilheiras meso-oceânicas (Pearce *et al.* 1984), as amostras da Formação Serra da Bocaina caracterizam-se por um enriquecimento em elementos litófilos de íons

grandes (LILE) em relação aos elementos de alto potencial iônico (HFSE), padrão típico de granitoides de arco magmático. Observam-se, no grupo dos HFSE, anomalias negativas de Ta e Nb, que de acordo com Hugh (1993), que podem sugerir envolvimento crustal nos processos magmáticos.

Esses padrões definidos nos últimos diagramas (ETR e multi-elementares, respectivamente, Figura 14A e 14B) mostram muita semelhança com aqueles encontrados para as rochas do Granito São Francisco (Souza em prep.) sugerindo uma provável fonte geradora comum a estas rochas.

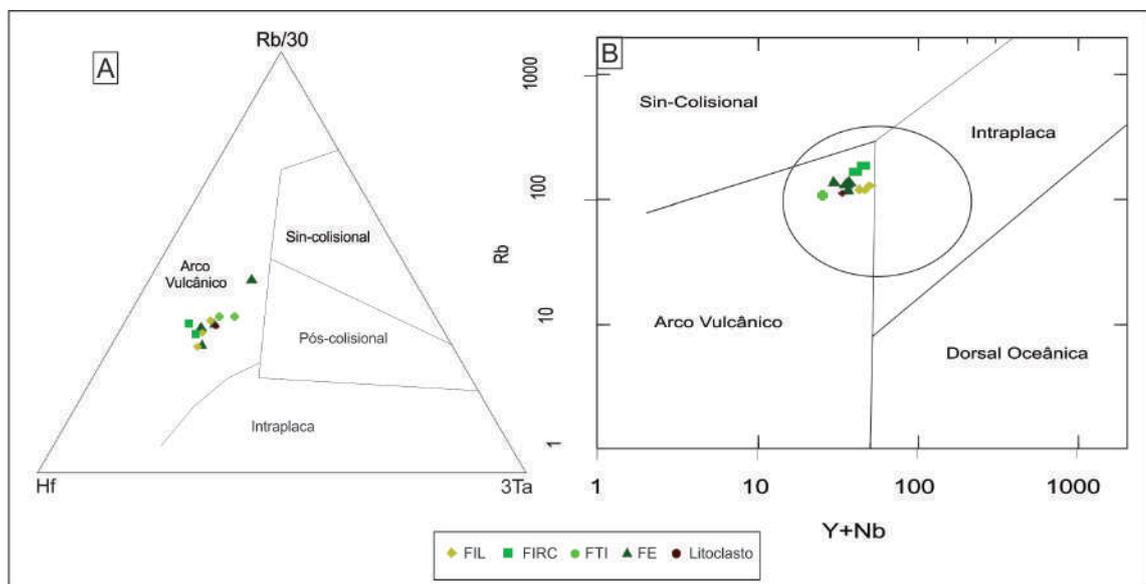


Figura 13.

Distribuição dos pontos representativos das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) Hf-Rb/30-Ta*3 (Harris *et al.* 1986); (B) Rb versus Y+Nb (Pearce *et al.* 1984; Pearce 1996).

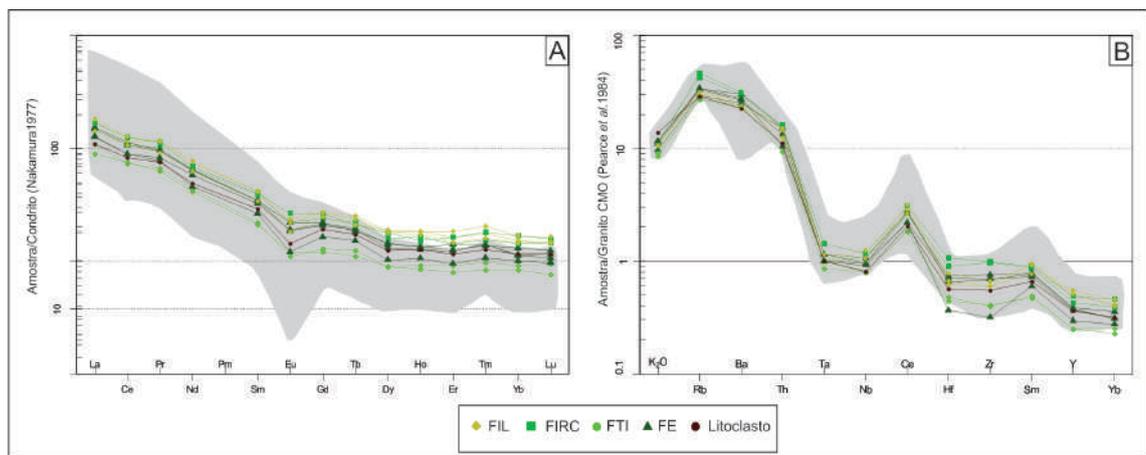


Figura 14.

Padrões de distribuição das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) ETR, normalizados pelos valores condrícticos (Nakamura, 1977) e (B) elementos traço e K_2O , normalizados pelos valores dos granitos de Cordilheira Meso-Oceânica (Pearce *et al.* 1984). Área em cinza: Granito São Francisco (submetido).

5. ANÁLISE GEOCRONOLÓGICA (U-Pb SHRIMP)

Para determinar a idade de cristalização do riolito da Formação Serra da Bocaina, foi selecionada a amostra ST-01 (Coordenadas em UTM 447444/7607708), coletada nas proximidades da sede da fazenda São Francisco. Corresponde a riolito da fácies efusiva, com textura porfirítica a glomeroporfirítica, apresentando fenocristais de feldspato alcalino e subordinadamente de plagioclásio, imersos numa matriz felsítica fina

5.1 Análise U-Pb em Zircão (SHRIMP)

A amostra ST 01 foi preparada conforme os métodos convencionais, a partir da qual foram selecionados 100 (cem) cristais de zircão, com o auxílio de lupa óptica binocular instalada na sala de pesquisa da FAGEO-UFMT. Em seguida, esse concentrado foi enviado para o laboratório do CPGeo-IGc/USP para análises U-Pb (SHRIMP), cujos detalhes de procedimentos experimentais utilizados estão descritos em Sato *et al.* (2014).

Dos cristais de zircões selecionados, 45 (quarenta e cinco) grãos foram utilizados para obter imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Caracterizam-se, morfologicamente, como cristais de primas curtos, subordinadamente, largos, com comprimento entre 80 e 270 μm , onde a relação dessa medida *versus* largura corresponde a 1/1 e 2/1. Exibem-se nas cores fumê a esbranquiçado, variando de transparentes a opacos; alguns exemplares

a muito fina. Para a análise geocronológica foi empregada a técnica U-Pb (SHRIMP) em zircão.

A amostra foi processada no Laboratório de Preparação de Amostras da Faculdade de Geociências – UFMT e os dados U-Pb (SHRIMP) foram obtidos no Laboratório do Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (CPGeo-IGc/USP)

mostram-se fraturados e quebrados. De acordo com as imagens de CL utilizadas para delinear a área mais adequada à aplicação do feixe iônico do laser, observa-se que os cristais ST-01.1, ST-01.2, ST-01.3, ST-01.4, ST-01.5, ST-01.6, ST-01.7, ST-01.8, ST-01.9, ST-01.10, ST-01.11, ST-01.12 apresentam zonação em bandas claras e escuras, relativamente regulares (Figura 15), características tipicamente magmáticas. As razões Th/U maiores que 0,1 (Tabela 3.) corroboram essa hipótese.

Para a confecção do diagrama concórdia (Figura 16) foram utilizados os dados dos zircões identificados na figura 15, com exceção de ST 01.7, ST 01.8, ST 01.9, por apresentarem alto Pb comum (>3%) e idades discordantes. Os pontos analíticos fornecem idade concordante de 1899.5 ± 8.9 Ma.

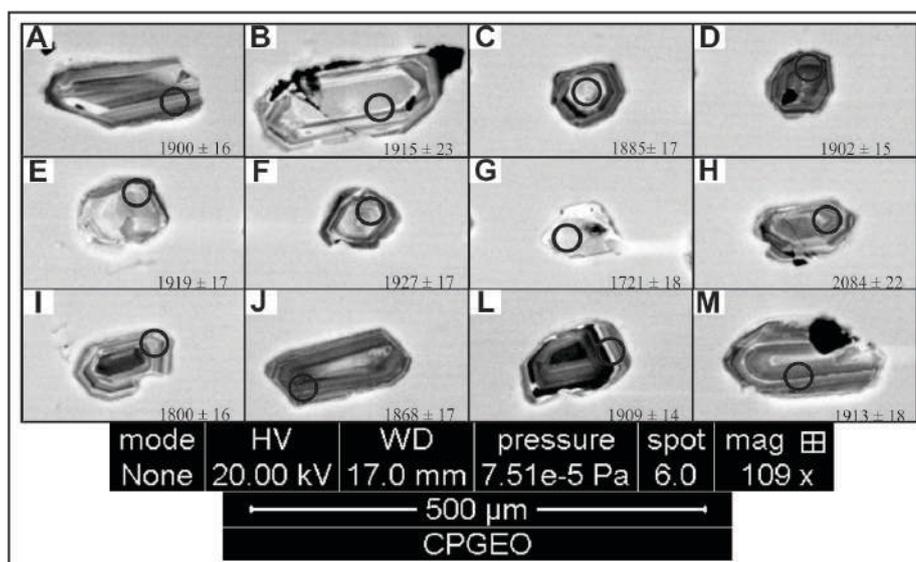


Figura 15.

Imagem de catodoluminescência de cristais de zircão da Formação Serra da Bocaina: (A) ST 01.1, (B) ST 01.2, (C) ST 01.3, (D) ST 01.4, (E) ST 01.5, (F) ST 01.6, (G) ST 01.7, (H) ST 01.8, (I) ST 01.9, (J) ST 01.10, (L) ST 01.11, (M) ST 01.2. Os círculos representam os pontos de impacto do feixe iônico.

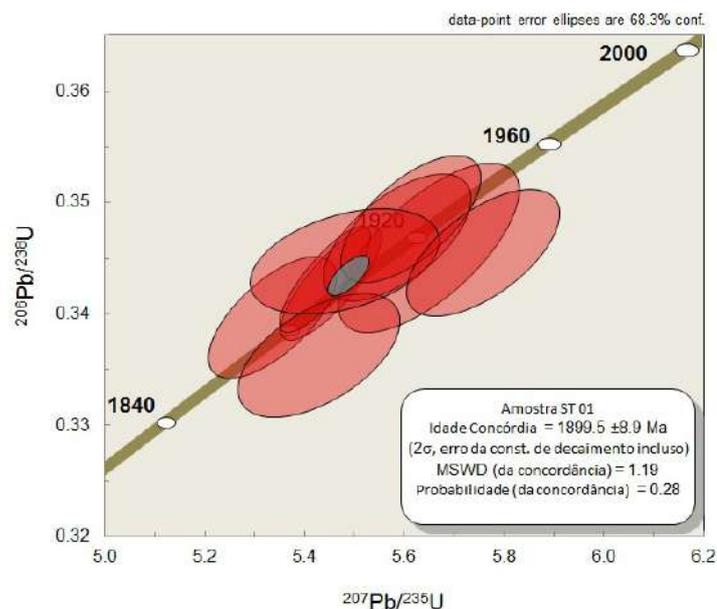


Figura 16. Diagrama concórdia U/Pb (SHRIMP) da amostra ST 01 da Fácies Efusiva da Formação Serra da Bocaina.

Tabela 3. Dados isotópicos de zircões para a fácies efusiva da Formação Serra da Bocaina referente à amostra ST 01. Razão

Spot	U ppm	Th ppm	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}_c$ %	^{206}Pb ppm	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (t)	±%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (t)	±%	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (t)	±%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Ma (t)	±1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Ma (t)	±1σ	Disc %	Err. Corr.
ST 1.1	102	108	1.09	0.02	29.9	5.45	1.2	0.3429	1.0	0.1154	0.7	1900.5	16.3	1885	13	-1	0.809
ST1.2	44	65	1.53	0.22	13.1	5.65	2.1	0.3460	1.4	0.1184	1.5	1915.6	23.9	1933	28	1	0.685
ST 1.3	74	119	1.66	0.38	21.8	5.34	1.6	0.3397	1.1	0.1139	1.2	1885.3	17.3	1863	21	-1	0.669
ST 1.4	166	202	1.26	0.16	49.1	5.44	1.1	0.3432	0.9	0.1150	0.6	1902.0	15.1	1880	11	-1	0.824
ST 1.5	72	85	1.23	0.14	21.4	5.59	1.7	0.3469	1.1	0.1168	1.4	1919.8	17.9	1908	25	-1	0.618
ST 1.6	64	67	1.08	0.23	19.3	5.61	1.6	0.3486	1.1	0.1168	1.2	1927.8	17.9	1908	22	-1	0.656
ST 1.7	78	120	1.59	6.51	22.1	4.73	9.2	0.3060	1.2	0.1121	8.3	1721.2	18.5	1835	165	7	0.135
ST 1.8	125	154	1.27	7.91	45.6	7.20	9.1	0.3818	1.3	0.1367	7.8	2084.6	22.0	2188	157	5	0.138
ST 1.9	86	145	1.74	3.21	24.7	5.04	5.2	0.3223	1.1	0.1135	4.7	1800.9	16.8	1856	91	3	0.209
ST 1.10	141	173	1.27	0.11	40.9	5.43	2.0	0.3363	1.1	0.1171	1.6	1868.9	17.7	1912	29	2	0.553
ST 1.11	195	182	0.97	1.61	58.8	5.48	2.3	0.3448	0.9	0.1153	1.9	1909.8	14.9	1884	38	-1	0.397
ST 1.12	72	92	1.33	0.18	21.4	5.76	1.8	0.3456	1.1	0.1209	1.4	1913.4	18.1	1969	25	3	0.621

6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

As rochas vulcânicas da Formação Serra da Bocaina, encaixantes do Granito São Francisco, expostas na serra homônima, são representadas por fluxos de derrames ácidos, expressos por riolitos, que caracterizam depósitos vulcânicos coerentes subaéreos. As demais são caracterizadas como depósitos ignimbríticos separados em 3 fácies: Ignimbrito Lítico, Ignimbrito Rico em Cristais e Tufo Ignimbrítico.

Os derrames riolíticos da porção sul da área estudada são intrudidos por diques e apófises do Granito São Francisco. A distribuição espacial e a geometria das rochas vulcânicas, efusivas e piroclásticas, com o Granito São Francisco, associado às grandes dimensões das erupções explosivas e altas temperaturas a que estão relacionadas sugerem um ambiente de caldeira félsica como indicado por Gudmundsson (2008), no entanto, estudos adicionais são necessários para a comprovação dessa hipótese.

Na fácies denominada Ignimbrito Lítico é caracterizado pela ocorrência e abundância de litoclastos (piroclastos juvenis) sustentados por uma matriz cinerítica rica em *shards* e cristaloclastos. Os litoclastos são considerados piroclastos cognatos oriundos da fragmentação de rochas vulcânicas co-magmáticas previamente formadas.

Os cristaloclastos equidimensionais descritos na fácies Ignimbrito rico em cristais estão relacionados ao mecanismo de elutriação de cinza durante o fluxo piroclástico, que permite uma seleção natural de partículas, podendo apresentá-las angulosas ou arredondadas devido seu efeito abrasivo.

O tufo Ignimbrítico caracteriza um depósito típico de queda regido pelo mecanismo de suspensão, evidentes na área de estudo devido à presença, em escala de afloramento, de estratificação plano-paralela de baixo ângulo. Essas rochas são formadas a partir da coluna

de erupção, onde os piroclastos são depositados, sob efeito da gravidade, numa matriz tufácea. A natureza primária desse depósito estudado é reconhecida através de indicadores de calor identificados como: soldagem, esferulitos, estrutura de escape de gases – litofísa e cristalização na fase vapor, que também são considerados processos de modificação pós-magmáticos.

Geoquimicamente, constituem uma sequência ácida pouco expandida e seus litotipos são classificados como riolitos a álcali-riolitos que foram formados a partir de uma magmatismo subalcalino, peraluminoso e ferroso. As altas razões $FeO/(FeO+MgO)$ apontadas no diagrama de Frost *et al.* (2001) estão relacionadas a magmas altamente diferenciados, que podem ser enriquecidos em Fe durante os estágios finais da diferenciação magmática.

Os padrões de elementos terras raras, multielementares e demais diagramas geoquímicos são comparados aos das rochas do Granito São Francisco aliados as evidências petrográfica e composicionais sugerem evoluções através de um mesmo magma. Conforme o contexto geotectônico em que suas rochas estão inseridas, esse evento se coloca no tipo de arco magmático continental da evolução do Arco magmático Amoguijá.

Os dados geocronológicos U-Pb (SHRIMP) indicam 1899 ± 9 Ma interpretado como idade de cristalização do derrame riolítico, podendo ser considerado com uma sequência anterior ao evento explosivo marcado pelo ignimbrito rico em cristais datado em 1877 ± 3 , por Brittes *et al.* (2013), na serra da Bocaina.

As rochas vulcânicas estudadas representam uma extensão do vulcanismo que ocorre na serra da Bocaina de Brittes *et al.* (2013), onde foram encontrados os mesmos litotipos, sendo assim, consideradas como a porção norte da Formação Serra da Bocaina.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação da FAGEO - UFMT, Grupo de Pesquisa em Evolução Crustal e Tectônica (Guaporé), ao PROCAD (Proc. N° 096/2007), à FAPEMAT (Proc. N° 448287/2009) e ao

GEOCIAM (Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia de Geociências da Amazônia) pelo suporte financeiro e apoio à pesquisa; à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado à primeira autora.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, H.J.T., Santos, N. A., Trindade, C.H., Pinto, J.C.A., Montalvão, R.M.G., Dourado, T. D.C.; Palmeira, R.C.B., Tassinari, C.C.G. 1982. Geologia. In: Projeto RADAMBRASIL, Ministério das Minas e Energia-Secretaria Geral, *Folha SF. 21- Campo Grande*. Rio De Janeiro, **28**: 23-124.
- Brittes, A.F.N., Sousa, M.Z.A., Ruiz, A.S., Batata, M.E.F., Lafon, J.M., Plens, D.P. 2013. Geology, petrology and geochronology (Pb-Pb) of the Serra da Bocaina Formation: evidence of an Orosirian Amoguijá arc in the Rio Apa Terrane, south of the Amazonian Craton. *Brazilian Journal of Geology*, **43**(1): 48-69.
- Cordani, U.G., Teixeira, W., Tassinari, C.C.G., Ruiz, A.S. 2010. The Rio Apa Craton in Mato Grosso do Sul (Brazil) and Northern Paraguay: geochronological evolution, correlations and tectonic implications of and Gondwana. *American Journal of Science*, **310**: 981-1023.
- Côrrea, J.A.; Neto, C.; Correia Filho, F.C.L.; Scislewski, G.; Cavallon, L.; Cerqueira, N.L.S.; Nogueira, V.L. 1976. Projeto Bodoquena. Relatório Final. MMEDNPM-CONVÊNIO DNPM/CPRM, Superintendência Regional de Goiânia.
- Faleiros, F.M., Pavan, M., Remédio, M.J., Rodrigues, J.B., Almeida, V.V., Caltabeloti, F.P., Pinto, L.G.R., Oliveira, A.A., Pinto de Azevedo, E.J., Costa, V.S. 2015. Zircon U-Pb ages of rocks from the Rio Apa Cratonic Terrane (Mato Grosso do Sul, Brazil): New insights for its connection with the Amazonian Craton in pre-Gondwana times. *Gondwana research*.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Elis, D.J. e Frost, C.D. 2001. A Geochemical Classification for Granitic Rocks, *Journal of Petrology*, **42**: 2033-2048.
- Godoi, H.O., Martins, E.G., Mello, C.R., Scislewski, G. 2001. Projeto RadamBrasil. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folhas Corumbá (SE.21-Y-D), Aldeia Tomázia, (SF.21-V-B) e Porto Murtinho (SF. 21-V-D). Escala 1:250.000. Mato Grosso do Sul.
- Godoy, A. M., Ruiz, A. S., Manzano, J. C., Araújo Ruiz, L.M.B., Sousa, M.Z.A., Batata, M.E. F., Montano, L.F., Silva, M.V.V., Baldim, I., Lima, G.A. 2006. Aspectos petrográficos e litogeoquímicos da Suíte Vulcânica Serra da Bocaina, Maciço Rio Apa, sul do Cráton Amazônico-MS. *43º Congresso Brasileiro de Geologia*, p.250. Aracaju: SBG.
- Gudmundsson, A. Magma-chamber geometry, fluid transport, local stresses, and rock behaviour during collapse-caldera formation. In: Gottsmann, J.; Marti, J. *Caldera Volcanism: Analysis, Modelling and Response*. v. 10. Amsterdam: Elsevier, 2008. p. 313-349.
- Harker A. 1909. The natural history of the igneous rocks. New York, 384 p.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A., Tindle, A.G. (1986). Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *London*, **19**, 67-81.
- Hugh, R. (1993). Longman Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. New York, 352 pp.
- Irvine, I.N., Baragar, W.R.A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal Earth Science*, **8**, 523-548.
- Lacerda Filho, J.W., Brito, R.S.C., Silva, M.G., Oliveira, C.C., Moreton, L.C., Martins, E.G., Lopes, R.C., Lima, T.M., Larizzatti, J.H., Valente, C.R. (2006). Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso do Sul. Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Convênio CPRM/SICME-MS, MME, 10-28p.
- La Roche, H. (1980). Granites chemistry through multicationic diagrams. *Sciences de la Terre*, **13**, 65-88.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B.A. (1986). Chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, **27**: 745-750.
- Maniar, P.D., Piccoli, P.M. (1989). Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society American Bulletin*, **101**: 635-643.
- Nakamura K. 1977. Volcanoes as a possible indicator of tectonic stress orientation: principle and proposal. *Journal of Volcanology Geothermal Research*, **2**:1-16.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A. G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**(4): 956-983.
- Pearce, J.A. (1996). Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, **19**,120-125.
- Plens, D.P., Ruiz, A. S., Sousa, M.Z.A, Batata, M.E.F., Lafon, J.M., Brittes, A.F.N. (2013). Cerro Porã Batholith: post-orogenic A-type granite from the Amoguijá Magmatic Arc – Rio Apa Terrane – South of the Amazonian Craton. *Brazilian Journal of Geology*, **43** (3): 515-534.
- Redes, L.A., Sousa, M.Z.A., Ruiz, A.S., Lafon, J.M. (2015). Petrogênese e Geocronologia U-Pb e Sm-Nd do Granito Taquaral: Registro de um Arco Magmático Continental Orosiriano na Região de Corumbá – MS. Dissertação (Mestrado). Cuiabá: Instituto de Ciências Exatas e da Terra/ UFMT.
- Ruiz, A. S.; Simões, L., S., A.; Brito Neves, B., B. (2005). Maciço Rio Apa: extremo meridional do Cráton Amazônico. *Simpósio de Estudos Tectônicos*, **10**: 301-304. Curitiba: SBG.
- Sato, K., Tassinari, C.C.G., Basei, M.A.S., Siga, O.J., Onoe, A.T., Souza, M.D. (2014). Sensitive High Resolution Ion Microprobe

- (SHRIMP IIe/MC) of the Institute of Geosciences of the University of São Paulo, Brazil: analytical method and first results. *Geol. USP Série Científica*, **14**: 3-18.
- Shand S. J. (1927). *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore Deposits*. London, pp: 360.
- Winchester J.A. & Floyd P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, **20**:325-343.