



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**Ana Flávia Nunes Brittes**

**GEOLOGIA, PETROLOGIA E GEOCRONOLOGIA (Pb-Pb) DA  
FORMAÇÃO SERRA DA BOCAINA – TERRENO RIO APA – SUL DO  
CRÁTON AMAZÔNICO**

---

*Orientadora*

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Zélia Aguiar de Sousa**

**CUIABÁ/MT  
2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT**

*Reitora*

**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Maria Lucia Cavalli Neder**

*Vice-Reitor*

**Prof. Dr. Francisco José Dutra Solto**

*Pró-Reitora de Pós-Graduação*

**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Leny Caselli Anzai**

**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA - ICET**

*Diretor*

**Prof. Dr. Edinaldo de Castro e Silva**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS - DRM**

*Chefe*

**Prof. Dr. Paulo César Corrêa da Costa**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

*Coordenador*

**Prof. Dr. Amarildo Salina Ruiz**

*Vice-Coordenadora*

**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Maria Zélia Aguiar de Sousa**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**  
**Nº 32**

**GEOLOGIA, PETROLOGIA E GEOCRONOLOGIA (Pb-Pb) DA FORMAÇÃO**  
**SERRA DA BOCAINA – TERRENO RIO APA – SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO**

**Ana Flávia Nunes Brittes**

*Orientadora*

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Zélia Aguiar de Sousa

*Co-Orientador*

Prof. Dr. Amarildo Salina Ruiz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal de Mato Grosso como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geociências.

**CUIABÁ/MT**

**2012**

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

B862g Brittes, Ana Flávia Nunes.

Geologia, Petrologia e Geocronologia (Pb-Pb) da Formação Serra da Bocaina - Terreno Rio Apa - Sul do Cráton Amazônico / Ana Flávia Nunes Brittes. -- 2012

xiii, 96 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Maria Zélia Aguiar de Sousa.

Co-orientador: Amarildo Salina Ruiz.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Cuiabá, 2012.

Inclui bibliografia.

1. Terreno Rio Apa. 2. Formação Serra da Bocaina. 3. Geologia. 4. Petrologia. 5. Geocronologia. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**

---

**GEOLOGIA, PETROLOGIA E GEOCRONOLOGIA (Pb-Pb) DA FORMAÇÃO  
SERRA DA BOCAINA – TERRENO RIO APA – SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO**

---

Dissertação de mestrado aprovada em 31 de maio de 2012.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Zélia Aguiar de Sousa  
*Orientadora (UFMT)*

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Márcia Aparecida Sant'Ana Barros  
*Examinadora Interna (UFMT)*

---

Prof. Dr. Jean-Michel Lafon  
*Examinador Externo (UFPA)*

Aos meus pais,  
Elenira Amorim Nunes e  
Ayrton Sens Brittes.

## AGRADECIMENTOS

---

Primeiramente agradeço a Deus, por tudo que Ele tem feito em minha vida, por ter me dado força, sabedoria, inteligência, por ter me guiado nesta caminhada para a conclusão de mais uma etapa de minha vida, por ter sido meu grande companheiro.

Agradeço a minha família, por ter me apoiado nesta jornada. Agradeço aos meus pais Elenira Amorim Nunes e Ayrton Sens Brittes por ter me dado a vida, pelo imenso carinho, cuidado, preocupação e por estarem ao meu lado sempre, pois sem eles nada seria de mim. Ao meu irmão Ayrton Junior, que tanto me orgulho, pela amizade, carinho e respeito. Ao meu noivo Luciano Miguel, pelo companheirismo, apoio, carinho, paciência e incentivo.

Agradeço em especial aos meus orientadores Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Zélia Aguiar de Souza e Prof. Dr. Amarildo Salina Ruiz pelo apoio, dedicação, amizade, paciência, orientação, incentivo, aprendizado e por tudo que me ensinaram, tanto como pessoa e quanto geóloga, serei eternamente grata. A mestra Maria Elisa Fróes Batata, que não deixou de me orientar desde o Trabalho de Conclusão de Curso, sempre disposta a ajudar e compartilhar seus conhecimentos e pela completa dedicação a leitura e correção dos textos.

As amigas conquistadas nestes anos de geologia, Dalila Pexe, pelo companheirismo desde o Trabalho de Conclusão de Curso, aos quebra-campos Rone Marcos, Mariarosa, Renan Alex e Danilo.

Agradeço a todos que me ajudaram para a conclusão deste trabalho, em especial, a Gustavo Zenardi pela ajuda na elaboração dos mapas, Letícia Redes, Kamila Gomes e Shayenne Nogueira pela preparação das amostras.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, incluindo todos os professores, técnicos e mestrandos.

A CAPES (PROCAD 096/97) e FAPEMAT (Projeto de N° 448287/2009) pelo suporte financeiro ao desenvolvimento da pesquisa, ao Grupo de Pesquisa Evolução Crustal e Tectônica - Guaporé e ao GEOCIAM (Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia de Geociências da Amazônia) pelo apoio à pesquisa e concessão de bolsa de mestrado.

E por fim, agradeço a todos que passaram por minha vida, que de alguma forma me apoiaram e me incentivaram para que mais esta etapa fosse concluída!

Muito obrigada a todos, pois sozinha não chegaria a lugar algum!

# SUMÁRIO

---

AGRADECIMENTOS.....	vii
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
<b>Capítulo 1 - INTRODUÇÃO</b>	
1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	1
1.2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	1
1.3. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	2
1.4. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA.....	3
1.4.1. Etapa de Preparação.....	3
1.4.2. Etapa de Aquisição dos Dados.....	3
1.4.2.1. ETAPA DE CAMPO.....	3
1.4.2.2. ETAPA DE LABORATÓRIO.....	5
Análises Petrográficas.....	5
Análises Litogeoquímicas.....	5
Geocronologia - Método Pb-Pb (evaporação).....	5
1.4.3. Etapa de Tratamento e Sistematização dos Dados.....	6
1.4.4. Etapa de Elaboração da Dissertação.....	7
<b>Capítulo 2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b>	
2.1. CRÁTON AMAZÔNICO.....	8
2.2. TERRENO RIO APA: EXTREMO SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO.....	10
2.2.1. Compartimentação do Terreno Rio Apa.....	10
2.2.1.1. REMANESCENTE CROSTA OCEÂNICA (2,2 A 1,95 Ga).....	11
2.2.1.2. ARCO MAGMÁTICO RIO APA (1,95 a 1,87 Ga).....	11
2.2.1.3. ARCO MAGMÁTICO AMOGUIJÁ (1,87 a 1,75 Ga).....	11
2.2.1.3.1. Granito Alumiador.....	12
2.2.1.3.2. Vulcânica Serra da Bocaina.....	12
2.2.1.4. MAGMATISMO MÁFICO CONTINENTAL.....	13
2.2.1.5. ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS.....	13
2.2.2. Formação Pantanal.....	13
2.4. HISTÓRICO.....	15



### **Capítulo 3 - GEOLOGIA LOCAL**

3.1. GEOLOGIA DA REGIÃO DA SERRA DA BOCAINA .....	18
3.1.1. Granito Carandá .....	19
3.1.2. Formação Serra da Bocaina .....	20
3.1.2.1. BRECHA IGNIMBRÍTICA.....	20
3.1.2.2. IGNIMBRITO RICO EM CRISTAIS.....	23
3.1.2.3. TUFO CO-IGNIMBRÍTICO .....	23
3.1.2.4. REOIGNIMBRITO .....	23
3.1.2.5. ROCHAS EFUSIVAS.....	23
3.1.3. Formação Pantanal .....	23
3.1.4. Aluviões Recentes.....	23
3.2. ASPECTOS PETROGRÁFICOS .....	26
3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL.....	34
3.3.1. Primeira Fase de Deformação (F <sub>1</sub> ).....	35
3.3.2. Segunda Fase de Deformação (F <sub>2</sub> ) .....	37
3.4. GEOQUÍMICA.....	37
3.5. GEOCRONOLOGIA .....	48
3.5.1. Resultados Análiticos .....	49

### **Capítulo 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES**

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES .....	51
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	54

#### **ANEXOS**

Anexo I - Artigo Submetido a Revista Brasileira de Geociências .....	61
Anexo II - Tabela de pontos de afloramentos descritos .....	94

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.1.</b> Mapa de localização da área de estudo .....	2
<b>Figura 1.2.</b> Mapa de localização de afloramentos .....	4
<b>Figura 2.3.</b> Compartimentação geocronológica e tectônica do Cráton Amazônico, considerando o Terreno Rio Apa como parte integrante do mesmo .....	9
<b>Figura 2.4.</b> Mapa tectônico do Sul/Sudoeste do Cráton Amazônico .....	10
<b>Figura 2.5.</b> Esboço geológico do Terreno Rio Apa no sudoeste de Mato Grosso do Sul (Brasil) e nordeste do Paraguai .....	15
<b>Figura 3.6.</b> Mapa Geológico da Formação Serra da Bocaina na serra homônima .....	18
<b>Figura 3.7.</b> Perfil esquemático da Formação Serra da Bocaina .....	19
<b>Figura 3.8.</b> Fotografias do Granito .....	20
<b>Figura 3.9.</b> Fotografias da Fácies Brecha Ignimbrítica .....	22
<b>Figura 3.10.</b> Fotografias da Fácies Igimbrito Rico em Cristais .....	23
<b>Figura 3.11.</b> Fotografias da Fácies Tufo Co-ignimbrítico .....	23
<b>Figura 3.12.</b> Fotografias da Fácies Reoignimbrito.....	25
<b>Figura 3.13.</b> Fotografias das rochas efusivas.....	25
<b>Figura 3.14.</b> Fotografias da Formação Pantanal na região da Serra da Bocaina.....	26
<b>Figura 3.15.</b> Fotomicrografias das rochas da Fácies Brecha Ignimbrítica .....	28
<b>Figura 3.16.</b> Fotomicrografias das rochas da Fácies Brecha Ignimbrítica .....	29
<b>Figura 3.17.</b> Fotomicrografias das rochas da Fácies Igimbrito Rico em Cristais.. ..	30
<b>Figura 3.18.</b> Fotomicrografias das rochas da Fácies Tufo Co-ignimbrítico .....	31
<b>Figura 3.19.</b> Fotomicrografias das rochas da Fácies Reoignimbrito.....	32
<b>Figura 3.20.</b> Fotomicrografias das rochas efusivas .....	34
<b>Figura 3.21.</b> Figuras de estruturas das rochas da Formação Serra da Bocaina e estereogramas .....	36
<b>Figura 3.22.</b> Fotomicrografias das rochas da Formação Serra da Bocaina .....	37
<b>Figura 3.23.</b> Diagramas de Harker para rochas da Formação Serra da Bocaina.....	42
<b>Figura 3.24.</b> Diagramas: (A) total de álcalis <i>versus</i> sílica; (B) SiO <sub>2</sub> <i>versus</i> Zr/TiO <sub>2</sub> ; (C) Zr/TiO <sub>2</sub> <i>versus</i> Nb/Y; (D) R1 <i>versus</i> R2.....	43
<b>Figura 3.25.</b> Diagramas: (A) AFM; (B) K <sub>2</sub> O <i>versus</i> SiO <sub>2</sub> ; (C) A/CNK <i>versus</i> A/NK.....	44
<b>Figura 3.26.</b> Diagramas propostos por Whalen <i>et al.</i> (1987): 10000*Ga/Al <i>versus</i> Zr (A); Nb (B); Ce (C); Y (D); Zn (E); K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O (F).....	45
<b>Figura 3.27.</b> Diagramas: (A) Hf-Rb/30-Ta*3; (B) Rb <i>versus</i> Y+Nb; (C) (Nb/Zr) <sub>n</sub> <i>versus</i> Zr.....	46
<b>Figura 3.28.</b> Diagramas: (A) Spidergram; (B) ETR.....	47
<b>Figura 3.29.</b> Fotomicrografia de cristais de zircão da amostra AB35 selecionados para a datação.....	48
<b>Figura 3.30.</b> Diagrama idades <i>versus</i> cristais de zircão para a amostra AB35 (Fácies Igimbrito Rico em Cristais) .....	49

## LISTA DE TABELAS

---

<b>Tabela 1.</b> Composição química de elementos maiores, menores, traços incluindo terras raras de rochas da Formação Serra da Bocaina .....	39
<b>Tabela 1.</b> Continuação.....	40
<b>Tabela 1.</b> Continuação .....	41
<b>Tabela 2.</b> Dados isotópicos de Pb de multigrãos de zircão da amostra AB35 da fácies 2 da Formação Serra da Bocaina .....	48

## RESUMO

---

Este trabalho apresenta os resultados geológicos, petrológicos e geocronológicos (Pb-Pb em zircão) da Serra da Bocaina, enfatizando a formação homônima pertencente ao Arco Magmático Amoguijá do Terreno Rio Apa, extremo sul do Cráton Amazônico, sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul. O mapeamento geológico e os aspectos petrográficos permitiram a identificação de cinco fácies, sendo quatro ignimbríticas: Brecha Ignimbrítica (fácies 1), Ignimbrito Rico em Cristais (fácies 2), Tufo Co-ignimbrítico (fácies 3) e Reoignimbrito (fácies 4) e uma efusiva (fácies 5). As rochas das quatro primeiras fácies são caracterizadas pela presença de diferentes produtos piroclásticos, tais como, fragmentos líticos e púmicos, cristaloclastos, púmices, *fiammes*, *shards* e cristaltos de variadas dimensões e composições, bem como por fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino, imersos em uma matriz cinerítica fina. A fácies 5, efusiva, caracteriza-se por textura porfírica a glomeroporfírica com fenocristais de plagioclásio, quartzo e feldspatos alcalinos, tendo apatita, zircão e opacos como acessórios e sericita, epidoto/clinozoizita, clorita, argilo-minerais como fases de alteração. A análise estrutural realizada permitiu a identificação de duas fases deformacionais compressivas de natureza dúctil e dúctil-rúptil. A primeira corresponde ao evento mais antigo e responsável pelo desenvolvimento de foliação penetrativa, lineações de estiramento/mineral e zonas de cisalhamento dúctil. Os indicadores cinemáticos mostram que a Zona de Cisalhamento Santa Rosa apresenta transporte de topo para NWW e representa o limite entre as rochas da Fácies Brecha Ignimbrítica da Formação Serra da Bocaina e o Granito Carandá. O segundo evento deformacional, de menor intensidade é representado por uma clivagem de crenulação discreta, clivagem disjuntiva e por suaves ondulações de  $S_1$ . Todo este conjunto vulcânico-vulcanoclástico exibe metamorfismo de baixo grau, coincidente com a fácies xisto-verde caracterizado pela paragênese albita + epidoto + clorita. As rochas da Formação Serra da Bocaina são intermediárias a predominantemente ácidas e classificam-se como andesitos e riolitos, geradas através de cristalização fracionada de um magma de natureza subalcalina do tipo cálcio-alcalino de médio a alto-K, em um ambiente de arco-vulcânico. Os resultados geocronológicos obtidos permitiram relacionar as rochas estudadas à evolução do Arco Magmático Amoguijá, de idade Orosiriana, conforme idade Pb-Pb em zircão de  $1878 \pm 4$  Ma.

## ABSTRACT

---

This work presents geological, petrological and geochronological (Pb-Pb zircon) results of Serra da Bocaina, emphasizing the homonymous geological formation that belongs to the Amoguijá Magmatic Arc of Rio Apa Terrene, southernmost of Amazonian Craton, southwestern of Mato Grosso do Sul state. Geological mapping and petrographic features allowed the discrimination of five facies, four ignimbritic: Ignimbrite Breccia (facies 1), Crystal Rich Ignimbrite (facies 2), Co-ignimbritic Tuff (facies 3) and Rheomorphic ignimbrite (facies 4), and an effusive (facies 5). Rocks of facies 1 to 4 consist of distinct pyroclastic products, such as, lithic and pumiceous fragments, crystal clasts, pumice, fiamme, shards and crystallites of various dimensions and compositions, as well as quartz, plagioclase and alkali feldspar phenocrysts, within an ashy matrix. The facies 5 consists of effusive rocks with porphyritic to glomeroporphyritic texture with plagioclase, quartz and alkali feldspar phenocrysts within a quartz-feldspathic groundmass. Apatite, zircon and opaque minerals are accessory phases and sericite, epidoto-clinozoisite, chlorite, clay minerals are secondary phases. The structural frame allowed the identification of two compressional stages of deformation of ductile and ductile-brittle behavior. The older ductile deformation promoted the development of penetrative foliation, stretching lineation and ductile shear zones. Shear sense indicators show a hanging wall dislocation to NWW for the Santa Rosa Shear Zone, which represents the boundary between facies 1 rocks and the Carandá Granite. The younger ductile-brittle deformation is less intense and consists of incipient crenulation and disjunctive cleavages and gentle folding of  $S_1$ . The whole volcanic succession displays a mineral assemblage of albite + epidoto + chlorite that is consistent with lower grade metamorphism of green schist facies. The Serra da Bocaina Formation rocks have a dominantly acid composition with local intermediate occurrences that can be classified as rhyolite and andesite evolved through fractional crystallization from a medium- to high-K calc-alkaline magma in a volcanic-arc setting. Pb-Pb geochronological results indicate an Orosirian age of  $1878 \pm 4$  Ma suggesting relation with the evolution of the Amoguijá Magmatic Arc.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA

O sul do Cráton Amazônico, especificamente na divisa com o Paraguai nas proximidades do município de Porto Murtinho, é caracterizado por ocorrências de rochas pertencentes ao Terreno Rio Apa, que constitui o embasamento da Faixa Paraguai. O Terreno Rio Apa é limitado a leste por rochas pelítico-carbonáticas do Grupo Corumbá (Serra da Bodoquena) e é recoberto, a oeste, por sedimentos cenozóicos da Bacia do Pantanal. Compreende um segmento crustal paleoproterozóico e é parte integrante do Cráton Amazônico, segundo Ruiz (2005). Lacerda Filho *et al.* (2006) apresentam uma compartimentação tectônica para o Terreno Rio Apa, onde a Formação Serra da Bocaina, foco deste trabalho, está inserida no Arco Magmático Amoguijá.

De acordo com Godoy *et al.* (2010) a Formação Serra da Bocaina é constituída por uma diversidade composicional e textural de rochas subvulcânicas, vulcânicas e vulcanoclásticas ácidas, incluindo riodacitos, andesitos e dacitos. Datações U-Pb SHRIMP em zircão forneceram idade de cristalização de 1794 Ma para estas rochas vulcânicas, as quais apresentaram valor de  $\epsilon_{Nd(1.79)}$  em torno de -2 (Lacerda Filho *et al.* 2006).

A área de estudo é composta pela Formação Serra da Bocaina, Granito Carandá (Brittes *et al.* 2011) e sedimentos quaternários da Formação Pantanal e é pouco estudada sob o ponto de vista geológico.

### 1.2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A região mapeada situa-se na porção sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul, Folha Porto Murtinho (SF. 21-V-D) e localiza-se a cerca de 1.100 km da cidade de Cuiabá.

A área de estudo está situada nas proximidades do município de Porto Murtinho (Fig. 1.1), na Serra da Bocaina. O acesso, a partir de Cuiabá, é feito pela BR-364 até o município de Rondonópolis, onde se toma a BR-163 até a cidade de Campo Grande. Daí prossegue-se pela rodovia BR-060 até Jardim e, seguindo pela BR-267, até o município de Porto Murtinho. O acesso é feito por estradas asfaltadas em bom estado de conservação e a locomoção até a área mapeada, a partir de Porto Murtinho, é feita pela BR-267 onde se toma estradas sem pavimentação asfáltica que interligam as fazendas.

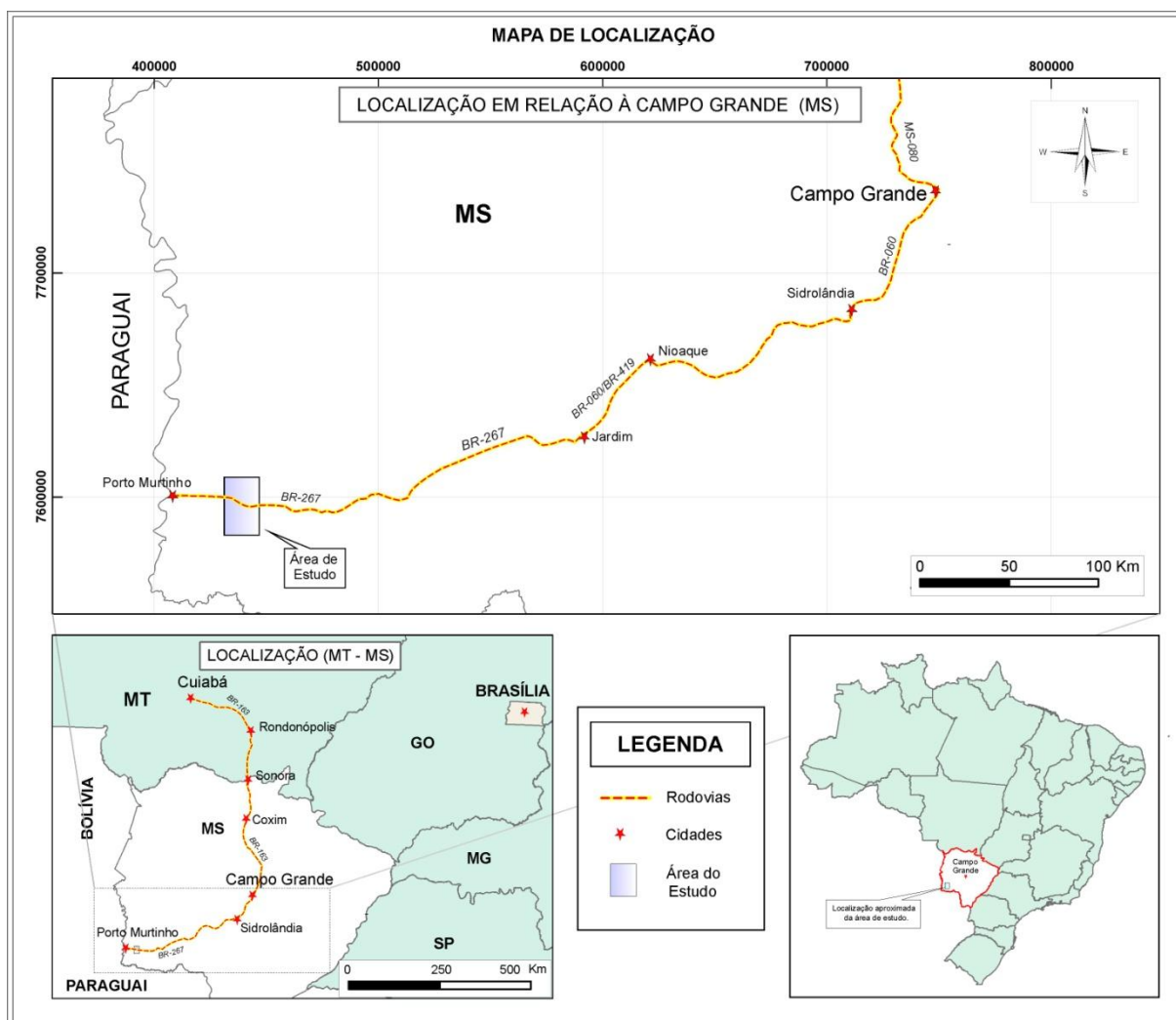


Figura 1.1. Mapa de localização da área de estudo.

### 1.3. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Este trabalho tem o propósito de contribuir para o entendimento da evolução crustal do Cráton Amazônico e principalmente do evento magmático responsável pela formação das unidades efusivas e piroclásticas no Terreno Rio Apa, com base em mapeamento geológico, análises petrográficas, estruturais, litogeoquímicas e geocronológicas da Formação Serra da Bocaina.

A partir de mapeamento geológico sistemático na escala 1:50.000, de uma área situada na região da Serra da Bocaina, município de Porto Murtinho (MS), pretendeu-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Cartografia geológica da região da Serra da Bocaina;
- Caracterização petrográfica e faciologicamente das rochas da Formação Serra da Bocaina;
- Caracterização litogeoquímica;
- Definição da idade de cristalização das rochas da Formação Serra da Bocaina.

## **1.4. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA**

Para o desenvolvimento deste trabalho adotaram-se procedimentos usuais em mapeamento geológico, coleta de amostras, análises laboratoriais e interpretação dos dados, divididos em quatro etapas, sendo de: preparação; aquisição de dados (campo e laboratório); tratamento e sistematização de dados e elaboração e defesa da dissertação.

### **1.4.1. Etapa de Preparação**

Previamente, fez-se levantamento e estudo do acervo bibliográfico disponível sobre a região do Sul do Cráton Amazônico, tais como artigos científicos, teses, dissertações, monografias de conclusão de curso realizadas na área e em suas proximidades, e interpretação de imagens de relevo digital (SRTM) e da Folha Porto Murtinho (SF. 21-V-D). Posteriormente, realizou-se o levantamento quantitativo das amostras de mão, seções delgadas e pontos de afloramentos disponíveis, a fim de gerar um banco de dados.

A elaboração do mapa base foi feita a partir da interpretação de imagens de satélite, com o auxílio dos softwares *ArcMap*, versão 9.3, *Corel Draw* (versão 14) e planilhas de Excel.

### **1.4.2. Etapa de Aquisição de Dados**

#### *1.4.2.1. ETAPA DE CAMPO*

Neste trabalho foram realizadas duas etapas de campo, onde descreveu-se 52 pontos situados ao longo de estradas, drenagens e encostas da Serra da Bocaina, que, somados aos 100 pontos descritos no nosso Trabalho de Conclusão de Curso, totalizaram 152 pontos (Anexo I) ilustrados no mapa de localização de afloramentos (Fig. 1.2). Nesta fase buscou-se delimitar as diferentes fácies litológicas, onde foram tiradas dúvidas sobre o mapa geológico preliminar elaborado no Trabalho de Conclusão de Curso assim detalhando melhor as vulcânicas; coletar novos dados estruturais e mais amostras de rocha para confecção de lâminas delgadas e investigação litogeoquímica e geocronológica.



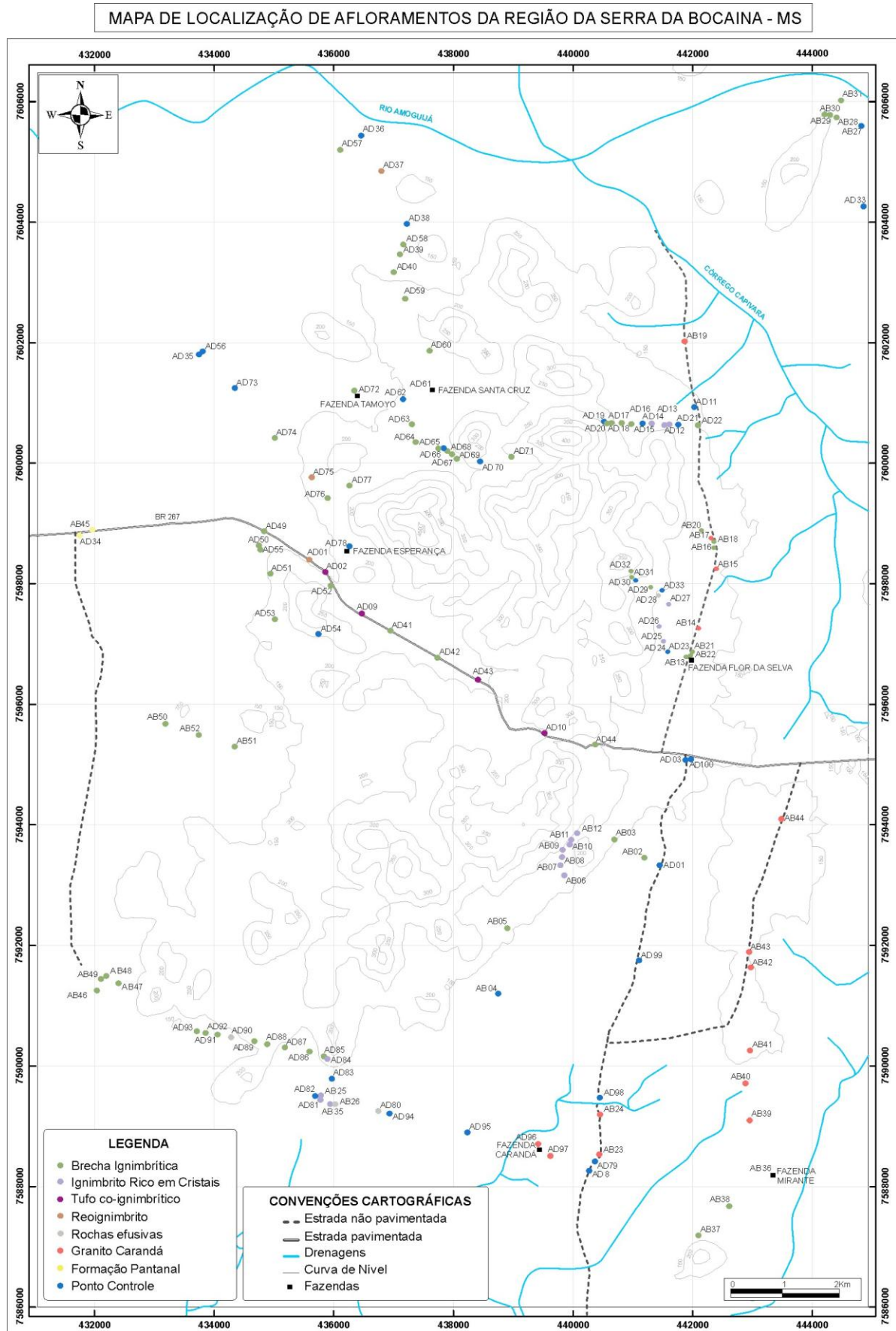


Figura 1.2. Mapa de localização de afloramentos.

#### 1.4.2.2. ETAPA DE LABORATÓRIO

##### *Análises Petrográficas*

Para a análise petrográfica foram selecionadas 18 amostras para a confecção de novas seções delgadas, que somadas às 24 já descritas no Trabalho de Conclusão de Curso, auxiliaram na melhor caracterização das fácies. A confecção destas lâminas delgadas foi realizada no Laboratório de Laminação da Universidade Federal do Mato Grosso, Departamento de Recursos Minerais (DRM - UFMT). O trabalho de descrição de lâminas foi feito em microscópio óptico binocular da marca *Olympus, modelo BX50*, no Laboratório de Microscopia, também pertencente ao DRM, visando a caracterização da composição mineralógica, feições texturais e estruturais das rochas da Formação Serra da Bocaina. As fotomicrografias das seções delgadas foram obtidas com o equipamento *Infinity 1* e o *software* de mesma denominação, além do *Corel Draw* (versão 14).

##### *Análises Litogeoquímicas*

Para o tratamento litogeoquímico foram selecionadas 24 amostras como as mais representativas da Formação Serra da Bocaina considerando sua distribuição na área de estudo. As amostras foram trabalhadas no Laboratório de Preparação de Amostras na Universidade Federal de Mato Grosso, Departamento de Recursos Minerais (DRM - UFMT) e enviadas ao Laboratório Acmelabs, Vancouver, Canadá, para determinações através dos métodos ICP (*Inductively Coupled Plasma*) e ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) para determinação da composição química (elementos maiores, menores e traços incluindo terras raras) em rocha total. Na interpretação dos dados foram utilizados os *software* MinPet 2.0, NewPet e GCDkit 2.3.

##### *Geocronologia*

##### *Método Pb-Pb (evaporação)*

A amostra foi processada pelos métodos convencionais como britagem, moagem, peneiramento e concentração da fração 0,090 mm nos laboratórios de Preparação de Amostras e de Diluição Química, do Departamento de Recursos Minerais da Universidade Federal de Mato Grosso (DRM-UFMT). Utilizando-se o separador magnético *Frantz* foi dissociada fração menos magnética da população de zircão, selecionando-se manualmente 116 grãos em lupa binocular. Estes foram dispostos em filamentos de rênio totalizando quarenta e quatro canoas, sendo todas analisadas no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará (Pará-Iso). Foi necessário o uso de um artefato de laboratório que utiliza três grãos por canoa, considerando-se a pequena quantidade de Pb radiogênico em virtude de a fração analisada ser 0,090 mm, assumindo-se que todos os cristais têm a mesma razão  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ .

O método aplicado foi realizado no espectrômetro FINNIGAN MAT 262, onde se utiliza dois filamentos posicionados frente a frente, como preconizado por Kober (1986, 1987), sendo um filamento de evaporação, o qual contém o zircão, e um filamento de ionização, a partir do qual o Pb é

analisado. O filamento de evaporação é aquecido gradativamente em temperaturas pré-estabelecidas, que constituem três etapas de evaporação sendo, a primeira a 1450°C, a segunda a 1500°C e a terceira a 1550°C. Durante cada etapa de aquecimento, que dura aproximadamente 5 minutos, o Pb é liberado do retículo cristalino do zircão, onde é imediatamente depositado no filamento de ionização. Em seguida, o filamento de evaporação é desligado e o filamento de ionização é aquecido a uma temperatura em torno de 1050°C quando o Pb ali depositado é ionizado. As intensidades das emissões dos diferentes isótopos de Pb podem ser medidas de duas formas: a primeira, quando se tem baixa intensidade de sinal, com monocoletor (contador de íons) segundo uma varredura na seguinte seqüência de massa: 206, 207, 208, 206, 207 e 204. A segunda, quando se tem alta intensidade, é feita em multicoletor (contador de íons e caixas de Faraday) segundo uma varredura na seguinte seqüência de massa: 206, 207, 208 e 204. Em ambos os modos, cada conjunto de 10 varreduras define um bloco, um bloco obtido no contador de íons fornece 18 razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  e no multicoletor 10 razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . A cada etapa de evaporação são obtidos, em geral, até cinco blocos de dados nas análises em monocoletor, e dez, nas análises em multicoletor. A média das razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  desses blocos define uma idade correspondente para cada etapa. As idades obtidas nas diferentes etapas de evaporação podem apresentar diferentes valores, sendo que, normalmente observa-se um aumento nas idades no sentido das etapas de mais alta temperatura. Quando isso ocorre, são consideradas apenas as idades obtidas em temperaturas mais altas, pois nesse caso, o Pb analisado é proveniente das porções mais retentivas do cristal de zircão e, portanto, mais representativas da idade de cristalização do mineral.

A apresentação dos resultados considera os desvios a  $2\sigma$  e as correções do Pb comum são feitas mediante uso do modelo de evolução do Pb em estágio duplo proposto por Stacey & Kramers (1975), utilizando a razão  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Os dados obtidos são tratados estatisticamente de com os princípios metodológicos estabelecidos no Laboratório de Geologia Isotópica - Pará-Iso/UFPA (Gaudette *et al.* 1998).

Os resultados de blocos, etapas ou cristais podem ser eliminados do cálculo final da idade segundo alguns critérios, entre eles destacam-se os seguintes: os blocos com razões isotópicas  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  superiores a 0,0004 são desprezados, para tornar mínima a correção de Pb de contaminação ou inicial; são eliminados blocos com desvios superiores a  $2\sigma$  em relação à média das idades dos cristais de zircão; faz-se, além disso, a eliminação subjetiva, onde são desprezados blocos, etapas de evaporação, ou cristais que apresentem idades discordantes da média das idades obtidas nas temperaturas mais altas da maioria das análises. A etapa seguinte consiste na elaboração do diagrama realizado a partir do programa Isoplot versão 3 (Ludwig 2001).

#### **1.4.3. Etapa de Tratamento e Sistematização dos Dados**

Nesta etapa foram realizadas a integração, interpretação e comparação dos dados obtidos, possibilitando melhor entendimento da área estudada. Foram utilizados os seguintes *Softwares*:

- *Microsoft Excel* 2007 utilizado para elaboração de planilhas;
- *Microsoft Word* 2007 na elaboração da redação e formatação da dissertação;
- *Coreldraw X4* utilizado para a confecção de mapas e tratamento de fotografias e fotomicrografias;
- *SteroNet* empregado no tratamento de dados estruturais, possibilitando a confecção dos estereogramas;
- *GCDkit 3.0*, *MinPet 2.0* e *NewPet 7.10* para elaboração dos diagramas geoquímicos;
- *Software Isoplot* na elaboração do diagrama geocronológico;
- *ArcGIS (ArcMap, versão 9.3)* na confecção do mapa de localização e vias de acesso, geológico e de pontos.

#### **1.4.4. Etapa de Elaboração da Dissertação**

A partir da interpretação dos dados obtidos, foi possível a confecção desta dissertação e a elaboração do artigo científico intitulado “*Geologia, Petrologia e Geocronologia (Pb-Pb) da Formação Serra da Bocaina: Evidências de um Arco Magmático Orosiriano no Terreno Rio Apa – Extremo Sul do Cráton Amazônico*”, submetido à Revista Brasileira de Geociências, pré-requisito necessário para obtenção do título de mestre no programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Mato Grosso (PPGEC – UFMT), apresentado nesta dissertação como capítulo 4.

## CAPÍTULO 2

### CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

---

#### 1.1. CRÁTON AMAZÔNICO

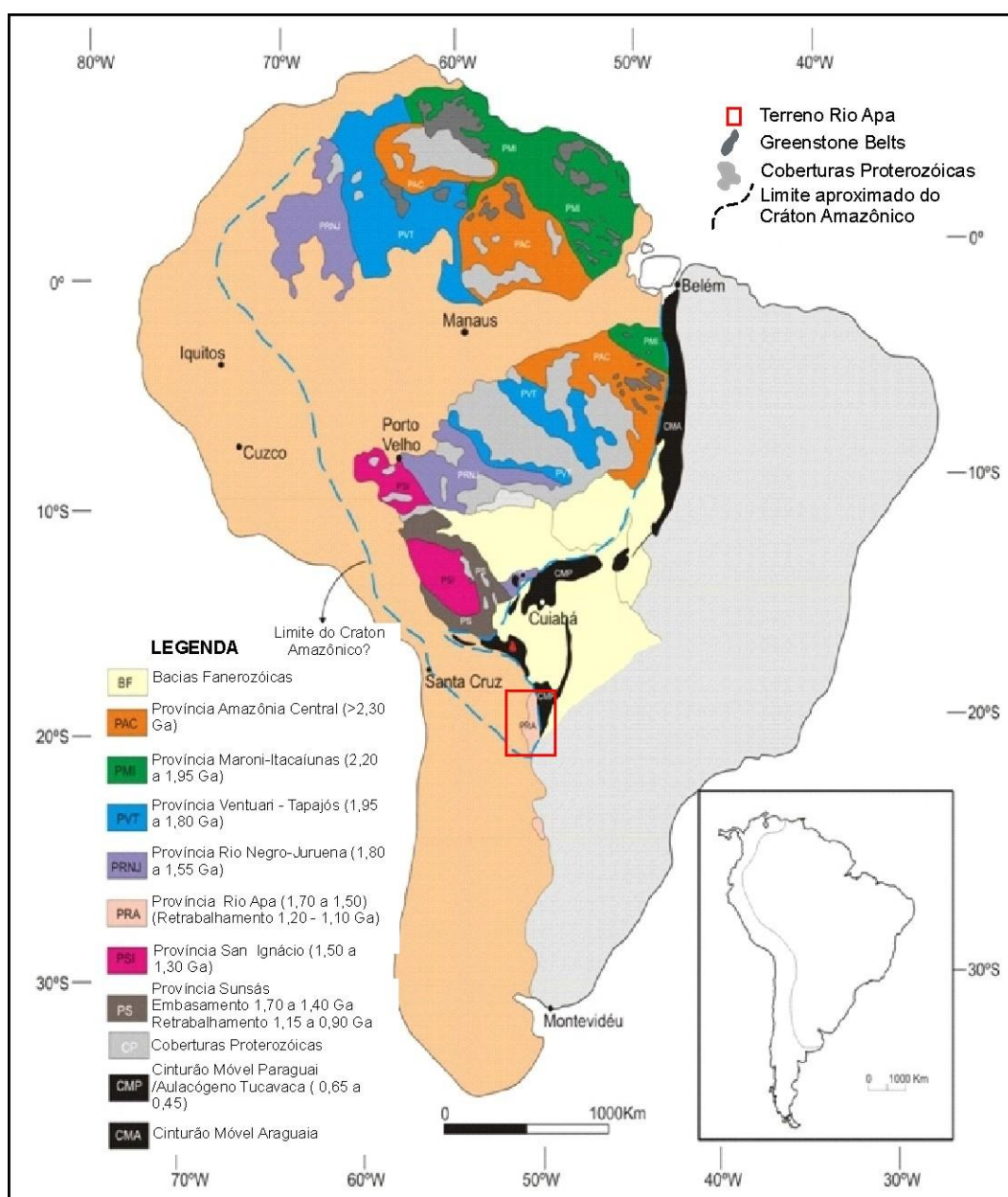
O Cráton Amazônico (Fig. 2.3) está localizado na parte norte da América do Sul e tem como limite oriental os cinturões neoproterozóicos Paraguai e Araguaia, a sudeste e a leste respectivamente, estando, os limites N, S e W, recobertos pelos sedimentos das Bacias Subandinas.

A evolução tectônica do Cráton Amazônico é dividida em duas grandes linhas de pensamentos. A primeira concepção foi baseada nos conceitos da escola geossinclinal, onde autores como Amaral (1974), Issler (1977), Almeida (1978), Hasui *et al.* (1984) e Costa & Hasui (1997) propuseram que a tectônica pré-cambriana do cráton fosse caracterizada por processos de reativação de plataforma e formação de blocos continentais ou paleoplasas por meio de retrabalhamento de crosta continental no Arqueano e Paleoproterozóico. De acordo com esta concepção, no Mesoproterozóico teriam ocorrido apenas processos de reativação e/ou retrabalhamento de rochas preexistentes. A segunda linha de pensamento sobre a evolução do Cráton, proposta por Cordani *et al.* (1979), seguida e modificada por Tassinari (1981), Cordani & Brito Neves (1982), Teixeira *et al.* (1989), Tassinari (1996), Santos *et al.* (2000), entre outros, se fundamenta na Teoria da Tectônica Global ou de Placas, na qual defendem a ocorrência, durante o Arqueano, Paleo e Mesoproterozóico, de sucessivas acreções de crosta juvenil, além de processos de retrabalhamento crustal.

O Terreno Rio Apa, extremo sul do Cráton Amazônico (Fig. 2.4), ultimamente vem sendo alvo de discussões quanto à sua origem, e quanto à questão de fazer parte, ou não, desse cráton. Os primeiros esboços do Cráton Amazônico (Almeida 1964, 1978; Hasui & Almeida 1970, 1985; Amaral 1974) consideram o Terreno Rio Apa como parte integrante do mesmo. A partir dos modelos sugeridos por Cordani *et al.* (1979) e Litherland & Bloomfield (1981) e Litherland *et al.* (1986) o Terreno Rio Apa foi descartado das reconstruções, ficando estabelecida a Faixa Tucavaca como o limite meridional do Cráton Amazônico. Litherland *et al.* (1986) divulga o esboço do Cráton Amazônico limitado a sul pela Faixa Tucavaca e a leste pelas Faixas Paraguai e Araguaia. Esta reconstrução aponta que o Terreno Rio Apa constitui um bloco crustal menor, acrescido à margem cratônica na consolidação da Faixa Tucavaca.

Por outro lado, Trompette (1994), Trompette & Alvarenga (1998), Boggiani & Alvarenga (2004) e Ruiz *et al.* (2005) interpretam a Faixa Tucavaca como um *rift* abortado de uma junção tríplice, o Aulacógeno Tucavaca - Chiquitos e não a um cinturão marginal, gerado pela colisão do Cráton Amazônico com o Terreno Rio Apa. Cordani *et al.* (2005) admitem que o Cráton Amazônico e o Terreno Rio Apa foram unidos antes da instalação do Aulacógeno Tucavaca e também sugerem a correlação dos mesmos.

Ruiz (2005) apresenta argumentos sugerindo que o Terreno Rio Apa é parte integrante do Cráton Amazônico, baseando-se nas seguintes observações: (i) o Grupo Cuiabá e as demais unidades do Cinturão Paraguai exibem continuidade física desde Nova Xavantina (MT) até a Serra da Bodoquena (MS) e o Paraguai; (ii) a deformação na Faixa Tucavaca é caracterizada por uma fraca compressão geradora de amplas ondulações e discretos cavalgamentos; (iii) na correlação estratigráfica entre as unidades da Faixa Tucavaca (Grupos Boqui, Tucavaca e Murciélagos) e as unidades da Faixa Paraguai, no SW do Brasil (Grupos Jacadigo e Alto Paraguai); (iv) o Cráton Amazônico, em toda a sua extensão, comportou-se como uma margem continental passiva, durante a deposição de parte da Faixa Paraguai.



**Figura 2.3.** Compartimentação geocronológica e tectônica do Cráton Amazônico, considerando o Terreno Rio Apa como parte integrante do mesmo (Extraído de Ruiz 2005).

## 2.2. TERRENO RIO APA: EXTREMO SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO

O Terreno Rio Apa está localizado na parte central da América do Sul, compreende um segmento crustal paleoproterozóico exposto em área restrita do sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul na divisa com o Paraguai (Fig. 2.4), constituindo o embasamento da Faixa Paraguai. É limitado a leste por rochas pelítico-carbonáticas do Grupo Corumbá (Serra da Bodoquena), sendo que a oeste está coberto por sedimentos cenozóicos da Bacia do Pantanal (Lacerda *et al.* 2006).

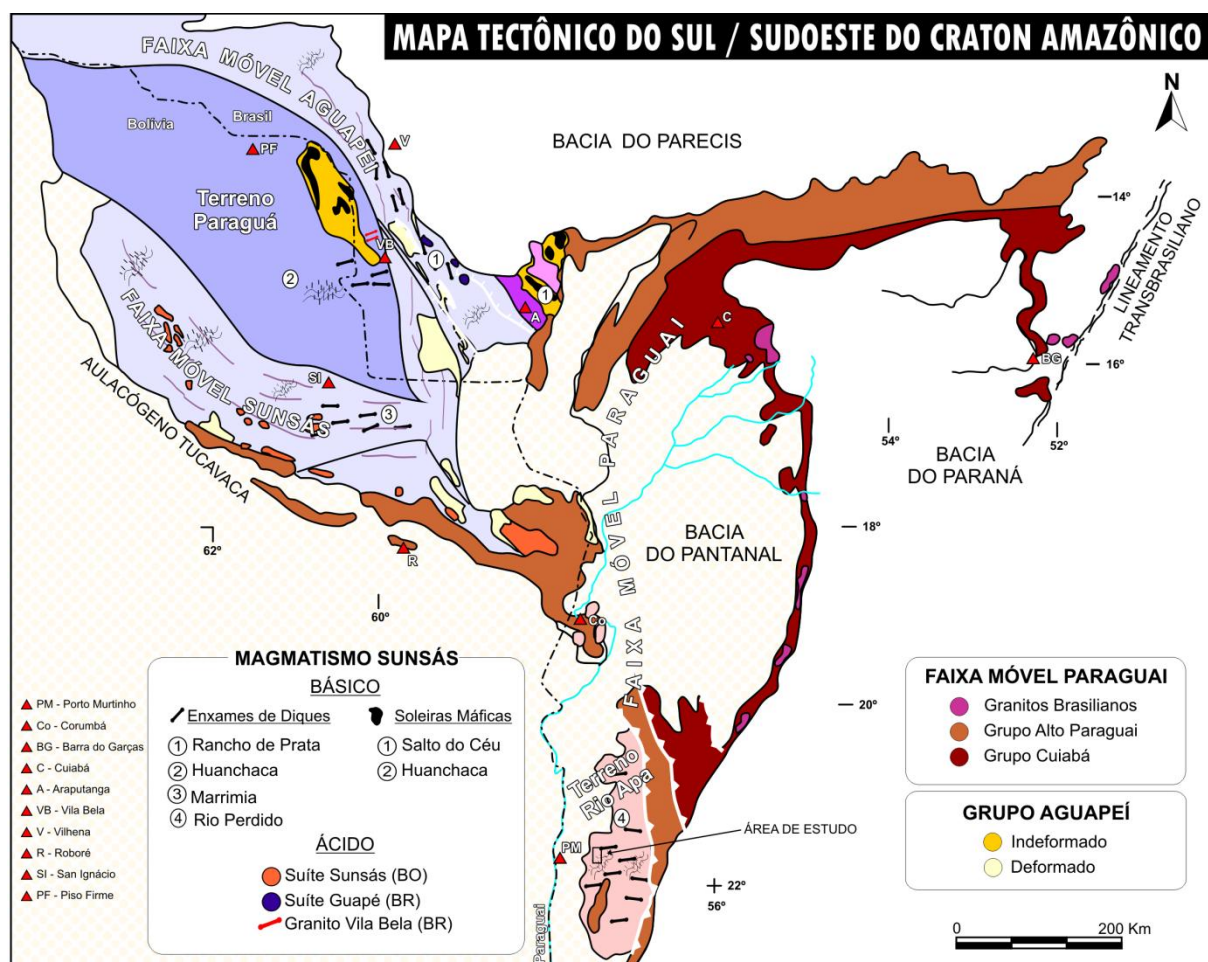


Figura 2.4. Mapa tectônico do Sul/Sudoeste do Cráton Amazônico (Extraído de Ruiz *et al.* 2010b).

### 2.2.1. Compartimentação Geotectônica do Terreno Rio Apa

Lacerda Filho *et al.* (2006) baseando-se em características geológicas, geoquímicas e geocronológicas, subdividem o Terreno Rio Apa em três compartimentos geotectônicos distintos, denominados: Remanescente de Crosta Oceânica, Arco Magmático Rio Apa e Arco Magmático Amoguijá.

Além das unidades descritas por esses autores, neste trabalho são reconhecidos o Magmatismo Máfico Continental e Enxames de Diques Máficos, elementos crustais cronologicamente assim

empilhados: Remanescente de Crosta Oceânica, Arco Magmático Rio Apa, Arco Magmático Amogujá, Magmatismo Máfico Continental e Enxames de Diques Máficos.

#### 2.2.1.1. REMANESCENTE DE CROSTA OCEÂNICA (2,2 a 1,95 Ga)

O Remanescente de Crosta Oceânica é formado pelas rochas do Grupo Alto Tererê (Fig. 2.5) composto por rochas metavulcano-sedimentares paleoproterozóicas, orientadas segundo NNW-SSE (Lacerda Filho *et al.* 2006). De acordo com esses autores, este grupo é composto por metapelitos aluminosos e anfibolitos derivados de rochas metavulcânicas básicas toleíticas, deformadas e metamorfizadas na fácies anfibolito, com retrometamorfismo para a fácies xisto-verde. O regime compressivo que afetou estas rochas é representado por deformações progressivas, com vergência para oeste, que, por vezes, as coloca sobre as rochas da Suíte Intrusiva Alumiador por meio de falhas de empurrão.

Estas rochas apresentam idade-modelo (TDM) na ordem de 2,2 Ga e estão intrudidas pelos granitóides do Complexo Rio Apa (1,94 Ga) e do Granito Alumiador (1,83 Ga), representando a unidade mais antiga do Cráton Amazônico na região sul do estado de Mato Grosso do Sul (Lacerda Filho *et al.* 2006).

#### 2.2.1.2. ARCO MAGMÁTICO RIO APA (1,95 a 1,87 Ga)

Este compartimento, de acordo com Lacerda Filho *et al.* (2006), é caracterizado por rochas gnáissicas e graníticas do Complexo Rio Apa, com diversos graus de deformação, sendo constituído por biotita granitos, álcali granitos, monzonitos, muscovita-biotita gnaisses, hornblenda-biotita gnaisses e, subordinadamente, trondjemitos, tonalitos e granodioritos.

Do ponto de vista geoquímico estas rochas apresentam filiação cálcio-alcálica de afinidade adakítica e indicam que foram geradas em ambiente de arco vulcânico (Lacerda Filho *et al.* 2006). Idade U-Pb SHRIMP em zircão aponta idade de 1941 Ma (Lacerda Filho *et al.* 2006), revelando que o Arco Magmático Rio Apa desenvolveu-se no Orosiriano. Dados isotópicos Sm-Nd, obtidos por Lacerda Filho *et al.* (2006), não lograram a obtenção de uma isócrona, mas a idade-modelo (2,57 Ga) e os valores de  $\epsilon_{Nd}$  ( $\approx -6$ ) indicam forte envolvimento de material crustal mais antigo na formação dessas rochas.

Nas rochas do Complexo Rio Apa, segundo Lacerda Filho *et al.* (2006) são identificadas deformações de natureza dúctil a dúctil-rúptil, com orientação NNW-SSE e vergência para oeste, como as rochas do Grupo Alto Tererê. São observadas zonas de cisalhamento contracionais predominantemente NE-SW, com mergulhos entre 20° e 60° SE, com inflexões para NS e NW-SE.



### 2.2.1.3. ARCO MAGMÁTICO AMOGUIJÁ (1,87 a 1,75 Ga)

O Arco Magmático Amoguijá, segundo Lacerda Filho *et al.* (2006), é composto pela suíte homônima subdividida em rochas plutônicas (Granito Alumiador) e vulcânicas (Vulcânicas Serra da Bocaina), enfoque desta pesquisa.

#### 2.2.1.3.1. Granito Alumiador

O Granito Alumiador (Fig. 2.5), de acordo com Lacerda Filho *et al.* (2006), corresponde a um batólito alongado segundo direção N-S, englobando biotita granitos, monzogranitos com autólitos de tonalito, micromonzogranitos, granodioritos, magnetita-biotita sienogranitos, sienogranitos granofíricos e granófiros pouco deformados; exibem contato tectônico e/ou intrusivo nos granitóides do Complexo Rio Apa e nas rochas supracrustais do Grupo Alto Tererê. Estas rochas estão localmente milonitizadas e filonitizadas em decorrência de tectônica rúptil a rúptil-dúctil NW-SE.

Estes mesmos autores excluem as rochas da Suíte Gabro-anortosítica da Serra da Alegria (Silva 1998; Godoy *et al.* 2007) do Granito Alumiador, e as agrupam na unidade Intrusivas Básicas, como corpos máficos toleíticos continentais, em razão da idade apresentada U-Pb SHRIMP em zircão de 1,78 Ga. Neste trabalho estas rochas serão inseridas no magmatismo máfico continental.

Lacerda Filho *et al.* (2006) apresentam idade U-Pb SHRIMP em zircão de 1867 Ma, obtida em amostra de monzogranito porfirítico. Dados isotópicos Sm-Nd (rocha total) mostram valores (TDM) de 2,17 Ga e valores de  $\epsilon_{Nd}$  em torno de -0,68.

#### 2.2.1.3.2. Vulcânica Serra da Bocaina

As rochas desta unidade apresentam-se alinhadas, aproximadamente, segundo N-S, e paralelas a Serra do Alumiador (Fig. 2.5). Godoy *et al.* (2010) as dividem em três segmentos paralelos à disposição das rochas plutônicas do Granito Alumiador. O segmento norte é denominado Serra de São Francisco e o central, de maior expressão como Serra da Bocaina e, que se estende para o segmento sul, nas proximidades da Serra da Esperança, mantendo a mesma designação.

Estas rochas, segundo Godoy *et al.* (2010), encontram-se assentadas discordantemente sobre as rochas do Complexo Rio Apa. No extremo sul, observam-se contatos tectônicos nas proximidades da Serra da Esperança com rochas metassedimentares associadas ao Grupo Jacadigo ou Grupo Amolar. Na parte norte, os contatos com as rochas do Grupo Alto Tererê são frequentes e localmente ocorrem exposições expressivas de riolitos no sopé das rochas metabásicas do Morro do Triunfo.

Conforme Godoy *et al.* (2010), as Vulcânicas Serra da Bocaina são representadas por uma diversidade composicional e textural de rochas subvulcânicas (riolitos e microgranitos), vulcânicas (riolitos porfiríticos e fluxos de lava), e vulcanoclásticas ácidas que constituem os termos mais representativos. Essa sequência magmática é composta por álcali-riolitos a riolitos, incluindo em menores proporções riodacitos, andesitos e dacitos.

De acordo com Lacerda Filho *et al.* (2006), datações U-Pb SHRIMP em zircão realizadas em amostras de riodacito forneceram idade de 1794 Ma, foram observados a existência de zircões herdados com idade de 3028 Ma em amostras de riodacitos e idade modelo (TDM) de 2,26 Ga e valores negativos de  $\epsilon_{Nd}$  de -2.

#### 2.2.1.4. MAGMATISMO MÁFICO CONTINENTAL

De acordo com Lacerda Filho *et al.* (2006), posteriormente à geração do Arco Magmático Amogujá ocorreu um magmatismo toleítico intraplaca continental, representado pela Gabro Morro do Triunfo e Suíte Gabro-anortosítica Serra da Alegria.

O Gabro Morro do Triunfo corresponde a um corpo maciço, topograficamente saliente em relação aos sedimentos circundantes da Formação Pantanal (Lacerda Filho *et al.* 2006). Segundo descrição de Araújo *et al.* (1982), estas rochas são olivina gabros cinza-escuros, granulação média, com textura coronítica. Lacerda Filho *et al.* (2006) descrevem que o contato da intrusão com as rochas do Bloco Rio Apa está em grande parte coberto pelos sedimentos da Formação Pantanal e que, na porção oeste, o contato com as rochas as Vulcânicas Serra da Bocaina dá-se por falha.

A Suíte Gabro-anortosítica Serra da Alegria, descrita originalmente por Silva (1998), corresponde a um corpo cumulático intrudido em rochas do Granito Alumiador, constituído por anortositos, leucogabros, gabros e melagabros.

De acordo com Lacerda Filho *et al.* (2006), datações realizadas em rochas da Suíte Gabro-anortosítica Serra da Alegria e Gabro Morro do Triunfo pelo método U-Pb SHRIMP em zircão apresentaram idades paleoproterozóicas de 1788 Ma e 1790 Ma, respectivamente; dados isotópicos Sm-Nd de cinco amostras de anortositos e gabros mostram valores TDM de 2,51Ga, com valores de  $\epsilon_{Nd}$  (-2,89 a -4,32 em zircão).

#### 2.2.1.5. ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS

Lacerda Filho *et al.* (2006) descreveram diques e *sills* máficos indeformados que cortam a maioria das unidades paleoproterozóicas do Terreno Rio Apa. Predominam gabros e diabásios cinza-escuros a esverdeados, com textura subofítica. A sua presença marca uma fase distensiva regional, associada às reativações de importantes falhas NW-SE, E-W e, subordinadamente, NE-SW.

Medeiros & Sousa (2008) definiram este enxame de diques como Suíte Intrusiva Rio Perdido, marcado pela tentativa de quebra continental durante a fragmentação do supercontinente Rodínia (Orogenia Sunsás de 1,0 a 0,9 Ga).

Datação pelo método K-Ar, realizada em amostra de dique de monzogabro, indica idade de  $914 \pm 9$ Ma (Araújo *et al.* 1982). Segundo Teixeira (1978), esta idade sugere a ocorrência de extensão crustal naquela época, possivelmente relacionada ao evento Gondwana-Rondoniano.

### 2.2.2. Formação Pantanal

A Formação Pantanal é uma das maiores planícies de nível de base interior da Terra estando ainda em processo de entulhamento. Sua deposição está relacionada à subsidência gradativa do embasamento ao longo de falhas sendo desenvolvida em ambiente fluvial e/ou flúvio-lacustre, sob influência da orogenia Andina (Almeida 1959 e Del'Arco *et al.* 1982 *in*: Lacerda Filho *et al.* 2006).

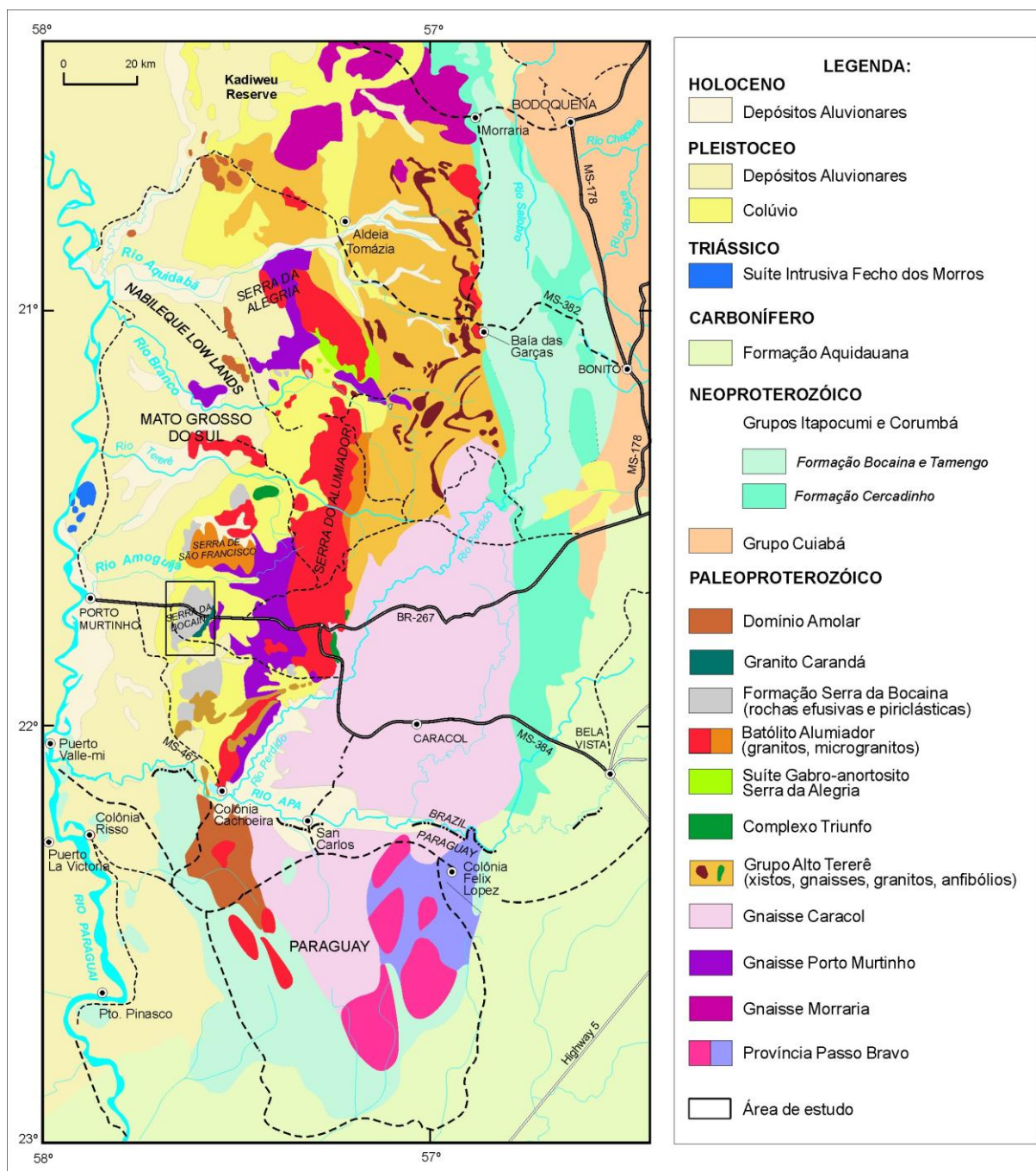
De acordo com Almeida (1964) esta formação compreende sedimentos arenosos e silto-argilosos, com pouco cascalho, depositados em leques aluviais, e por lateritos ferruginosos. Oliveira & Leonardos (1943 *in*: Lacerda Filho *et al.* 2006) descreveram esta formação como constituída por depósitos aluvionares compostos de vasas, areias e argilas de deposição recente do Pantanal Matogrossense.

Lacerda Filho *et al.* (2006) reconheceram nesta formação três fácies. A porção mais antiga denominada Fácies de Depósitos Coluvionares é composta por sedimentos detríticos, coluvio-aluvionares, parcialmente laterizados; a intermediária, correspondendo à Fácies de Terraços Aluvionares, é constituída por sedimentos areno-argilosos, parcialmente inconsolidados e laterizados, de planície aluvial; e a porção de topo designada Fácies de Depósitos Aluvionares abrange sedimentos argilo-siltico-arenosos.

Segundo Figueiredo & Olivatti (1974, Corrêa *et al.* 1976, Luz *et al.* 1980 e Godoi *et al.* 1999 *in*: Lacerda Filho *et al.* 2006) os sedimentos da Formação Pantanal repousam discordantemente sobre as rochas dos grupos Cuiabá e Jacadigo, das formações Diamantino, Corumbá e Coimbra e do Complexo Rio Apa, dominado por sedimentação aluvial, com pequenos lagos marginais,

Segundo Assine (2005), esta sucessão estratigráfica mostra afinamento textural para o topo, com preenchimento essencialmente siliciclástico; enquanto sua espessura sedimentar máxima, inferida a partir de dados sísmicos, é de cerca de 500 m. Esse autor descreveu que o trato deposicional dessa formação é composto por extensa planície fluvial meandrante coletora das águas de vários leques aluviais, dentre os quais destaca-se o megaleque do rio Taquari; e relatou também que a paisagem destes leques, com muitas feições geomorfológicas herdadas de diferentes climas pretéritos, registra a sucessão de eventos transcorridos do Pleistoceno ao Holoceno.

De acordo com Assine (2005), as lagoas marginadas por dunas de areia, originalmente depressões de deflação, são formas reliquias na paisagem do Pantanal, tendo sido geradas provavelmente durante a última glaciação. A neotectônica tem atuado na modelagem do Pantanal, proporcionando mudanças de níveis de base, de gradientes topográficos e condicionado o curso do rio Paraguai na borda oeste da bacia. Estruturas NE associadas ao Lineamento Transbrasileiro indicam atividade tectônica sinsedimentar. A sedimentação atual ocorre principalmente na planície meandrante do rio Paraguai, e no lobo atual do megaleque do rio Taquari, áreas sob forte inundação anual.



**Figura 2.5.** Esboço geológico do Terreno Rio Apa no sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul (Brasil) e nordeste do Paraguai. Adaptado de Lacerda Filho *et al.* (2006) do lado brasileiro e de Wiens (1986), no lado paraguaio (Extraído e modificado de Cordani *et al.* 2010).

### 2.3. HISTÓRICO

De acordo com Lacerda Filho *et al.* (2006), as rochas vulcânicas da região da Serra da Bocaina foram referenciadas inicialmente por Hussak (1894), Lisboa (1909), Oliveira & Leonardos (1943) e Oliveira & Moura (1944), mas descritas, pela primeira vez, por Almeida (1964) que as denominou Quartzo-Pórfiros de Amoguijá.

O conjunto pluto-vulcânico de natureza ácida desta região foi inicialmente subdividido por Corrêa *et al.* (1976) em Complexo Basal e Intrusivas e Extrusivas Ácidas, englobando as rochas graníticas e micrograníticas e as vulcânicas, respectivamente. Nogueira *et al.* (1978) utilizou o termo Intrusivas Ácidas para os três corpos graníticos ao longo da borda da Serra da Bodoquena.

Schobbenhaus *et al.* (1979) denominaram este conjunto de rochas como Complexo Amoguijá e dividiram em duas associações, sendo a superior composta de rochas vulcânicas ácidas, representadas por diversas variedades de quartzo pórfiros e produtos piroclásticos e a inferior compreendendo maciços intrusivos de granitos, granófiros, granitos gráficos, biotita microgranitos porfiríticos, aplitos e gnaisses graníticos.

Correia Filho *et al.* (1981) reuniram quartzo pórfiros, rochas piroclásticas, granitos e granófiros e os designaram Complexo Amoguijá.

Para caracterizar as rochas plutônicas representadas por corpos graníticos, granodioritos e, raramente, subvulcânicos da Serra do Alumiador, Araújo *et al.* (1982) utilizaram a denominação Suíte Intrusiva Alumiador e Suíte Vulcânica Serra da Bocaina para rochas metavulcânicas de baixo grau, ácidas a intermediárias, constituídas por riolitos, riodacitos, dacitos, brechas vulcânicas e tufos.

Em um levantamento de semi-detalle na região da Serra da Alegria, Silva (1998) identificou variações petrográficas em uma das serras que constituem a Suíte Intrusiva Alumiador. O reconhecimento destas variações petrográficas passou a constituir uma série diferenciada ampla, e, portanto petrograficamente distinta das demais partes do batólito.

De acordo com Godoi e Martins (1999) a designação Supersuíte Amoguijá foi utilizada para reunir as rochas vulcânicas pertencentes a Suíte Vulcânica Serra da Bocaina e plutônicas da Suíte Intrusiva Alumiador.

Já Godoi *et al.* (2001) substituíram o termo Supersuíte Amoguijá por Grupo Amoguijá dividindo em Suíte Vulcânica Serra da Bocaina e Suíte Intrusiva Alumiador e as consideraram como contemporâneas. Estes mesmos autores classificam a Suíte Vulcânica Serra da Bocaina como rochas vulcânicas ácidas, incluindo dacitos, riodacitos, riolitos e rochas vulcanoclásticas, tais como: tufos, lapilitufos, brechas vulcânicas.

Lacerda Filho *et al.* (2006) utilizaram o termo Suíte Amoguijá e o subdividiram em Granito Alumiador que engloba biotita granitos, monzogranitos com autólitos de tonalito, micromonzogranitos, granodioritos, magnetita-biotita sienogranitos, sienogranitos granofíricos e granófiros; e Vulcânicas Serra da Bocaina constituída de riolitos porfiríticos e microporfiríticos, riodacitos e dacitos, com intercalações de rochas piroclásticas e brechas vulcânicas, considerando as relações de cogeneticidade destas rochas.

Silva *et al.* (2007) adotaram o termo Suíte Amoguijá constituída pelas rochas plutônicas, da Unidade Alumiador e as rochas vulcânicas, da Unidade Serra da Bocaina.

As rochas vulcanoclásticas ácidas pertencentes à Suíte Vulcânica Serra da Bocaina do Grupo Amoguijá, de acordo com Manzano *et al.* (2008), são compostas por riolitos e pela presença de variados produtos piroclásticos, além de outras rochas vulcânicas como riodacitos e dacitos.

Cordani *et al.* (2010) definiram como Suíte Intrusiva Alumiador as rochas graníticas e micrograníticas de composição sieno a monzograníticas e Grupo Serra da Bocaina os riolitos, dacitos, rochas piroclásticas e as brechas vulcânicas.

O Grupo Amoguijá, de acordo com Godoy *et al.* (2010), constitui um conjunto plutono-vulcânico de natureza predominantemente ácida caracterizado pelas suítes Plutônica Alumiador e Vulcânica Serra da Bocaina. Segundo esses autores, a Suíte Intrusiva Alumiador está posicionada estratigraficamente acima das unidades do Complexo Rio Apa e do Grupo Alto Tererê, constituindo um evento magmático de mesma composição, mas que antecede as rochas vulcânicas da Suíte Vulcânica Serra da Bocaina.

Brittes & Plens (2010), Brittes *et al.* (2010, 2011a, b e c), seguindo os parâmetros estabelecidos pelo Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.* 1986), designaram as rochas efusivas e piroclásticas expostas na Serra da Bocaina como Formação Serra da Bocaina, mantendo o termo Suíte Intrusiva Alumiador, proposto por Araújo *et al.* (1982), para denominar as rochas graníticas que sustentam a Serra do Alumiador e da Alegria.

## CAPÍTULO 3

### GEOLOGIA LOCAL

#### 3.1. GEOLOGIA DA REGIÃO DA SERRA DA BOCAINA

Com base nos aspectos de campo e petrográficos, foi possível estabelecer e diferenciar quatro unidades geológicas na região, sendo: o Granito Carandá, a Formação Serra da Bocaina, Formação Pantanal e os Aluviões Recentes. As rochas da Formação Serra da Bocaina fazem contato a leste com o Granito Carandá, e a norte, sul e oeste com os sedimentos inconsolidados da Formação Pantanal (Fig. 3.6).

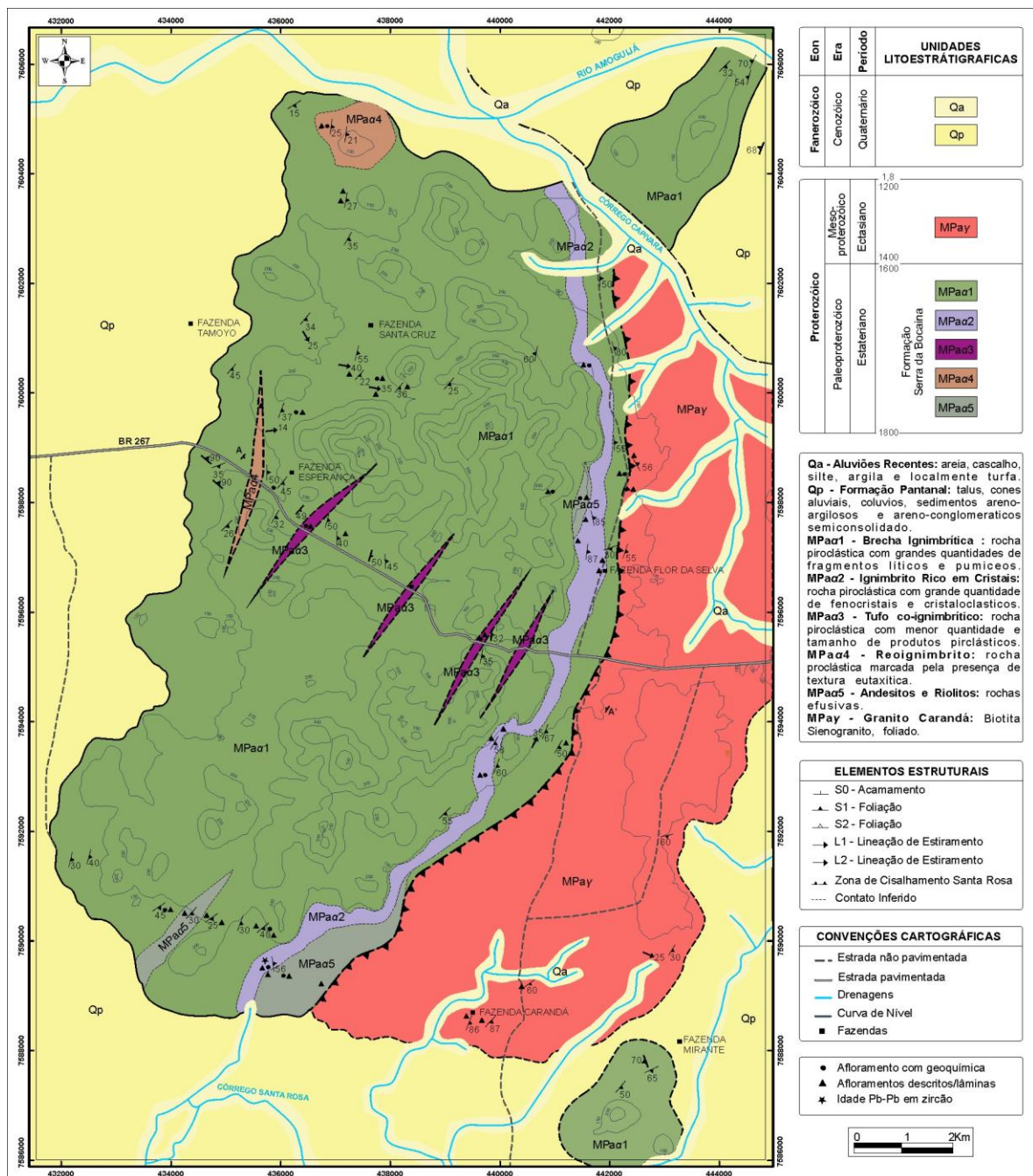
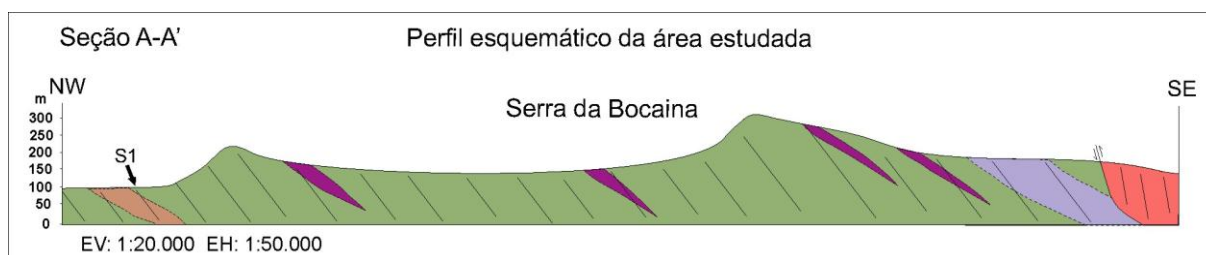


Figura 3.6. Mapa geológico da Formação Serra da Bocaina na serra homônima.



**Figura 3.7.** Perfil esquemático da Serra da Bocaina.

### 3.1.1. Granito Carandá

Na área mapeada, a Suíte Intrusiva Alumiador esta representada pelo Granito Carandá que ocupa as porções nordeste e sudeste, ocorrendo geralmente em forma de pequenos blocos *in situ* e lajedos, além de blocos rolados (Fig. 3.8A e B). Os afloramentos estão, na maior parte, recobertos por sedimentos inconsolidados da Formação Pantanal e Aluviões Recentes que bordejam o Rio Amoguijá e os córregos Santa Rosa e Capivara.

O Granito Carandá faz contato tectônico com as rochas efusivas ( fácies 5) e piroclásticas (fácies 1) da Formação Serra da Bocaina e é composto por rochas leucocráticas, de cor cinza-esverdeado (Fig. 3.8C), tendo biotita como único máfico essencial primário, sendo classificado como Biotita Sienogranito. Apresenta-se, em geral, isotrópico, mas pode ser encontrado foliado, próximo ao contato com as rochas efusivas (fácies 5) da Formação Serra da Bocaina (Fig. 3.8D). Exibe textura principalmente inequigranular média constituída por microclina, plagioclásio, quartzo e concentrações de máficos identificados como biotita, clorita, epidoto e opacos, com trama orientada que se intensifica nas proximidades do contato com as efusivas. As amostras encontram-se intensamente alteradas devido à atuação de fase hidrotermal responsável pela cloritização, argilização/sericitização e saussuritização formando comumente uma capa de coloração verde-amarelada composta principalmente por epidoto e clorita. Além de alteração, a paragênese de baixa temperatura identificada clorita + epidoto + albita caracteriza metamorfismo de fácies xisto-verde.





**Figura 3.8.** Fotografias do Granito Carandá ilustrando: (A) e (B) formas de afloramento em lajedos; (C) aspecto macroscópico; (D) porção foliada próxima ao contato com as rochas efusivas (fácies 5) da Formação Serra da Bocaina.

### 3.1.2. Formação Serra da Bocaina

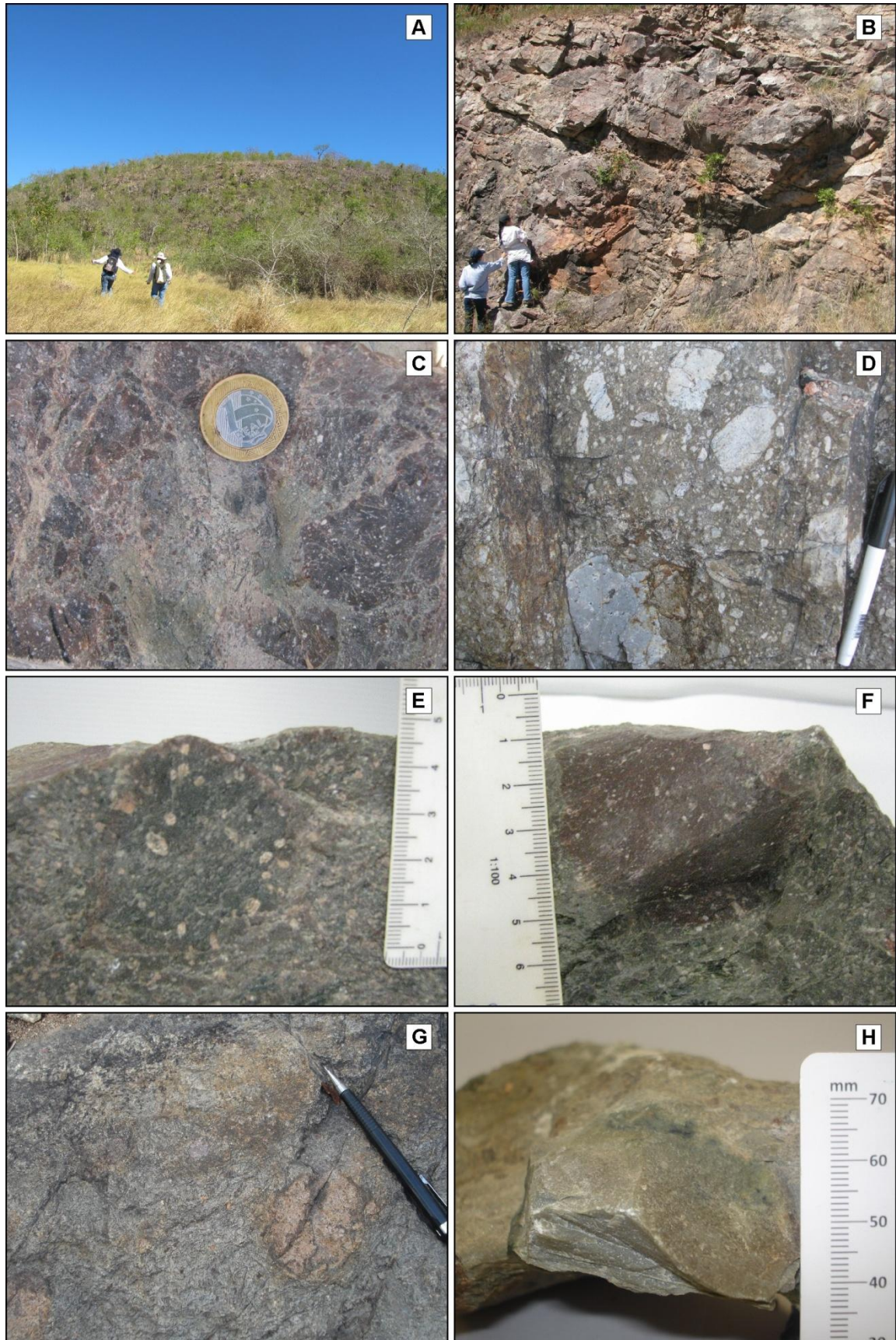
O mapeamento geológico e a análise petrográfica realizados permitiram a identificação de cinco fácies petrográficas na área estudada (Fig. 3.6), sendo quatro piroclásticas: Brecha Ignimbrítica (fácies 1), Ignimbrito Rico em Cristais (fácies 2), Tufo Co-ignimbrítico (fácies 3) e Reoignimbrito (fácies 4) e uma efusiva identificada como lavas andesíticas e riolíticas (fácies 5).

#### 3.1.2.1. BRECHA IGNIMBRÍTICA

A Fácies Brecha Ignimbrítica (fácies 1) da Formação Serra da Bocaina domina a parte mais elevada e central da Serra da Bocaina (Fig. 3.9A e B), englobando lentes/camadas (Fig. 3.7) e fragmentos de Tufo Co-ignimbrítico (fácies 3). Esta fácies mantém contato tectônico com o Granito Carandá, em zona de cisalhamento dúctil, e as duas unidades encontram-se parcialmente recobertas, em discordância, pelos sedimentos da Formação Pantanal. Os contatos com as outras fácies da Formação Serra da Bocaina são abruptos e recobertos pelos sedimentos quaternários.

As rochas desta fácies apresentam cores avermelhadas (Fig. 3.9C), acinzentadas (Fig. 3.9D), esverdeadas (Fig. 3.9F) e arroxeadas e são caracterizadas pela grande quantidade de fragmentos líticos

de tamanhos, formas e composições variadas. Os fragmentos apresentam-se elipsoidais, arredondados (Fig. 3.9E e G) e angulosos (Fig. 3.9H), com contatos abruptos a irregulares, tamanhos que variam de 0,3 a 15,0 cm, alguns constituídos de fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino e, às vezes amígdalas preenchidas. São identificados fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino imersos em matriz de tamanho cinza fina a grossa. Os cristaloclastos essenciais identificados nesta fácies são de mesma composição dos fenocristais.

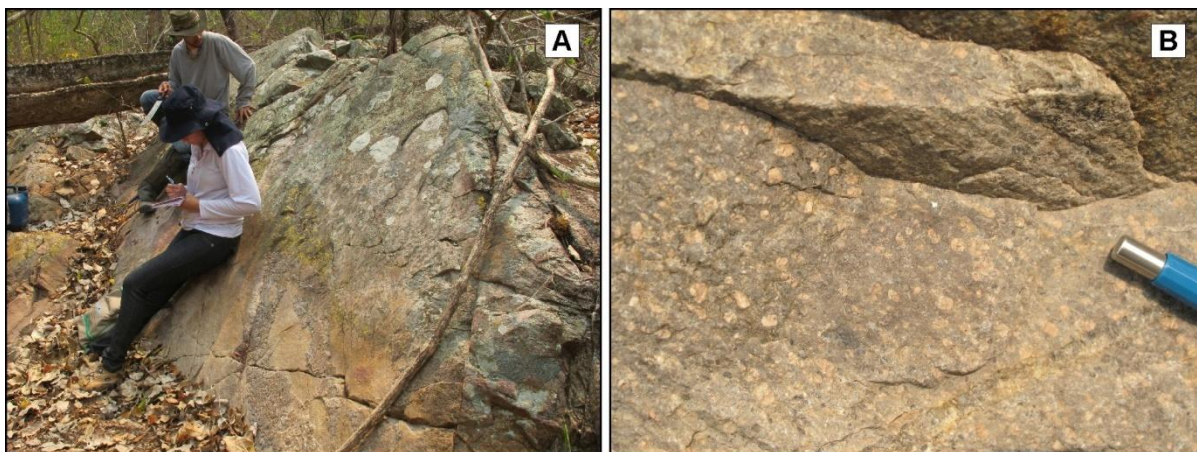


**Figura 3.9.** Fotografias da Fácies Brecha Ignimbrítica da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) parte elevada na porção nordeste da área mapeada onde afloram as rochas desta fácies; (B) forma de ocorrência em corte de estrada na BR-267; (C) rocha de cor cinza-arroxeadado, constituída de fragmentos líticos avermelhados;

(D) rocha de cor acinzentada com fragmento lítico cinza-esbranquiçado; (E) fragmento lítico cinza-escuro de textura porfírica; (F) rocha de cor esverdeada com acessório lítico avermelhado; (G) rocha de cor acinzentada com fragmento lítico de forma arredondada; (H) rocha de cor esverdeada com acessório lítico anguloso.

### 3.1.2.2. IGNIMBRITO RICO EM CRISTAIS

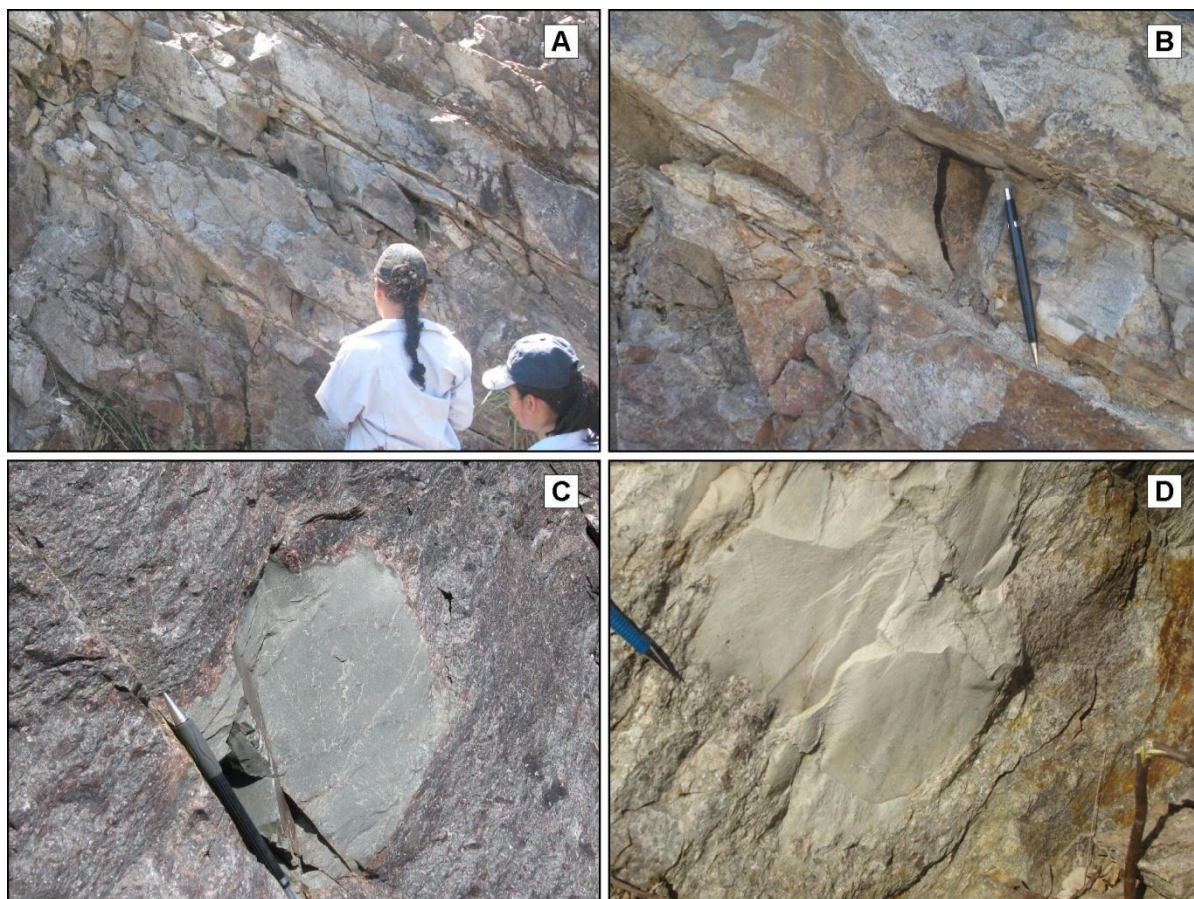
Os Ignimbritos Ricos em Cristais (fácies 2) ocupam a porção nordeste e sudeste da área estudada, com aproximadamente 15 km de comprimento por 1 km de largura, aflorando em forma de blocos *in situ* e lajedos (Fig. 10A) e mantendo contato abrupto a leste e oeste com as rochas da fácies 1 e a sul com as rochas efusivas (fácies 5). Apresentam cor cinza-escuro, fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino imersos em matriz cinerítica fina (Fig. 3.10B). Os cristaloclastos, quando identificáveis a olho nu, são de quartzo e plagioclásio, com dimensões sempre inferiores a 1,0 mm, enquanto os púmices e *flâmmes* são dificilmente perceptíveis em amostras macroscópicas.



**Figura 3.10.** Fotografias do Ignimbrito Rico em Cristais da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) forma de ocorrência em lajedo encontrado em drenagem; (B) aspecto macroscópico com fenocristais e cristaloclastos de quartzo e plagioclásio.

### 3.1.2.3. TUFO CO-IGNIMBRÍTICO

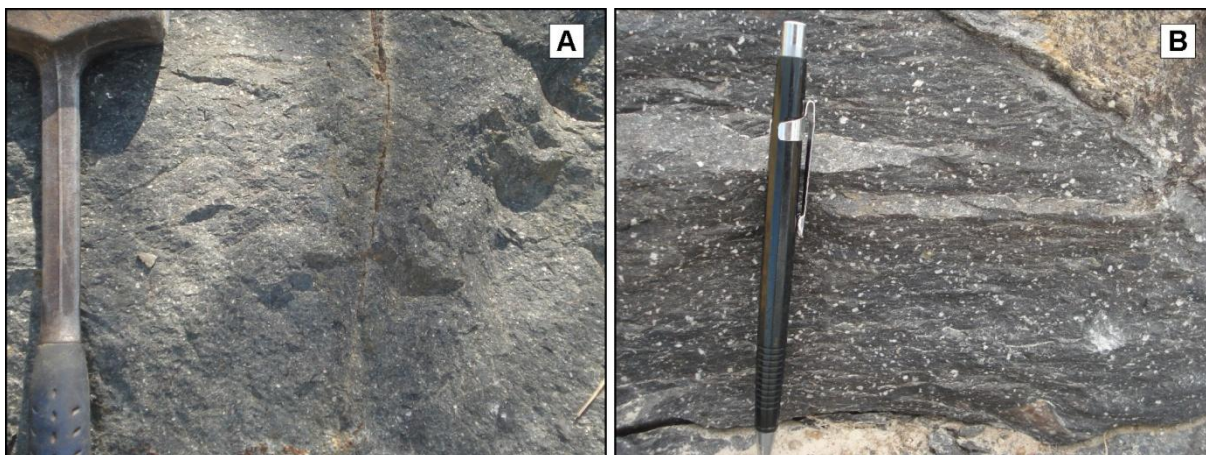
O Tufo Co-ignimbrítico (fácies 3) ocorre em forma de lentes/camadas (Fig. 3.11A e B) na porção central da Serra da Bocaina e constituem fragmentos da fácies 1, exibindo contatos abruptos com a mesma. As lentes/camadas afloram em cortes de estradas com espessuras variando entre 2,5 cm e 1 m configurando uma estrutura homoclinal com mergulhos para SE, enquanto os fragmentos apresentam-se com formas variadas e dimensões entre 0,5 e 25 cm. As rochas dessa fácies apresentam cores esverdeadas (Fig. 3.11C) a esbranquiçadas quando alteradas (Fig. 3.11D), e diferenciam-se das outras fácies pela menor quantidade e tamanho dos fenocristais/cristaloclastos e produtos piroclásticos ( $\ll 0,1$  mm) que não são identificados à vista desarmada, bem como pela mesóstase mais homogênea e ainda mais fina.



**Figura 3.11.** Fotografias da Fácies Tufo Co-ignimbrítico da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) e (B) camadas/lentes em corte de estrada na BR-267; (C) e (D) fragmento englobado por rochas da fácies 1.

#### 3.1.2.4. REOIGNIMBRITO

Os Reoignimbritos (fácies 4) ocorrem em duas porções distintas da Serra da Bocaina, uma a norte e outra a oeste e afloram em pequenos lajedos. Estas rochas apresentam cor cinza-escuro tendo paragênese formada essencialmente por quartzo e plagioclásio e, subordinadamente, feldspato alcalino (Figs. 3.12A e B). Os litoclastos têm composição semelhante aos da fácies 1 com proporções e dimensões inferiores (entre 0,3 e 2,0 mm). Os cristaloclastos observados são de mesma composição dos fenocristais, com dimensões de aproximadamente 1,0 mm. Os produtos piroclásticos, tais como, púmices e *fiammes*, como nas outras fácies, são de difícil identificação em amostras macroscópicas.



**Figura 3.12.** Fotografias da Fácies Reoignimbrito da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) aspecto macroscópico; (B) detalhe de rocha de cor cinza-escuro com fenocristais e cristaloclastos orientados segundo a foliação  $S_1$ .

#### 3.1.2.5. ROCHAS EFUSIVAS

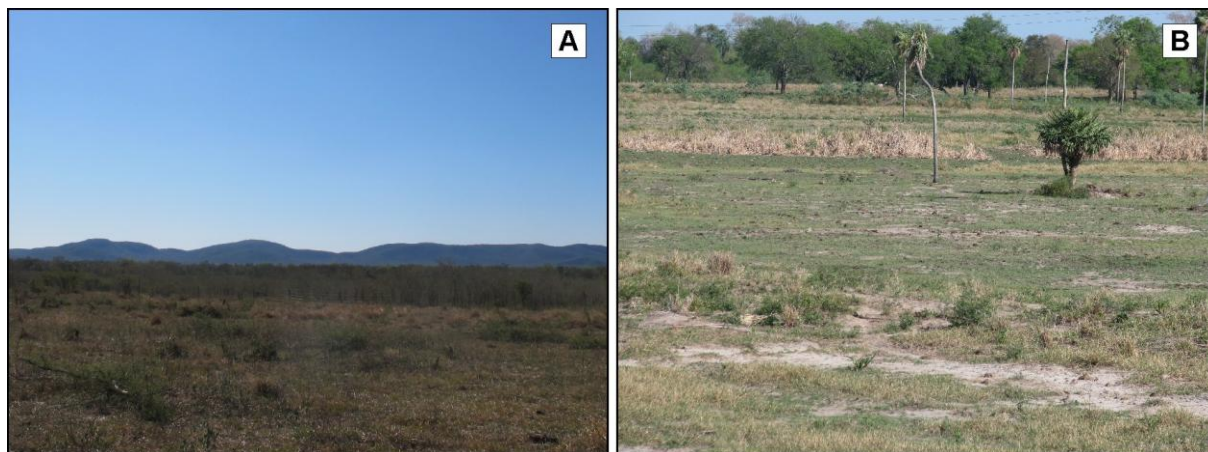
A fácies 5, correspondente a lavas andesíticas e riolíticas, aflora em duas porções distintas da área estudada, definindo um relevo arrasado na Serra da Bocaina. Observa-se uma porção menor disposta na parte central da serra e outra situada ao sul, apresentando-se parcialmente recoberta pelos sedimentos inconsolidados da Formação Pantanal. Caracteriza-se pela textura porfírica a glomeroporfírica com matriz de tamanho cinza fina a cinza grossa e pela cor vermelho-alaranjado ou cinza-esverdeado quando em amostras alteradas hidrotermalmente, ricas em epidoto (Figs. 3.13A e B). Destacam-se cristais bem formados de dimensões sub-milimétricas de plagioclásio, por vezes, substituído por epidoto, bem como de quartzo, anfibólio e, mais raramente, feldspato alcalino. Todas as amostras coletadas na porção sul da área evidenciam atuação de processos hidrotermais pervasivos, tais como, epidotização, cloritização e saussuritização.



**Figura 3.13.** Fotografias da fácies efusiva da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) rocha de cor vermelho-alaranjado com matriz de tamanho cinza-fina; (H) rocha de cor cinza-esverdeado, alterada hidrotermalmente.

### 3.1.3. Formação Pantanal

Recobrimo as rochas da região da Serra da Bocaina encontram-se os sedimentos quaternários da Bacia do Pantanal, representados pela Formação Pantanal que define praticamente toda a porção de relevo baixo da área mapeada (Figs. 3.14A e B). Esta formação é constituída por sedimentos arenosos e siltico-argilosos, com pouco cascalho, variando de consolidados a semi-consolidados.



**Figura 3.14.** Fotografias ilustrando: (A) e (B) aspectos da Formação Pantanal na região da Serra da Bocaina.

### 3.1.4. Aluviões Recentes

As ocorrências aluvionares mapeadas localizam-se nas bordas norte, sul e nordeste da área e correspondem à unidade estratigráfica mais jovem da área de estudo. São formadas por sedimentos fluviais acumulados nas calhas e margens dos rios que compõem o sistema de drenagem, sendo o rio Amoguijá, córregos Santa Rosa e Capivara. Os depósitos são granulometricamente variáveis, constituídos por cascalhos, areias, siltes e argilas, ocorrendo por vezes termos mais grossos.

## 3.2. ASPECTOS PETROGRÁFICOS

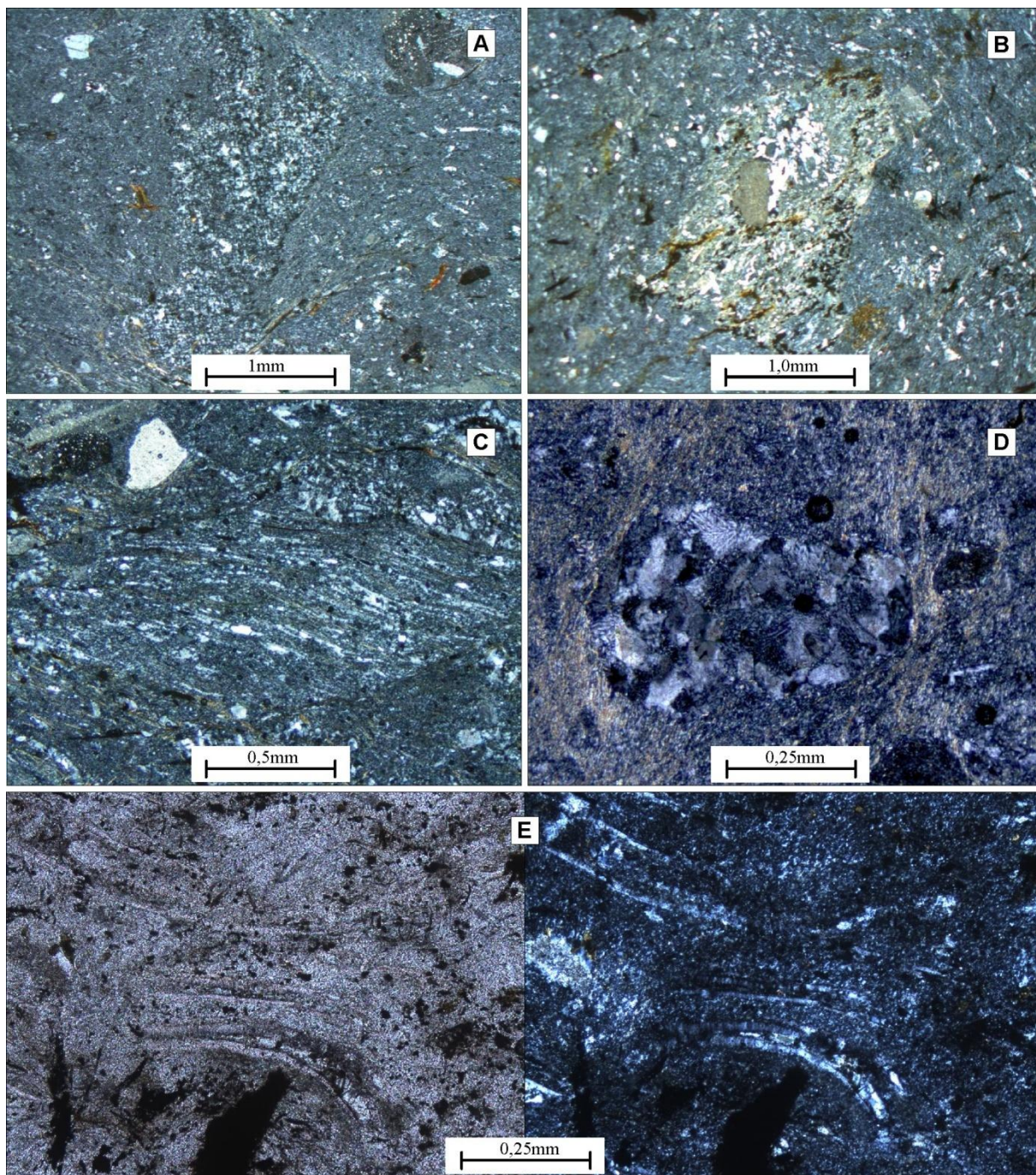
Microscopicamente, as rochas da Fácies Brecha Ignimbrítica (fácies 1) da Formação Serra da Bocaina são caracterizadas pela grande quantidade de fragmentos líticos e pumíceos, cristaloclastos, púmices, *fiammes*, *shards* e cristalitos de variadas dimensões e composições, que se encontram imersos em uma matriz cinerítica fina, de natureza felsítica, com diversos graus de alteração. Foram identificados também fenocristais de plagioclásio, quartzo e, subordinadamente, feldspato alcalino, tendo como principal máfico a biotita de alta temperatura. As fases de alteração estão representadas por sericita, epidoto/clinozoizita, calcita, argilominerais e clorita; enquanto as acessórias por allanita, zircão, apatita e opacos. A biotita é caracterizada por hábito acicular/fibroso a fibrorradiado, ou por pequenas palhetas disseminadas pela matriz (Fig. 3.15F) ou plaquetas formando agregados juntamente com clorita e vidro. A allanita apresenta-se euédrica, isotrópica, metamíctica, sendo parcialmente substituída por epidoto. Observam-se também produtos de devitrificação tanto na mesóstase quanto nos litoclastos e púmices, bem como venulações/fraturas preenchidas por sílica.

Os fragmentos líticos apresentam-se de formas arredondadas ou angulosas a alongadas, com contornos variados, dimensões milimétricas a centimétricas, maiores do que os púmices e são geralmente compostos por uma mesóstase felsítica, fenocristais, biotita, opacos, vidro e produtos de devitrificação, como esferulito, axiolito, cristalitos e feldspatos gráficos. Podem representar termos cognatos de composição similar à da rocha caracterizando porções do mesmo magma o que permite a utilização do termo acessório lítico (Fig. 3.15A), bem como, não ter semelhança com a rocha, hospedeira correspondendo aos fragmentos líticos acidentais (Fig. 3.15B). Os fenocristais são euédricos, subédricos a anédricos com dimensões entre 0,2 e 2,5 mm apresentando graus diferentes de alteração, fraturamento, embaiamento e golfos de corrosão preenchidos pela matriz ou por vidro. Em algumas amostras, os fenocristais exibem-se totalmente fragmentados como consequência do processo extrusivo, bem como, de resfriamento e hidratação. O plagioclásio exibe geminações polissintéticas (albita e periclina) e complexa do tipo baveno, às vezes, de forma apenas reliquiar devido aos intensos processos de alteração hidrotermal, tais como, sericitização, saussuritização e argilização; pode ocorrer límpido ou apenas como pseudomorfos preenchidos por epidoto, sericita, calcita, argilominerais, clorita e biotita. O quartzo é comum nesta fácies e apresenta-se embaiado evidenciando intensa corrosão magmática. Os feldspatos alcalinos mostram-se com geminações Carlsbad ou em grade caracterizando, respectivamente, ortoclásio e microclina, muitas vezes com intercrescimento gráfico a granofírico.

Os cristaloclastos essenciais, identificados nesta fácies, apresentam-se angulosos a arredondados e consistem de plagioclásio, feldspatos alcalinos e quartzo comumente embaiados.

Os púmices têm contorno bem definido, formas arredondadas, elipsoidais (Fig. 3.15C), achatados (Fig. 3.15D) ou alongados, podendo ser identificados em seu interior *shards*, cristalitos, canalículas e fragmentos fibrosos; mostram-se, em geral, recristalizados por arranjos de feldspatos e quartzo, às vezes, gráfico ou granofírico; púmices-tubo (Fig. 3.15E) são comumente identificados.



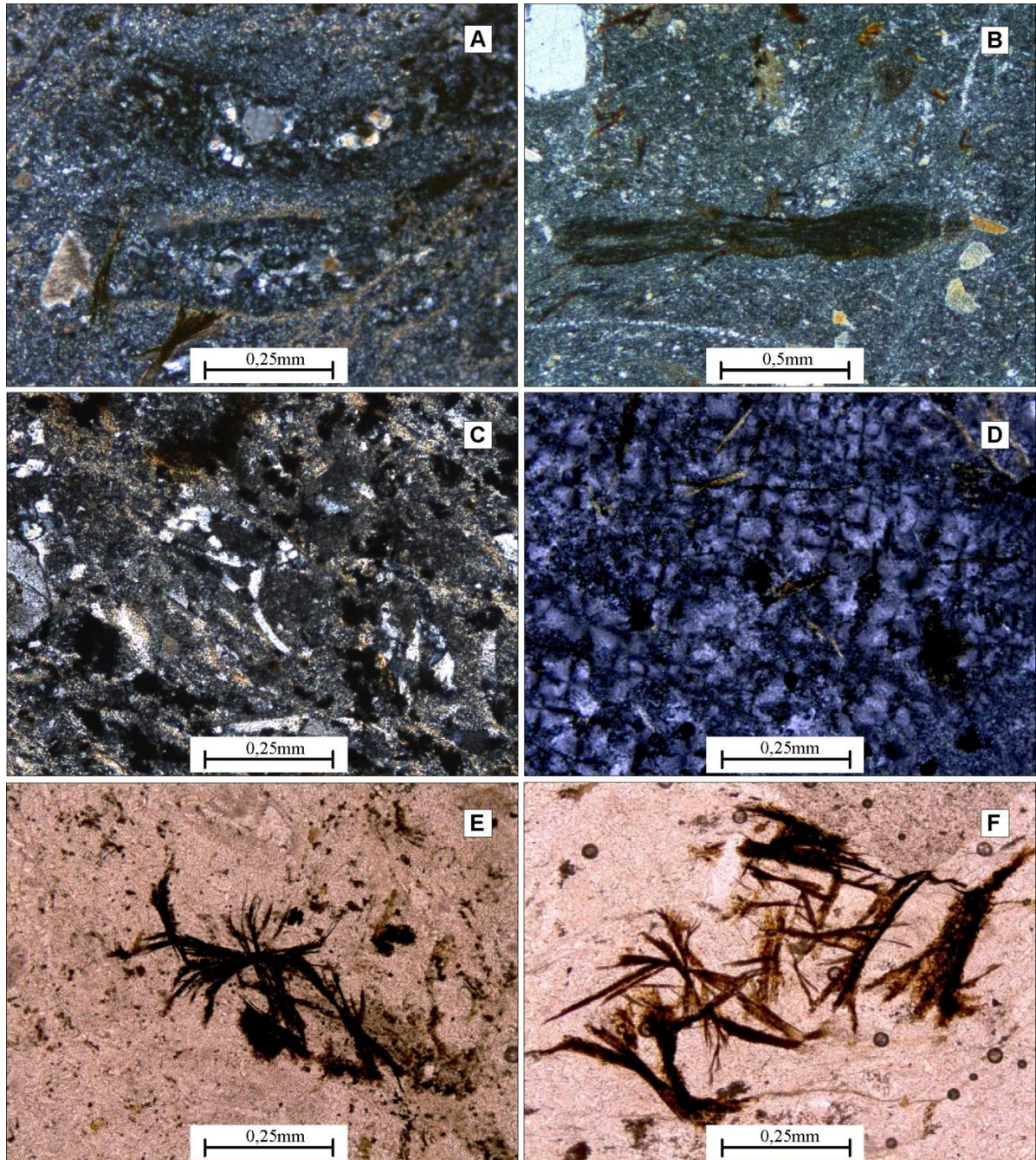


**Figura 3.15.** Fotomicrografias das rochas da Fácies Brecha Ignimbrítica da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) fragmento lítico acessório rico em esferulitos esféricos em matriz cinerítica fina com biotita de alta temperatura e cristaloclastos; (B) fragmento lítico acidental imerso em matriz cinerítica fina com *shards*; (C) púmice elipsoidal e cristaloclasto de quartzo; (D) púmice perpendicular à foliação dada pela disposição paralela de sericita; (E) púmices em tubo em mesóstase vítrea a cinerítica. Polarizadores cruzados em A, B, C, D; e paralelos à esquerda e cruzados à direita em E.

Os *fiammes*, que correspondem aos púmices colapsados, são frequentemente estirados e orientados (Fig. 3.16A e B), sendo identificados por cores mais escuras e um grau de achatamento maior devido às modificações que acompanham o processo de soldagem. As *shards* ocorrem, em geral, na matriz e nos fragmentos, com formas típicas em “X”, “Y” (Fig. 3.16C) e em *plates*. Observa-

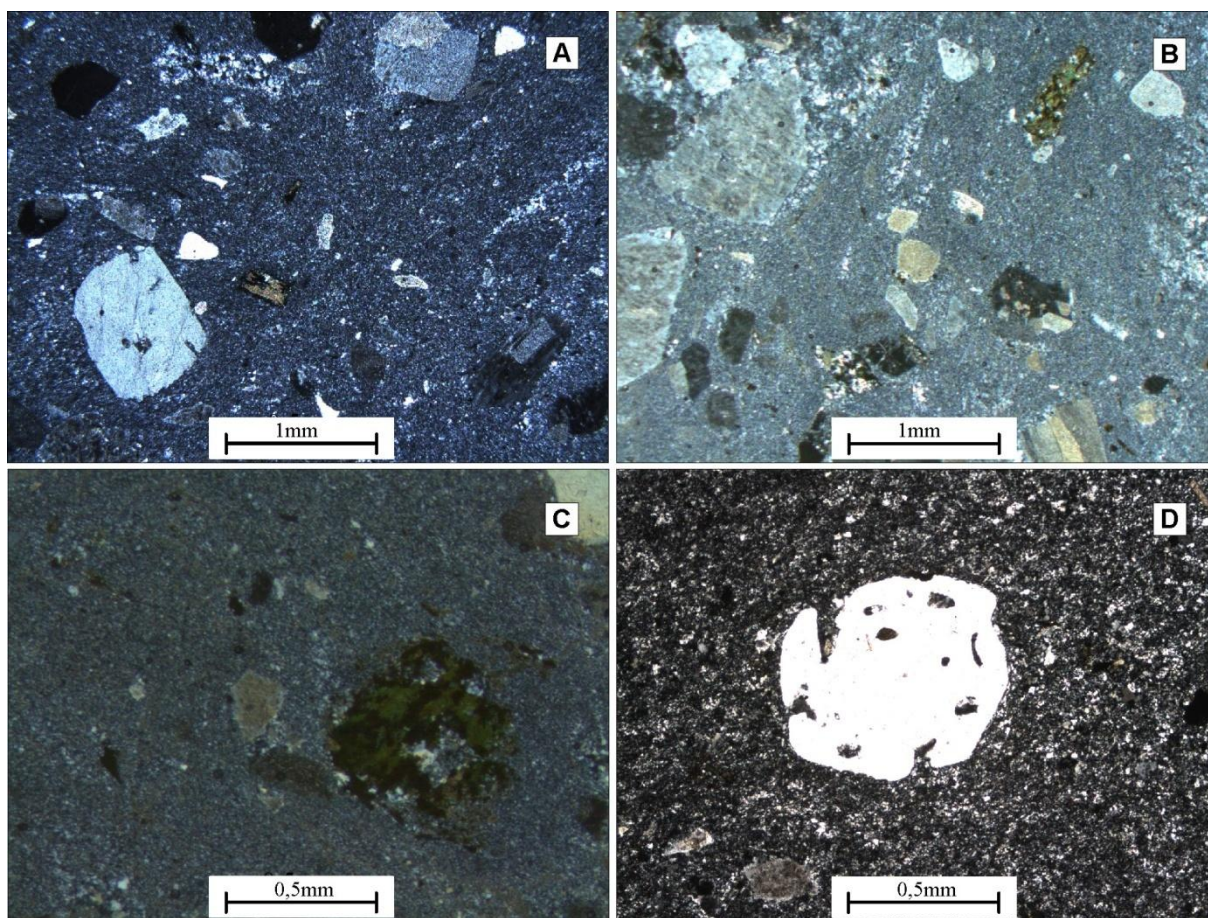
se vidro reliquiar marrom-escuro a preto em arranjo fibrorradiado disperso pela matriz (Fig. 3.16E) e nos litoclastos.

Os produtos de devitrificação envolvem crescimento de micrólitos fibrosos e estão representados por esferulitos do tipo axiolito compostos de cristais fibrorradiados desenvolvidos a partir de uma linha, estrutura *fan*, gravata borboleta e esféricos, bem como, *lithophiysae* (Fig. 3.16D).



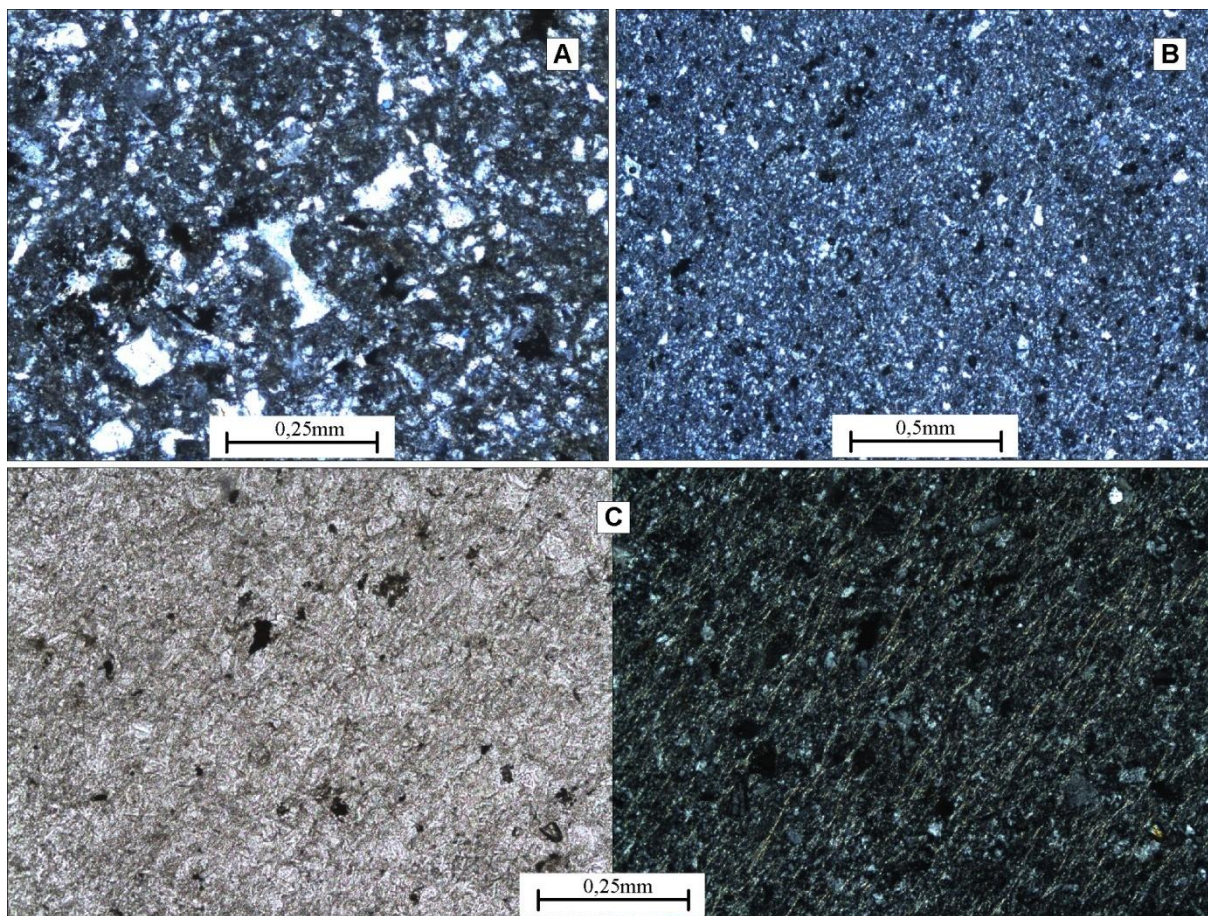
**Figura 3.16.** Fotomicrografias das rochas da Fácies Brecha Ignimbrítica da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) púmices encurvado e sigmodal, cristaloclasto e biotita fibrorradiada em mesóstase cinerítica; (B) *fiamme* colapsado, biotita de alta temperatura e cristaloclastos em matriz cinerítica; (C) *shards* tipo “Y” e vidro; (D) esferulitos esféricos e biotita; (E) vidro acicular marrom-escuro a preto; (F) biotita de alta temperatura de hábito acicular a fibrorradiado e vidro. Polarizadores cruzados em A, B, C e D e paralelos em E e F.

As rochas da fácies 2 (Ignimbritos Ricos em Cristais) diferenciam-se, opticamente, pela grande proporção de fenocristais e cristaloclastos que atingem até 50% de sua composição (Fig. 3.17A e B), apresentando menor percentual dos demais produtos piroclásticos já descritos, bem como, grande quantidade de clorita (Fig. 3.17C) e carbonato e ausência de biotita de alta temperatura. Seus fenocristais e cristaloclastos (Fig. 3.17D) são de mesma composição dos encontrados nas outras fácies ignimbríticas, porém com dimensões maiores, variando entre 0,5 e 4,0 mm e 0,2 e 0,5 mm, respectivamente.



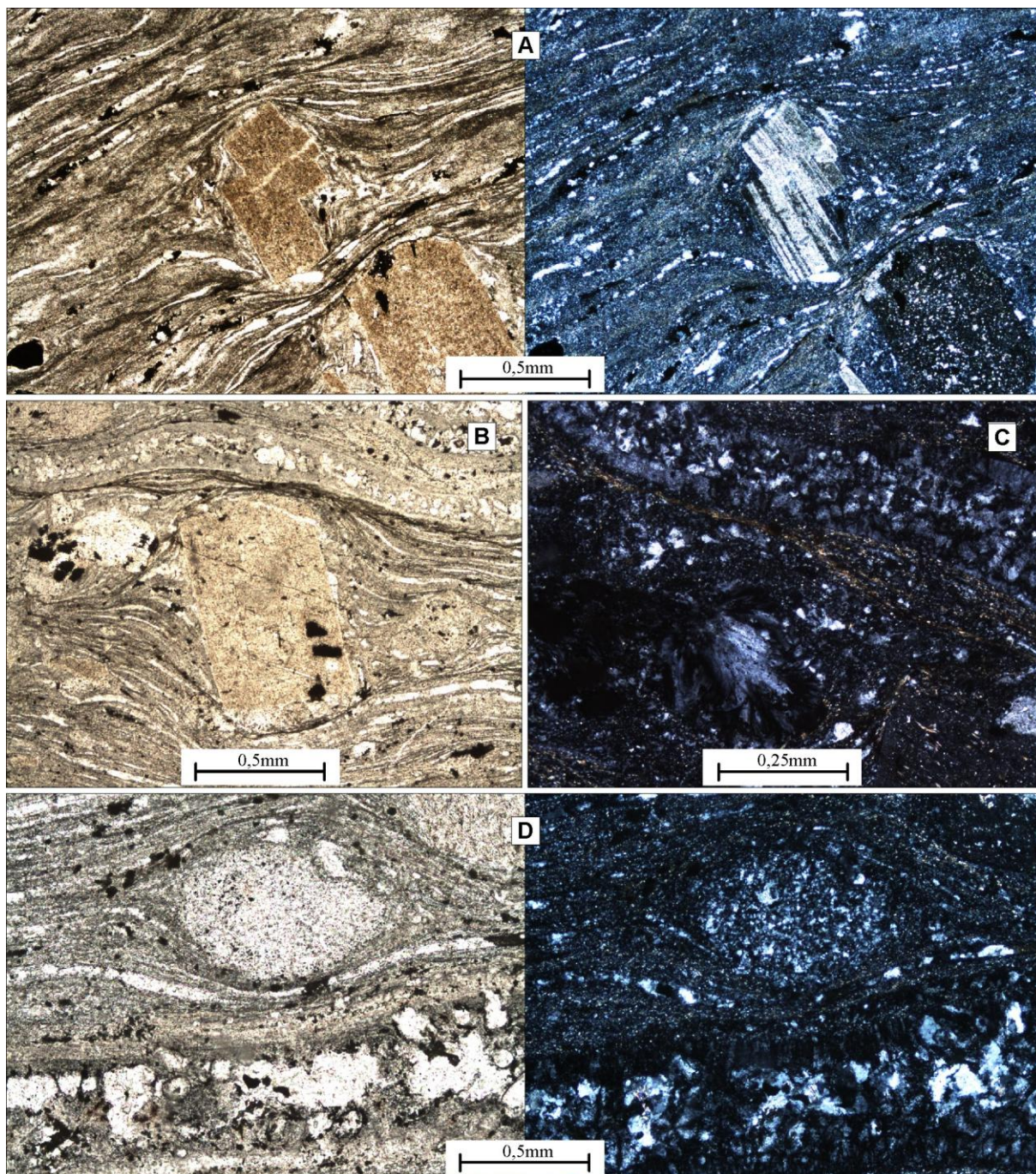
**Figura 3.17.** Fotomicrografias das rochas da Fácies Ignimbrito Rico em Cristais da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) fenocristais, cristaloclastos e púmice imersos em matriz cinerítica fina; (B) litoclasto essencial, púmice, *fiamme*, fenocristais e cristaloclastos de quartzo e feldspatos; (C) clorita verde secundária e cristaloclastos; (D) fenocristal de quartzo com bordas e golfos de corrosão em litotipo de matriz de granulação maior. Polarizadores cruzados em A, B, C e D.

A fácies 3 (Tufo Co-ignimbrítico) caracteriza-se por partículas elutriadas do fluxo ignimbrítico e diferencia-se das outras fácies pela menor quantidade e tamanho dos fenocristais/cristaloclastos e produtos piroclásticos ( $\ll 0,1$  mm; Fig. 3.18A), mesóstase mais homogênea e ainda mais fina (Fig. 3.18B), ausência de biotita de alta temperatura, bem como, por apresentar foliação dada pelo arranjo paralelo de sericita (Fig. 3.18C).



**Figura 3.18.** Fotomicrografias das rochas da Fácies Tufo Co-ignimbrítico da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) cristaloclastos e *shards* em matriz felsítica; (B) matriz felsítica muito fina; (C) foliação dada pela disposição paralela de sericita e cristaloclastos. Polarizadores cruzados em A e B, paralelos à direita e cruzados a esquerda em C.

As rochas da fácies 4 (Reoignimbrito) são caracterizadas por feições de fluxo pós-compactação de um ignimbrito soldado que permaneceu quente por tempo suficiente para deformá-lo ductilmente. A diferença marcante entre esta fácies e as demais é a presença de textura eutaxítica (Fig. 3.19A, B e C), púmices de formas elipsoidais (Fig. 3.19D) e sigmoidais e grande quantidade de produtos de devitrificação. Os litoclastos e púmices têm composição semelhante à encontrada na fácies 1 com proporções e dimensões inferiores (entre 0,3 e 2,0 mm). Observa-se ainda nestas rochas deformação de caráter rúptil/dúctil, como microvenulações de aproximadamente 0,2 mm perpendiculares à foliação, rompidas e deslocadas, ora dobradas, preenchidas por epidoto e, às vezes, sílica.



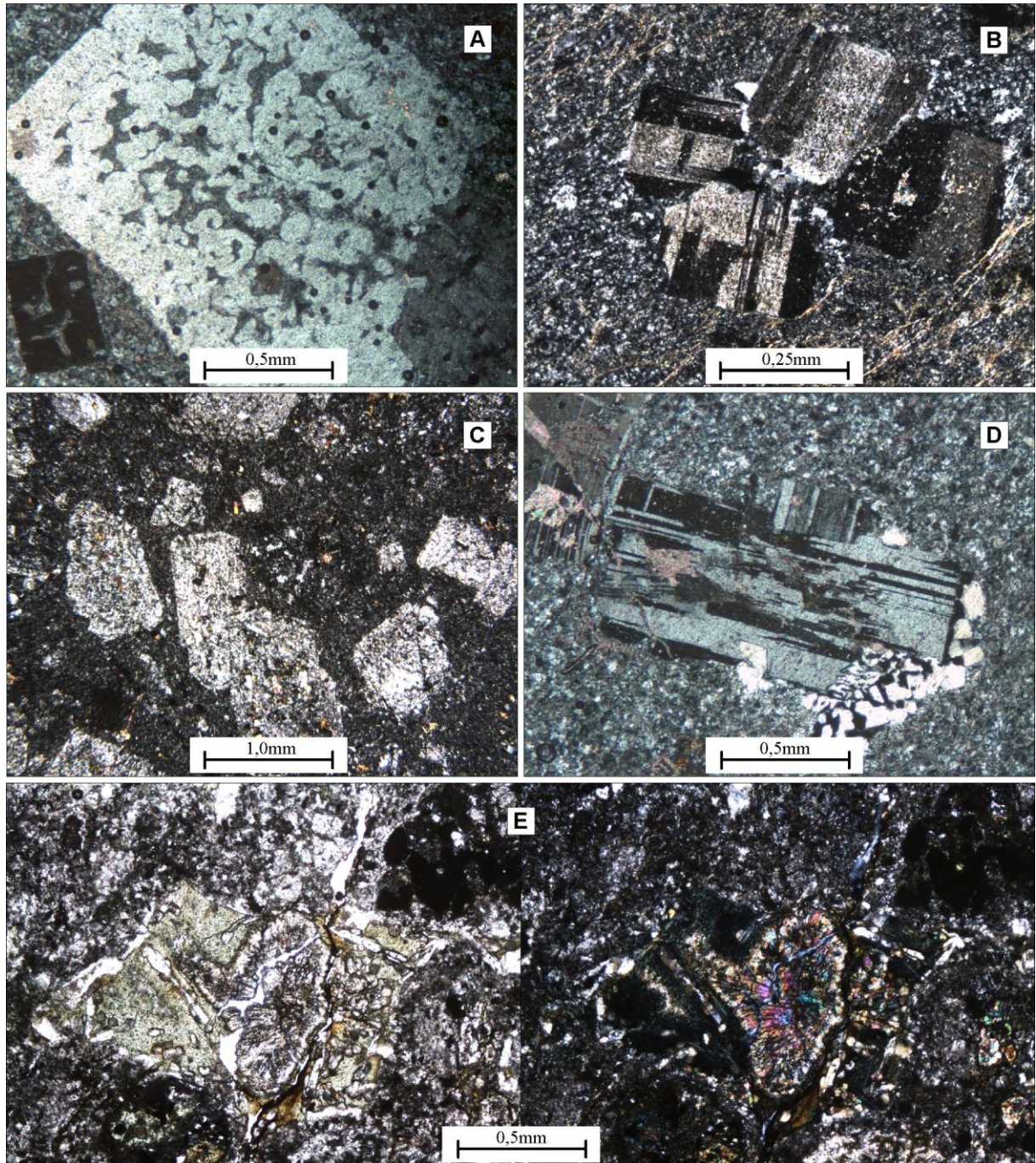
**Figura 3.19.** Fotomicrografias das rochas da Fácies Reoignimbrito da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) textura eutaxítica contornando cristal subédrico de plagioclásio turvo; (B) fenocristal de plagioclásio envolto por textura eutaxítica e *fiammes*; (C) lentes de axiolito e esferulito tipo *fan* em matriz cinerítica; (D) púmice elipsoidal circundada por textura eutaxítica e lentes de axiolito. Polarizadores paralelos à esquerda e cruzados à direita.

A fácies 5 corresponde às lavas que se caracterizam por textura porfírica a glomeroporfírica e composições andesíticas e riolíticas. Os fenocristais encontrados nos riolitos são de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, em geral, euédricos a subédricos, com evidências de intensa corrosão magmática, tais como, embaiamentos e golfos, imersos em uma matriz muito fina a fina de mesma composição tendo apatita, zircão e opacos como acessórios e sericita, epidoto/clinozoizita, clorita,

argilo-minerais como fases de alteração. Nos andesitos ocorrem fenocristais de anfibólio e, principalmente, de plagioclásio alterado a pseudomorfizado numa matriz muito fina com cloritização e sericitização pervasivas e pequena quantidade de minerais primários preservados, tais como, anfibólio e biotita; por vezes observa-se nesses últimos litotipos enclave microgranular acidental de composição mais ácida. O plagioclásio, nos riolitos, tem composição albítica e ocorre na matriz em minúsculos grãos ou cristalitos ou como fenocristais isolados e por vezes formando glômeros (Fig. 3.20B, C e D); são subédricos de hábito tabular, zonados, às vezes mirmequíticos, exibindo geminações albita e/ou periclina; localmente apresenta-se com grande quantidade de golfos de corrosão caracterizando textura em *sieve* (Fig. 3.20A). Nos andesitos, o plagioclásio encontra-se na matriz em ripas finas, por vezes descrevendo uma discreta textura de fluxo, intensamente sericitizadas bem como em fenocristais de composição coincidente com andesina, em geral geminados e zonados com maior grau de alteração no núcleo; comumente ocorre parcial a totalmente pseudomorfizado (Fig. 3.20E) por uma associação de epidoto microgranular a fibrorradiado, clorita, sericita e calcita. O quartzo, nos riolitos, tanto se apresenta na matriz como em fenocristais embaiados, por vezes, recristalizado em mosaico, em venulações finas ou como intercrescimento vermicular no plagioclásio e feldspato alcalino formando texturas mirmequítica e gráfica, respectivamente. Nos andesitos, o quartzo é sempre uma fase secundária e pode ocorrer em grãos muito finos associados à epidoto e clorita, proveniente da transformação do plagioclásio. Os feldspatos alcalinos são fases comuns apenas nos riolitos sendo encontrados constituindo a matriz felsítica ou como fenocristais, por vezes constituindo glômeros. Mostram-se sempre pertíticos e estão representados por cristais subédricos a anédricos de microclina com geminação em grade, bem como, pelo ortoclásio com macla Carlsbad, ambos parcialmente alterados para sericita e argilominerais.

O único máfico primário encontrado nos riolitos é a biotita, sendo observada em minúsculas palhetas dispersas na matriz ou em agregados de cristais fibrorradiados associados a opacos. Já os andesitos apresentam como máficos fenocristais euédricos a subédricos de anfibólio de cor marrom-esverdeado identificado como hornblenda, e grande quantidade de epidoto/clinozoizita e clorita tanto compondo a matriz como pseudomorfizando fenocristais de plagioclásio.

A fase hidrotermal é caracterizada nas rochas da Formação Serra da Bocaina por sericitização, epidotização, saussuritização, argilização e cloritização, enquanto o metamorfismo de fácies xisto-verde é identificado pela paragênese albita + epidoto + clorita.



**Figura 3.20.** Fotomicrografias das rochas da fácies efusiva da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) fenocristal de plagioclásio com golfos de corrosão caracterizando textura *sieve*; (B) glômero de plagioclásio; (C) textura porfírica a glomeroporfírica; (D) parte de glômero onde se destaca plagioclásio substituído, parcialmente, por calcita associado a feldspato alcalino gráfico; (E) pseudomorfo de plagioclásio formado por epidoto e clorita. Polarizadores cruzados em A, B, C e D e paralelos à esquerda e cruzados à direita em E.

### 3.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

A cartografia geológica de semi-detulhe da Formação Serra da Bocaina definiu um conjunto de estruturas tectônicas dúcteis e dúcteis-rúpteis, que podem ser agrupadas em duas fases de deformação distintas, designadas  $F_1$  e  $F_2$ .

Apesar do *imprint* tectônico-metamórfico há preservação de estruturas primárias reliquiárias ( $S_0$ ) principalmente caracterizadas por lentes/camadas centimétricas de Tufo Co-ignimbrítico intercaladas às Brechas Ignimbríticas. As lentes/camadas exibem mergulhos entre  $20^\circ$  e  $50^\circ$  para o quadrante SE e SEE (Fig. 3.21A) e fazem ângulo com a foliação  $S_1$ , cujos mergulhos concentram-se entre  $30^\circ$  e  $65^\circ$  para SE. As medidas de  $S_0$  apresentam uma máxima concentração em 100/30, sugerindo um arranjo do tipo homoclinal, com discretas ondulações produzidas por redobramento.

### 3.3.1. Primeira Fase de Deformação ( $F_1$ )

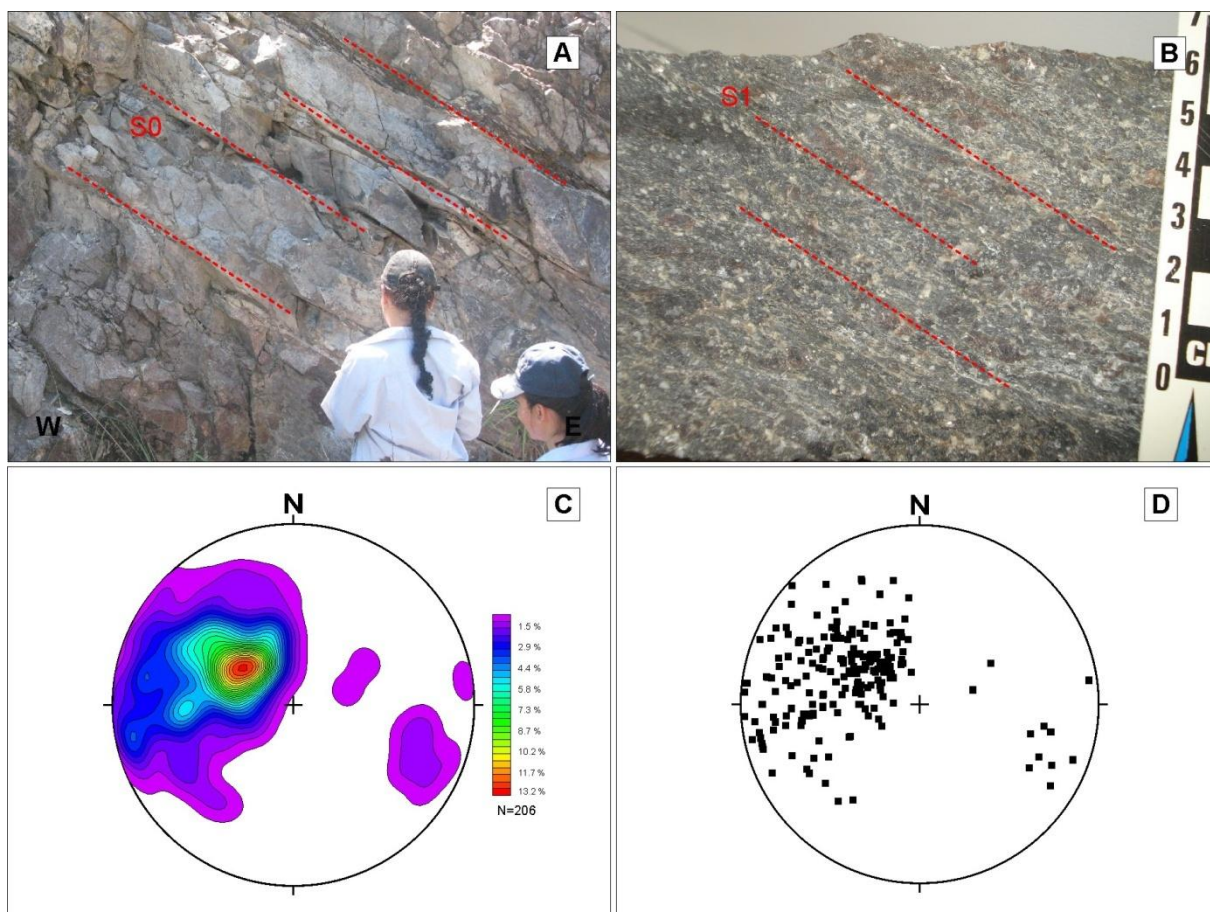
A primeira fase de deformação ( $F_1$ ), evento mais antigo e intenso, é observada em toda a extensão da Serra da Bocaina, tanto nos litotipos piroclásticos como nos efusivos, e é responsável pelo desenvolvimento da foliação penetrativa  $S_1$ . Na Formação Serra da Bocaina a foliação  $S_1$  é representada por xistosidade nas rochas das fácies 1 (Fig. 3.21B), 2, 4 e 5 e por uma clivagem do tipo ardosiana nas da fácies 3 (Fig. 3.22A). Associa-se à fase de deformação  $F_1$ , a implantação da zona de cisalhamento dúctil Santa Rosa, que coloca em contato o Granito Carandá com as rochas da fácies 1 e efusivas da Formação Serra da Bocaina.

A foliação  $S_1$  é definida pela recristalização orientada de minerais placóides, principalmente a sericita, que forma filmes orientados segundo o plano de foliação, assim como o achatamento e rotação dos cristaloclastos da matriz e dos fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspatos alcalinos (Fig. 3.22B).

O estereograma para pólos da foliação  $S_1$  aponta para um máximo em torno de 120/40 e uma dispersão de medidas entre 030/35 e 150/70 (Fig. 3.21C e D), provavelmente um reflexo dos dobramentos da segunda fase de deformação  $F_2$ .

As lineações  $L_1$  (mineral e estiramento) são definidas pelo alongamento dos fenocristais e dos fragmentos líticos. As medidas de  $L_1$  mostram atitudes que variam de 030/35 e 150/20.

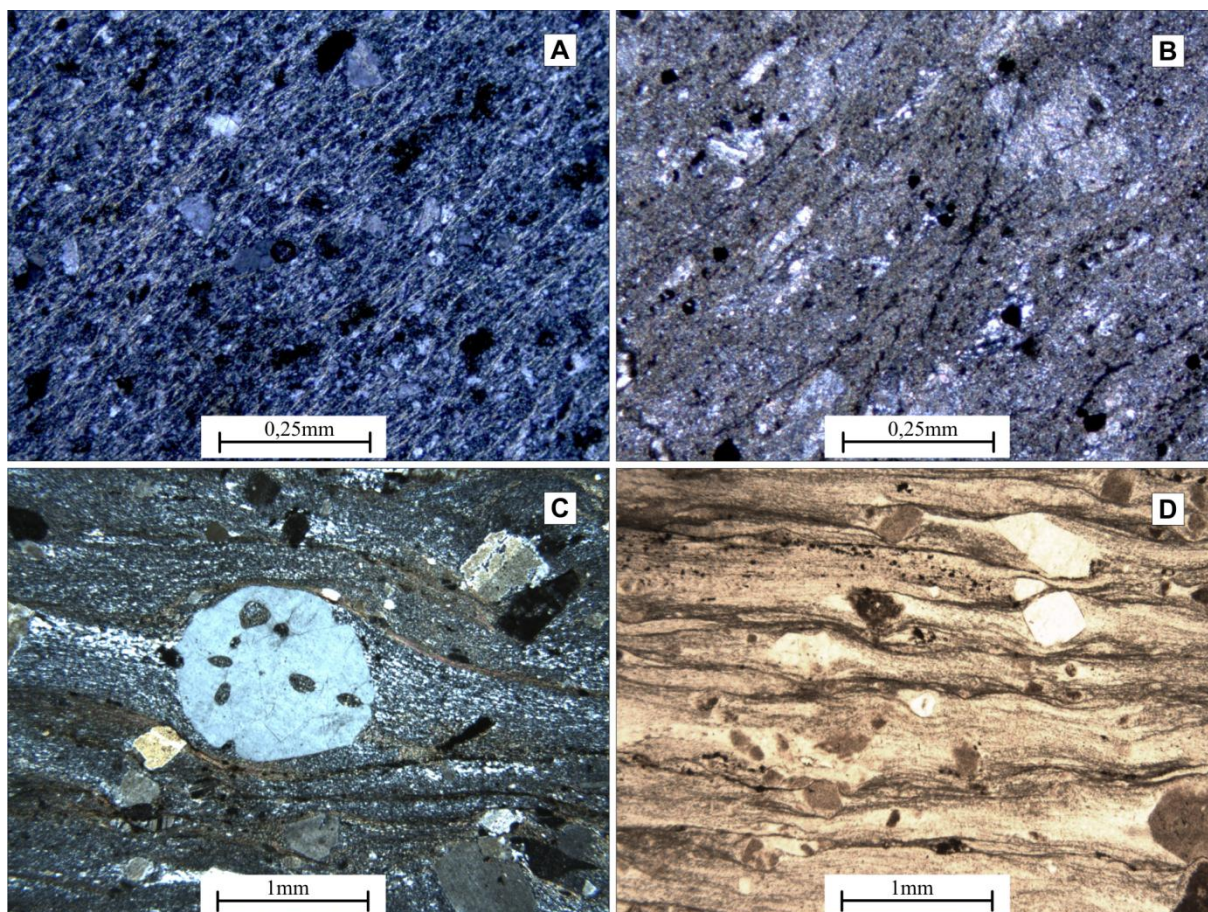




**Figura 3.21.** Figuras ilustrando: (A) lentes/camadas de fácies 3 em corte vertical na Serra da Bocaina, rodovia BR-267; (B) foliação  $S_1$  evidenciada por fenocristais, cristaloclastos e fragmentos estirados e orientados das rochas da fácies 1; (C) e (D) estereogramas da foliação penetrativa  $S_1$  para rochas da Formação Serra da Bocaina, diagramas de isofrequência e pólos, respectivamente.

A Zona de Cisalhamento Santa Rosa situa-se na borda leste da Serra da Bocaina e caracteriza-se por uma faixa contínua e anastomosada de deformação dúctil observada no Granito Carandá e na fácies 2 da Formação Serra da Bocaina. Os milonitos gerados na Formação Serra da Bocaina são caracterizados pela orientação preferencial da matriz, achatamento e rotação de porfiroclastos (Fig. 3.22C), cristaloclastos e fragmentos líticos. A foliação milonítica (Fig. 3.22D) exhibe atitude média de 085/80, semelhantemente à atitude da lineação de estiramento (088/80), indicando um movimento típico de rampa frontal.

Os indicadores cinemáticos observados em campo e em seções delgadas apontam para um movimento do tipo reverso, com transporte de topo para NWW, ou seja, a Zona de Cisalhamento Santa Rosa coloca tectonicamente o Granito Carandá sobre as rochas piroclásticas e efusivas da Formação Serra da Bocaina, ao longo de uma rampa reversa frontal.



**Figura 3.22.** Fotomicrografias das rochas da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) clivagem ardosiânica nas rochas da fácies 3; (B) fenocristais e fragmentos líticos orientados segundo a foliação  $S_1$ ; (C) fenocristal de quartzo arredondado com golfos de corrosão e sombra de pressão indicando o movimento da deformação  $F_1$ ; (D) foliação milonítica em rocha da fácies 2. Polarizadores cruzados em A, B e C e paralelos em D.

### 3.3.2. Segunda Fase de Deformação ( $F_2$ )

O segundo evento deformacional ( $F_2$ ), de menor intensidade, é caracterizado pela geração de dobras na foliação  $S_1$ . As microdobras são abertas, simétricas a discretamente assimétricas, orientadas na direção NNW/SSE, com fraca vergência para NW.

A foliação  $S_2$  é representada principalmente por uma clivagem de crenulação ou clivagem disjuntiva com atitude média de  $220/90$ , ambas relacionadas ao plano-axial das micro e mesodobras  $D_2$ . A lineação de intersecção  $L_2$  apresenta atitude  $110/45$  e corresponde ao eixo das dobras  $D_2$ .

A Formação Serra da Bocaina exhibe metamorfismo de fácies xisto-verde, caracterizada pela paragênese quartzo + epidoto + clorita, relacionada à fase de deformação  $F_1$ , enquanto as feições de retrometamorfismo devem estar associadas à segunda fase de deformação  $F_2$ , desenvolvida em nível crustal raso.

### 3.4. GEOQUÍMICA

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 24

amostras sendo nove da fácies 1, quatro da fácies 2, quatro da fácies 3, duas da fácies 4, três da fácies 5 e duas de fragmentos líticos. As amostras da fácies 1 (Brecha Ignimbrítica) foram tratadas, através de catação manual, buscando a separação dos fragmentos sendo analisados, isoladamente, tanto eles quanto matriz. As amostras foram calcinadas até peso constante para o cálculo de perda ao fogo e os elementos maiores e alguns menores foram recalculados, em base anidra, como recomendado pela IUGS (Le Maitre 2002). A partir dos dados obtidos, buscou-se a caracterização geoquímica, a definição da natureza do magmatismo e indicações sobre a ambiência tectônica das rochas estudadas.

A maioria dos litotipos das diferentes fácies definidas neste trabalho apresenta natureza ácida, relativa homogeneidade composicional e valores de  $\text{SiO}_2$  variando entre 71,85 e 78,31% (Tabela 1). Apenas duas amostras de lava (AB26), de caráter intermediário, excetuam-se a esse padrão com teor de  $\text{SiO}_2$  entre 60,38 e 60,62%, correspondendo a andesito e acarretando um hiato composicional entre esses valores e 71,85% de sílica devido, provavelmente, a uma falta de amostragem e/ou de afloramento. As amostras de fragmentos líticos da Brecha Ignimbrítica são ainda mais ácidas com teores de  $\text{SiO}_2$  em torno de 78%, mostrando-se, no entanto, e geoquimicamente semelhantes às outras piroclásticas.

Os diagramas de Harker elaborados para as rochas da Formação Serra da Bocaina (Fig. 3.23) mostram padrões evolutivos bem definidos com correlações lineares negativas entre sílica e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO, MgO,  $\text{TiO}_2$ ,  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_t$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e MnO devido ao empobrecimento progressivo em plagioclásio e em minerais máficos primários durante a diferenciação magmática, tais como hornblenda, biotita, ilmenita-magnetita, titanita e apatita. Os diagramas que envolvem os álcalis apresentam relativa dispersão resultante da maior mobilidade destes elementos durante a atuação de processos pós-magmáticos. Dentre os elementos traço apenas o Sr mostra correlação negativa com a sílica (Fig. 3.23) corroborando a idéia de fracionamento de plagioclásio.

**Tabela 1.** Composição química de elementos maiores, menores (% em peso), traços incluindo terras raras (ppm) de rochas da Formação Serra da Bocaina.

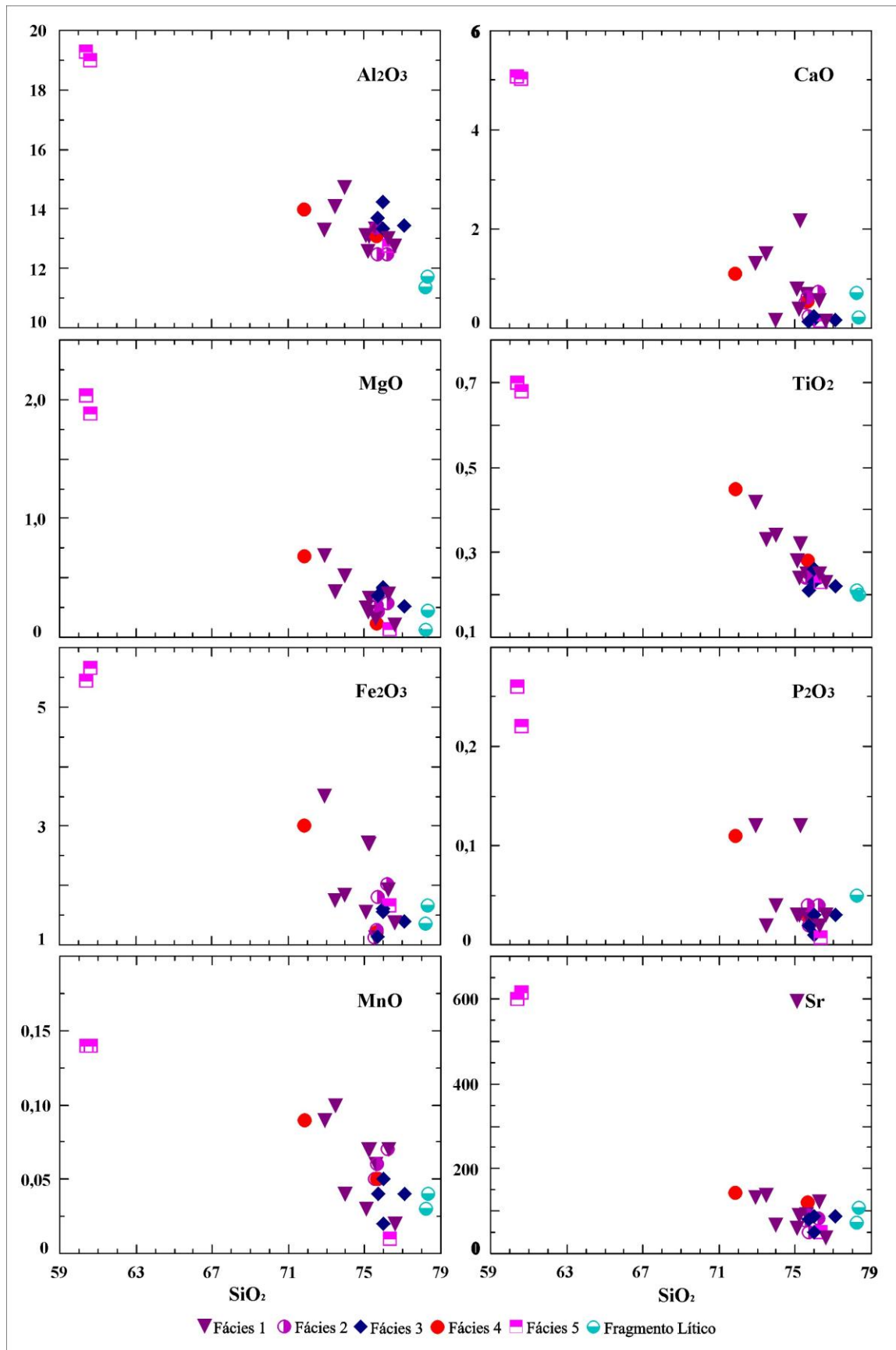
Amostras	AD85	AD92	AD65	AD2/2M	AD32(2)	AD9M	AD43	AB16
<b>Fácies</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>SiO<sub>2</sub></b>	72,9	73,46	73,97	75,10	75,18	76,25	76,59	75,24
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,42	0,33	0,34	0,28	0,24	0,25	0,23	0,32
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13,31	14,08	14,74	13,11	12,57	13,01	12,78	13,07
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,51	1,75	1,84	1,55	2,72	1,93	1,38	2,70
<b>MnO</b>	0,09	0,10	0,04	0,03	0,07	0,07	0,02	0,07
<b>MgO</b>	0,69	0,39	0,52	0,25	0,22	0,37	0,11	0,33
<b>CaO</b>	1,32	1,51	0,12	0,79	0,39	0,57	0,07	2,17
<b>Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,58	3,07	4,15	5,07	3,85	2,04	3,32	4,17
<b>K<sub>2</sub>O</b>	3,90	4,98	4,00	3,60	4,48	5,31	5,33	1,59
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,12	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,12
<b>LOI</b>	2,40	2,40	1,30	1,30	0,70	1,20	0,50	1,00
<b>Total</b>	99,55	99,38	99,48	99,56	99,54	99,60	99,66	99,60
<b>Ba</b>	1133	1393	1001	958	1491	1455	844	710
<b>Be</b>	3	3	3	3	2	4	2	<1
<b>Co</b>	3,50	98,20	34,40	0,40	1,40	1,30	0,50	3,20
<b>Cs</b>	2,10	3,90	1,90	3,40	1,30	3,40	1,60	2,10
<b>Ga</b>	14,70	17,10	19,50	14,50	13,90	15,10	12,40	11,60
<b>Hf</b>	6,00	7,10	8,20	7,20	5,60	7,20	7,10	4,20
<b>Nb</b>	9,90	11,80	12,60	11,30	12,10	12,10	14,10	6,20
<b>Rb</b>	131,00	169,30	175,20	152,00	140,80	173,60	143,50	52,90
<b>Sr</b>	133,50	137,70	67,10	61,70	91,90	124,20	36,90	594,60
<b>Ta</b>	0,60	1,00	1,00	1,10	0,80	1,10	1,00	0,50
<b>Th</b>	10,50	13,10	14,50	13,50	12,60	13,00	13,70	6,20
<b>U</b>	2,10	2,40	2,70	3,00	2,20	2,70	2,10	1,70
<b>W</b>	0,80	537,50	191,60	1,10	0,60	1,60	1,40	0,80
<b>Zr</b>	196,80	242,30	295,10	224,60	188,40	200,80	212,50	141,20
<b>Y</b>	29,50	45,70	37,80	37,90	28,60	42,80	34,60	10,70
<b>Pb</b>	-	16,10	17,30	11,90	-	23,40	-	-
<b>La</b>	44,90	75,10	58,60	53,10	44,70	55,10	46,00	30,30
<b>Ce</b>	83,70	105,90	78,50	112,00	90,80	93,80	61,20	58,20
<b>Pr</b>	10,43	15,47	13,07	12,81	10,64	11,22	11,07	6,42
<b>Nd</b>	40,90	60,50	51,50	47,30	42,80	41,80	42,50	25,80
<b>Sm</b>	7,41	9,93	8,92	8,68	7,45	7,52	7,64	3,77
<b>Eu</b>	1,67	2,04	1,89	1,72	1,53	1,55	1,43	0,93
<b>Gd</b>	6,38	8,61	7,64	7,68	6,06	6,84	6,93	2,89
<b>Tb</b>	0,96	1,27	1,18	1,07	0,96	1,05	1,11	0,41
<b>Dy</b>	5,17	7,21	6,64	6,35	5,44	6,10	6,67	2,24
<b>Ho</b>	1,14	1,45	1,26	1,13	1,06	1,33	1,30	0,45
<b>Er</b>	2,97	4,14	3,69	3,68	3,04	3,63	3,85	1,23
<b>Tm</b>	0,47	0,59	0,57	0,52	0,50	0,51	0,56	0,18
<b>Yb</b>	3,02	3,71	3,61	3,25	3,15	3,23	3,55	1,28
<b>Lu</b>	0,45	0,55	0,55	0,56	0,46	0,51	0,53	0,19
<b>Eu/Eu*</b>	0,74	0,67	0,70	0,64	0,70	0,66	0,60	0,86
<b>La/Yb</b>	10,66	14,52	11,64	11,72	10,18	12,24	9,29	16,98

**Tabela 1.** Continuação.

<b>Amostras</b>	<b>AD77</b>	<b>AD12</b>	<b>AD81</b>	<b>AB06</b>	<b>AB25</b>	<b>AD09(2)</b>	<b>AD43(1)</b>	<b>AD09(3)</b>
<b>Fácies</b>	1	2	2	2	2	3	3	3
<b>SiO<sub>2</sub></b>	75,57	75,56	75,67	75,70	76,20	75,70	75,98	76,70
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,25	0,24	0,24	0,25	0,24	0,21	0,26	0,23
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13,32	13,21	13,38	12,46	12,49	13,68	14,23	13,34
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,13	1,12	1,25	1,81	2,02	1,09	1,56	1,61
<b>MnO</b>	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07	0,04	0,02	0,05
<b>MgO</b>	0,16	0,25	0,27	0,22	0,29	0,35	0,41	0,42
<b>CaO</b>	0,69	0,52	0,63	0,25	0,73	0,14	0,25	0,17
<b>Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,11	3,92	4,09	1,63	3,78	3,48	3,83	2,98
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4,42	4,44	4,12	7,43	3,94	5,03	3,34	4,25
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,02	0,03	0,01
<b>LOI</b>	1,00	0,80	1,30	0,80	1,40	1,60	1,50	1,70
<b>Total</b>	99,53	99,53	99,56	99,60	99,61	99,55	99,69	99,54
<b>Ba</b>	1288	1346	1094	1105	998	1474	405	1032
<b>Be</b>	2	2	1	<1	<1	3	4	2
<b>Co</b>	72,40	96,50	121,00	<0,20	1,00	117,00	0,70	75,50
<b>Cs</b>	1,90	0,80	1,50	2,10	1,50	3,60	1,80	3,80
<b>Ga</b>	16,20	14,70	14,60	16,10	13,50	14,00	18,40	17,40
<b>Hf</b>	6,00	5,30	5,50	6,70	4,70	6,50	6,00	6,10
<b>Nb</b>	13,70	11,10	10,60	13,70	10,80	11,00	10,90	11,90
<b>Rb</b>	147,60	143,80	120,80	195,40	113,10	158,00	134,60	176,50
<b>Sr</b>	94,10	77,90	89,70	49,80	84,10	80,10	51,60	89,00
<b>Ta</b>	1,00	1,00	1,00	1,10	0,80	1,20	0,80	1,00
<b>Th</b>	13,50	13,00	11,50	17,50	11,50	13,00	12,90	14,30
<b>U</b>	2,80	2,70	2,20	3,90	2,20	3,00	2,10	2,70
<b>W</b>	373,50	564,60	686,20	1,20	0,80	637,40	1,60	381,40
<b>Zr</b>	215,10	166,10	173,80	231,60	164,60	201,10	218,90	210,70
<b>Y</b>	33,40	32,60	30,90	49,10	30,00	31,60	25,50	28,60
<b>Pb</b>	27,30	17,00	17,60	4,70	-	6,60	-	10,10
<b>La</b>	49,70	40,90	42,80	49,80	44,20	61,40	41,30	30,00
<b>Ce</b>	104,40	86,70	82,90	100,40	79,60	102,40	80,10	80,00
<b>Pr</b>	11,73	10,22	10,31	11,96	10,25	14,55	9,16	7,59
<b>Nd</b>	44,90	39,30	40,80	43,00	39,10	52,90	35,00	27,30
<b>Sm</b>	8,01	7,19	7,16	9,07	6,98	8,56	5,82	5,46
<b>Eu</b>	1,75	1,29	1,21	1,60	1,45	1,58	1,39	1,06
<b>Gd</b>	6,75	5,97	5,85	8,29	5,81	5,90	4,38	4,78
<b>Tb</b>	1,04	0,97	0,89	1,43	0,93	0,98	0,75	0,85
<b>Dy</b>	5,81	5,45	4,92	8,86	5,69	5,36	4,36	4,53
<b>Ho</b>	1,17	1,10	1,01	1,51	1,00	1,04	0,97	0,96
<b>Er</b>	3,44	3,28	3,06	4,73	3,23	3,18	2,78	3,09
<b>Tm</b>	0,51	0,49	0,45	0,69	0,53	0,49	0,42	0,45
<b>Yb</b>	3,28	3,25	2,95	3,87	3,32	3,24	3,12	2,97
<b>Lu</b>	0,50	0,49	0,47	0,67	0,48	0,50	0,42	0,47
<b>Eu/Eu*</b>	0,72	0,60	0,57	0,56	0,70	0,67	0,84	0,63
<b>La/Yb</b>	10,87	9,02	10,41	9,23	9,55	13,59	9,50	7,24
<b>Ga/Al</b>	2,30	2,10	2,06	2,44	2,04	1,93	2,44	2,46

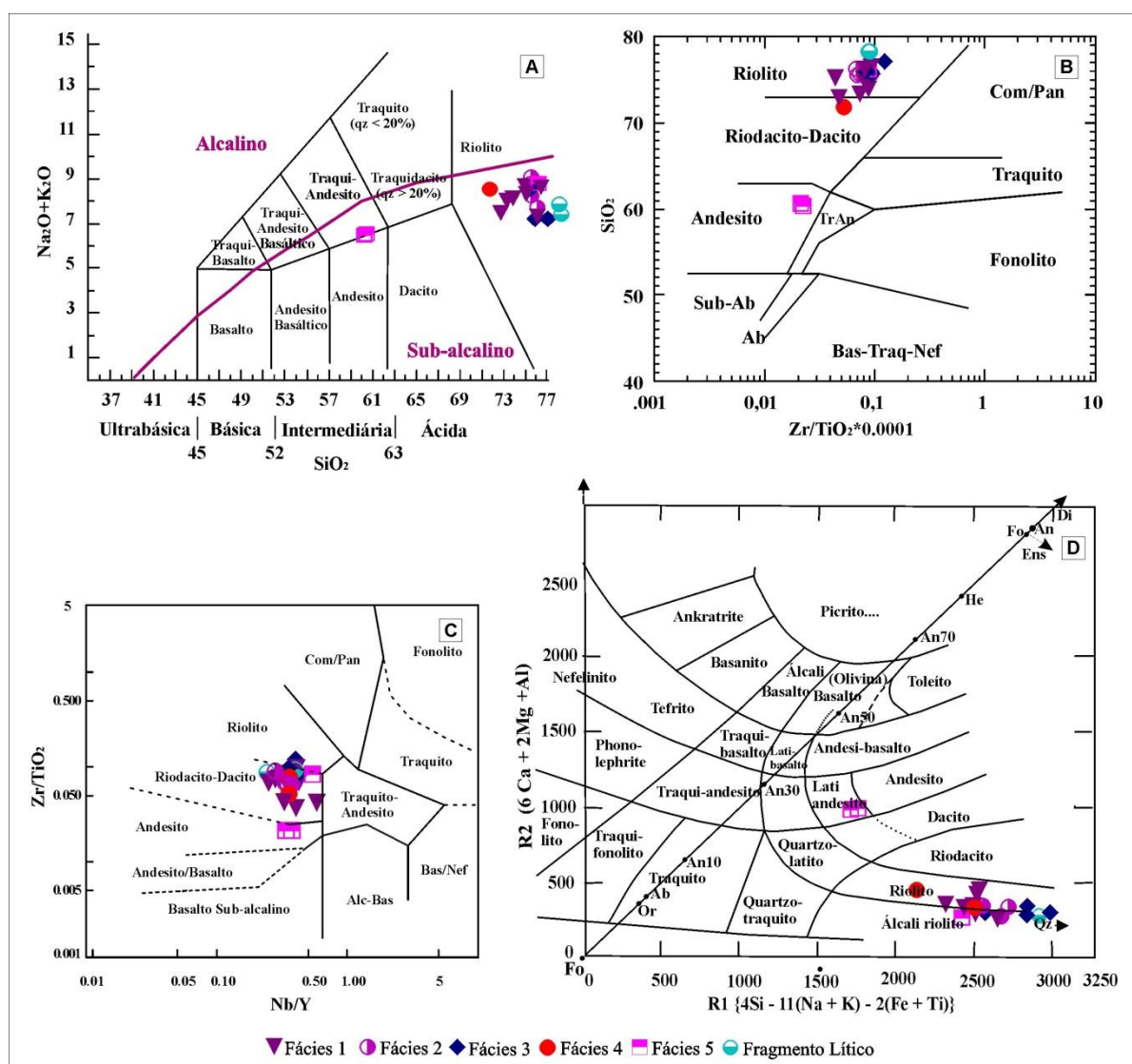
**Tabela 1.** Continuação.

Amostras	AD10(10)	AD01	AD37	AB26(1)	AB26	AD28	AD2/2F	AD09F
<b>Fácies</b>	3	4	4	5	5	5	Fragmento Lítico	Fragmento Lítico
<b>SiO<sub>2</sub></b>	77,11	71,85	75,65	60,38	60,62	76,32	78,23	78,31
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,22	0,45	0,28	0,70	0,68	0,23	0,21	0,20
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13,43	13,99	13,09	19,28	18,98	12,76	11,35	11,74
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,40	3,01	1,22	5,44	5,65	1,66	1,37	1,66
<b>MnO</b>	0,04	0,09	0,05	0,14	0,14	0,01	0,03	0,04
<b>MgO</b>	0,26	0,68	0,12	2,03	1,88	0,05	0,03	0,23
<b>CaO</b>	0,11	1,09	0,55	5,08	5,04	0,07	0,71	0,22
<b>Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,31	4,60	3,95	4,51	4,75	4,58	1,55	4,15
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2,94	3,91	4,71	1,95	1,79	4,19	6,26	3,30
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,03	0,11	0,03	0,26	0,22	<0,01	0,05	<0,01
<b>LOI</b>	1,50	1,40	0,40	2,80	2,50	0,70	0,40	0,70
<b>Total</b>	99,68	99,46	99,40	99,33	99,30	99,64	99,62	99,66
<b>Ba</b>	1074	1299	1575	867	967	739	2216	893
<b>Be</b>	3	2	2	3	1	1	2	3
<b>Co</b>	0,70	86,20	188,80	15,50	44,10	0,50	0,80	1,40
<b>Cs</b>	1,50	2,20	1,40	3,40	3,80	0,70	3,20	2,10
<b>Ga</b>	15,10	15,80	12,50	17,90	19,90	12,90	8,20	11,10
<b>Hf</b>	7,70	6,40	7,50	3,60	4,10	6,80	4,90	4,40
<b>Nb</b>	10,40	10,60	12,00	5,00	6,20	13,30	10,90	8,00
<b>Rb</b>	118,10	114,20	130,10	53,30	57,90	109,40	164,60	110,40
<b>Sr</b>	89,30	143,40	120,10	614,90	599,00	51,30	73,90	107,40
<b>Ta</b>	0,70	0,90	1,30	0,30	0,40	1,00	0,80	0,50
<b>Th</b>	11,40	11,50	12,90	5,60	5,50	14,40	11,10	9,90
<b>U</b>	2,50	2,20	2,30	1,10	1,20	2,40	2,30	2,20
<b>W</b>	0,80	447,20	979,40	1,10	145,70	0,90	2,00	0,70
<b>Zr</b>	266,80	233,80	229,70	146,00	156,20	201,00	183,80	181,10
<b>Y</b>	26,90	29,70	33,20	14,30	15,80	23,07	28,10	32,60
<b>Pb</b>	-	15,60	11,10	-	2,40	-	9,60	5,60
<b>La</b>	28,80	44,20	50,40	23,40	24,50	23,70	41,40	68,10
<b>Ce</b>	66,70	92,30	101,0	47,20	51,50	36,60	82,30	69,80
<b>Pr</b>	5,47	10,73	12,12	5,74	6,03	6,58	8,93	12,57
<b>Nd</b>	20,50	41,60	47,40	23,8	23,70	23,80	35,20	43,40
<b>Sm</b>	3,59	7,25	8,17	4,06	4,41	4,80	6,34	7,85
<b>Eu</b>	0,94	1,67	1,78	1,23	1,26	0,87	1,29	1,35
<b>Gd</b>	3,50	5,90	6,72	3,30	3,73	3,74	5,24	6,14
<b>Tb</b>	0,74	0,89	1,05	0,55	0,55	0,66	0,81	0,90
<b>Dy</b>	4,46	5,09	5,75	2,83	2,96	4,32	4,21	5,16
<b>Ho</b>	0,99	1,00	1,14	0,53	0,56	0,94	0,84	1,10
<b>Er</b>	2,90	2,95	3,41	1,49	1,65	2,68	2,38	3,29
<b>Tm</b>	0,48	0,43	0,49	0,24	0,24	0,48	0,36	0,47
<b>Yb</b>	3,41	2,88	3,18	1,50	1,47	3,38	2,17	2,69
<b>Lu</b>	0,49	0,45	0,49	0,20	0,22	0,46	0,38	0,47
<b>Eu/Eu*</b>	0,81	0,78	0,73	1,03	0,95	0,63	0,68	0,59
<b>La/Yb</b>	6,06	11,00	11,37	11,19	11,95	5,03	13,68	12,24
<b>Ga/Al</b>	2,12	2,13	1,80	1,95	2,15	1,91	1,37	1,79



**Figura 3.23.** Diagramas de Harker para rochas da Formação Serra da Bocaina (elementos maiores e menores expressos em % de óxidos e traço em ppm).

As rochas das fácies 1 a 4 e os fragmentos líticos da Formação Serra da Bocaina são classificadas como riolitos enquanto as lavas, correspondentes à fácies 5, plotam-se nos campos dos riolitos e andesitos quando considerado o diagrama total de álcalis *versus* sílica de Le Bas (1986; Fig. 3.24A). De maneira semelhante, os pontos que representam esses litotipos coincidem com os domínios dos riolitos e andesitos nos diagramas  $\text{SiO}_2$  *versus*  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  e  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  *versus*  $\text{Nb}/\text{Y}$  proposto por Winchester & Floyd (1977; Figs. 3.24B e C); bem como, as piroclásticas e lavas plotam-se, respectivamente, nos campos dos riolitos/álcali-riolitos e lati-andesitos do diagrama R1-R2 (La Roche *et al.* 1980; Fig. 3.24D) onde  $\text{R1} = 4\text{Si} - 11(\text{Na} + \text{K}) - 2(\text{Fe} + \text{Ti})$  e  $\text{R2} = 6\text{Ca} + 2\text{Mg} + \text{Al}$ .

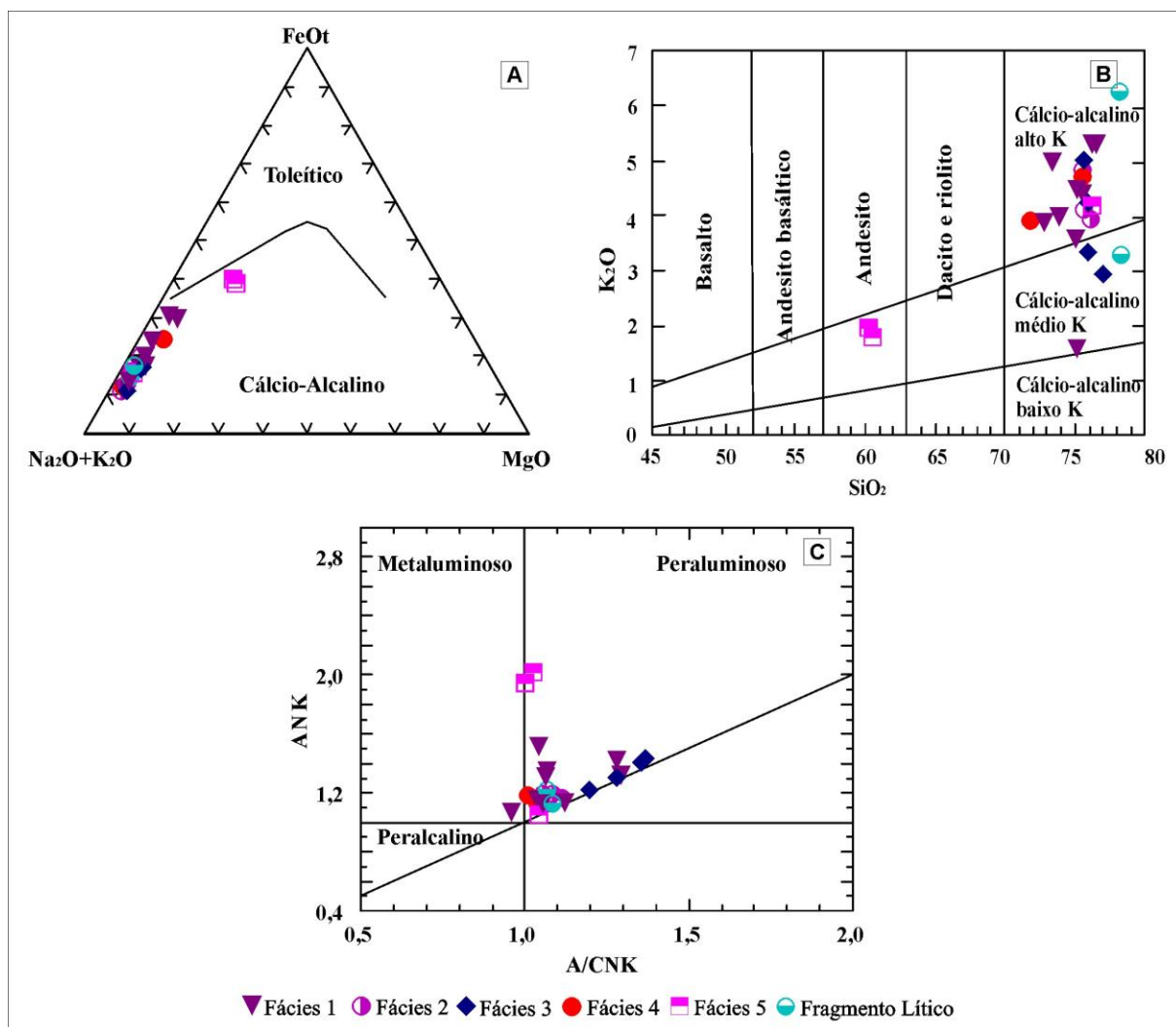


**Figura 3.24.** Classificação das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) total de álcalis *versus* sílica (Le Bas 1986), com limite entre domínio alcalino/subalcalino de Irvine & Baragar (1971); (B)  $\text{SiO}_2$  *versus*  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  (Winchester & Floyd 1977); (C)  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  *versus*  $\text{Nb}/\text{Y}$  (Winchester & Floyd 1977); (D) R1 *versus* R2 (La Roche *et al.* 1980).

Os diagramas TAS e AFM de Irvine & Baragar (1971), ilustrados respectivamente nas figuras 3.24B e 3.25A, indicam que o magmatismo que originou as rochas estudadas caracteriza-se como sub-

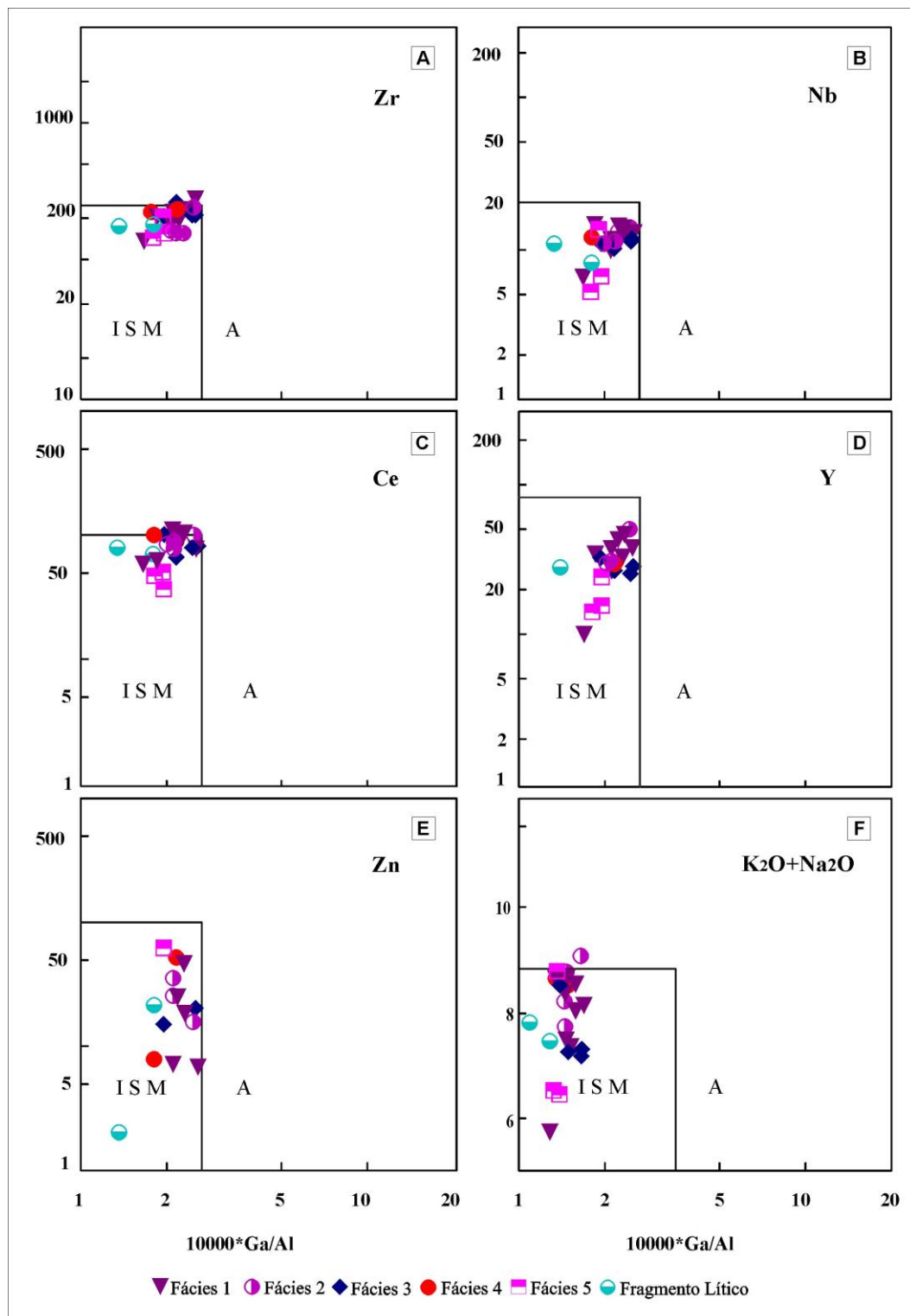


alcalino do tipo cálcio-alcalino. Essa última afinidade é também sugerida pelas razões La/Yb maiores do que 6 (Tabela 1) conforme proposta de Barret & MacLean (1999); enquanto a natureza cálcio-alcalina de médio a alto-K é ilustrada no diagrama  $K_2O$  versus  $SiO_2$  de Le Maitre (2002; Fig. 3.25B). Quanto à saturação em alumina, os pontos representativos das rochas e fragmentos da Formação Serra da Bocaina classificam esse magmatismo como peraluminoso no diagrama  $A/CNK$  versus  $A/NK$  de Maniar & Piccoli (1989; Fig. 3.25C), a exceção de uma amostra da matriz da Fácies Brecha Igimbrítica (AD 2/2M) que se posiciona no domínio metaluminoso.



**Figura 3.25.** Distribuição dos pontos representativos das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) AFM (Irvine & Baragar 1971); (B)  $K_2O$  % versus  $SiO_2$  % (Le Maitre 2002); (C)  $A/CNK$  versus  $A/NK$  (Maniar & Piccoli 1989).

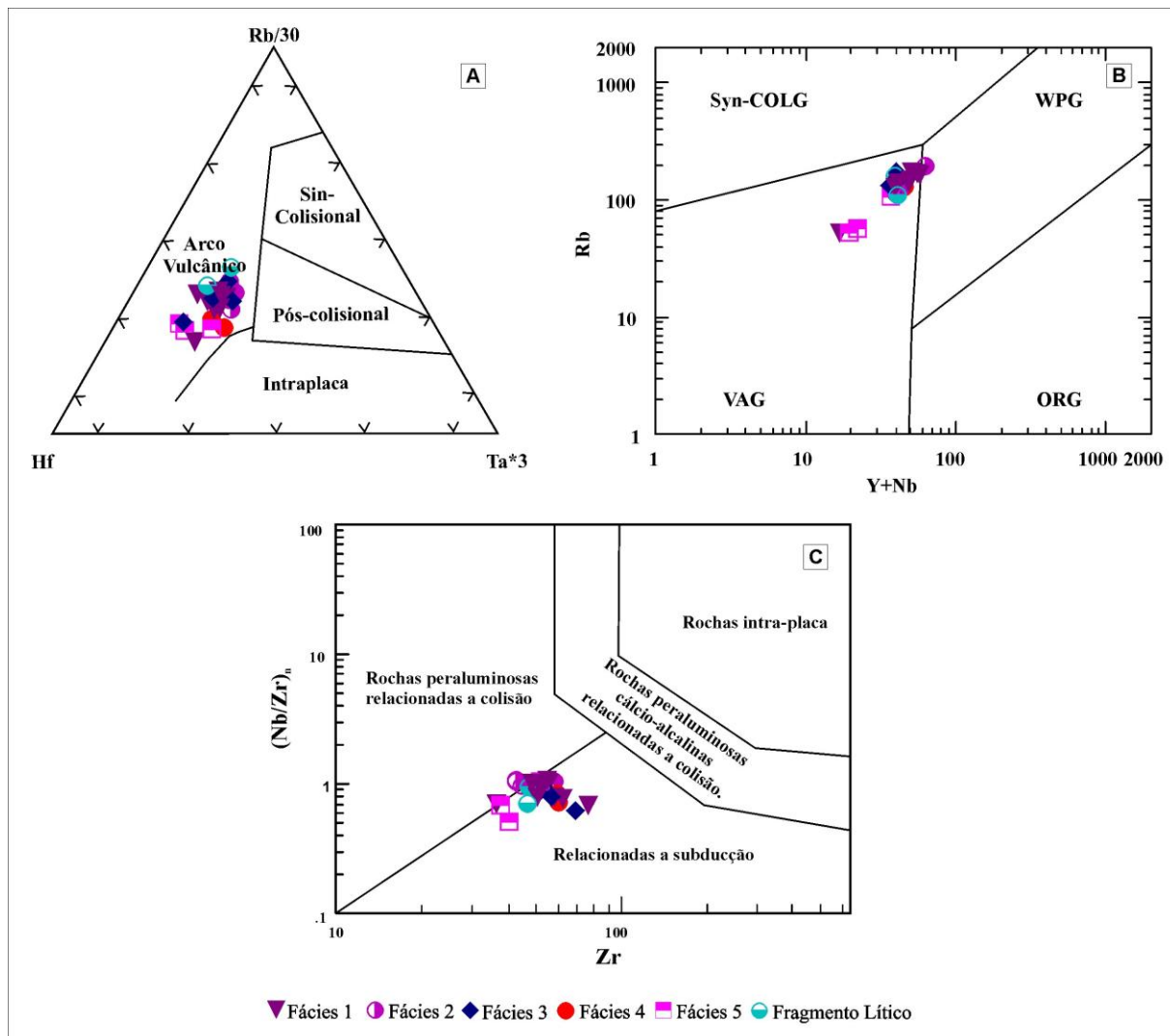
As razões Ga/Al (Tabelas 1) utilizadas como discriminantes de granitos tipo A (Whalen *et al.* 1987; Fig. 3.26) indicam que as rochas da Formação Serra da Bocaina não têm comportamento geoquímico de granitóides do tipo A que são caracterizados por valores elevados dessa razão. Como os estudos petrográficos excluem relação dessas rochas com granitos tipo S, sugere-se a sua afinidade com granitos do tipo I.



**Figura 3.26.** Distribuição dos pontos representativos das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas propostos por Whalen *et al.* (1987):  $10000 \cdot Ga/Al$  versus Zr (A); Nb (B); Ce (C); Y (D); Zn (E);  $K_2O+Na_2O$  (F).

Em diagramas discriminantes de ambientes tectônicos, baseados no comportamento de Hf - Rb - Ta e de Rb e (Y+Nb) propostos, respectivamente, por Harris *et al.* (1986; Fig. 27A) e Pearce (1996; Fig. 27B), os pontos que representam as rochas da Formação Serra da Bocaina coincidem com o domínio de granitóides de arco vulcânico. Essa afinidade é confirmada no gráfico proposto por

Thieblemont & Tegye (1994), que utiliza  $(Nb/Zr)_n$  versus Zr normalizados pelos valores condriticos C1 (Sun & McDonough 1989), ilustrado na figura 3.27 C onde a maioria das amostras se posiciona no campo de rochas peraluminosas relacionadas com ambiente de subducção.



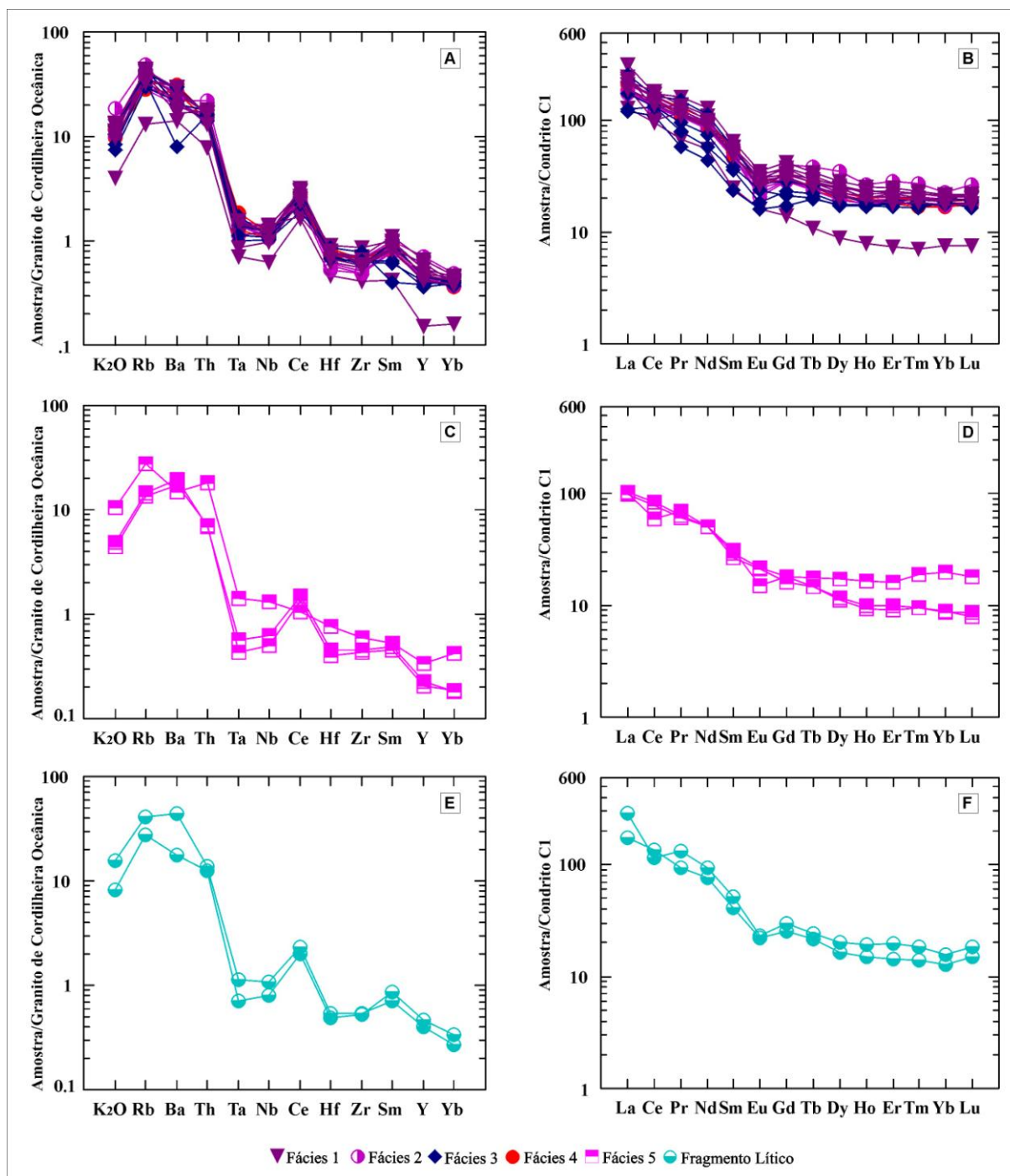
**Figura 3.27.** Distribuição dos pontos representativos das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) Hf-Rb/30-Ta\*3 (Harris *et al.* 1986); (B) Rb versus Y+Nb (Pearce 1996); (C)  $(Nb/Zr)_n$  versus Zr (Thieblemont & Tegye 1994).

A normalização dos teores de alguns elementos traço e do  $K_2O$  das rochas piroclásticas e efusivas da Formação Serra da Bocaina, a partir dos granitos de Cordilheira Meso-Oceânica (Pearce *et al.* 1984; figuras 3.28A, C e E), evidencia um enriquecimento de elementos litófilos de íons grandes (LILE) K, Rb, Ba e Th em relação aos de alta carga (HFSE) Ta, Nb, Ce, Hf, Zr, Sm, Y e Yb. Observam-se, nesse último grupo, valores geralmente inferiores a 1 semelhantes aos de séries cálcio-alcálinas de alto K.

À exceção das lavas andesíticas (fácies 5), as concentrações dos Elementos Terras Raras (ETR) das rochas da Formação Serra da Bocaina, normalizadas pelos valores condriticos C1 (Sun &

McDonough 1989) e ilustradas nas figuras 3.28B e 3.28F apresentam anomalias negativas de Eu com razões  $Eu/Eu^*$  entre 0,56 e 0,86 (Tabela 1). Mostram um padrão de fracionamento de ETR Pesados (Dy, Ho, Er, Tm Yb e Lu) em relação aos ETR Leves (La, Ce, Pr, Nd e Sm) com razões La/Yb entre 5,03 e 16,98 (Tabela 1), exibindo configuração sub-horizontalizada para os ETRP.

Os valores dos elementos traço dos andesitos da Formação Serra da Bocaina ( fácies 5 alterada hidrotermalmente) são sempre mais baixos do que os das rochas piroclásticas, mas a disposição dos pontos que os representam nas figuras 3.28C e 3.28D segue padrões semelhantes (La/Yb=11,19 e 11,95; Tabela 1) diferenciando-se pela ausência de anomalia de Eu com razão  $Eu/Eu^*$  igual a 0,95 e 1,03.



**Figura 3.28.** Padrões de distribuição dos pontos representativos das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A), (C) e (E) Elementos Traço e K<sub>2</sub>O, normalizados pelos valores dos granitos de Cordilheira Meso-Oceânica (Pearce *et al.* 1984); (B), (D) e (F) ETR normalizados pelos valores do Condrito C1 (Sun & McDonough 1989).

### 3.5. GEOCRONOLOGIA

Para o estudo geocronológico da Formação Serra da Bocaina foi selecionada a amostra (AB35) de um ignimbrito, pertencente à fácies Ignimbrito Rico em Cristais.

### 3.5.1. Resultados Analíticos

Das quarenta e quatro canoas analisadas, trinta e sete foram eliminadas devido às altas concentrações de chumbo comum. As sete canoas restantes apresentaram bons resultados analíticos obtidos durante a segunda etapa de aquecimento (aproximadamente 1500°C). Para uma melhor análise e apresentação dos resultados, optou-se pelo uso de apenas sete canoas, as quais forneceram cento e quarenta e quatro razões isotópicas (Tabela 2). Os cristais de zircão da Formação Serra da Bocaina apresentam-se euédricos, subédricos e prismáticos, cores castanhas a esbranquiçadas variando de transparente, podendo a fosco por vezes exibir moderado fraturamento (Fig. 3.29).

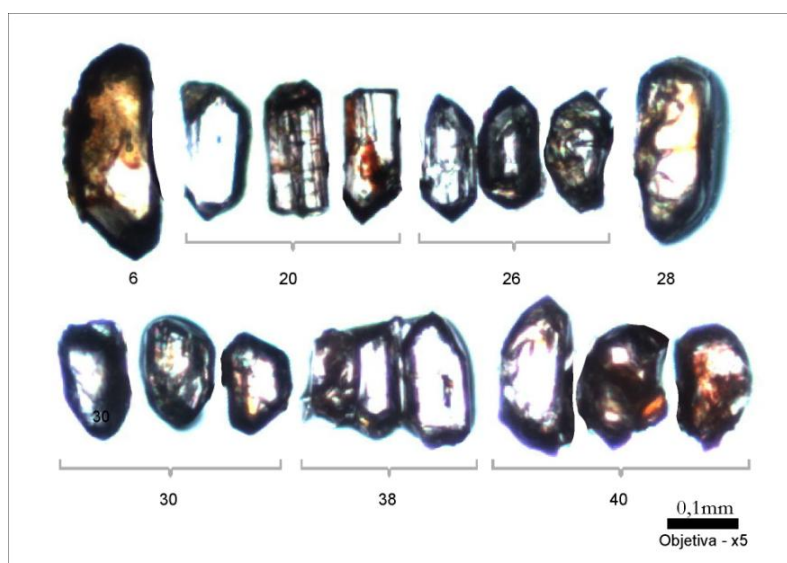


Figura 3.29. Fotomicrografia de cristais de zircão da amostra AB35 selecionados para a datação.

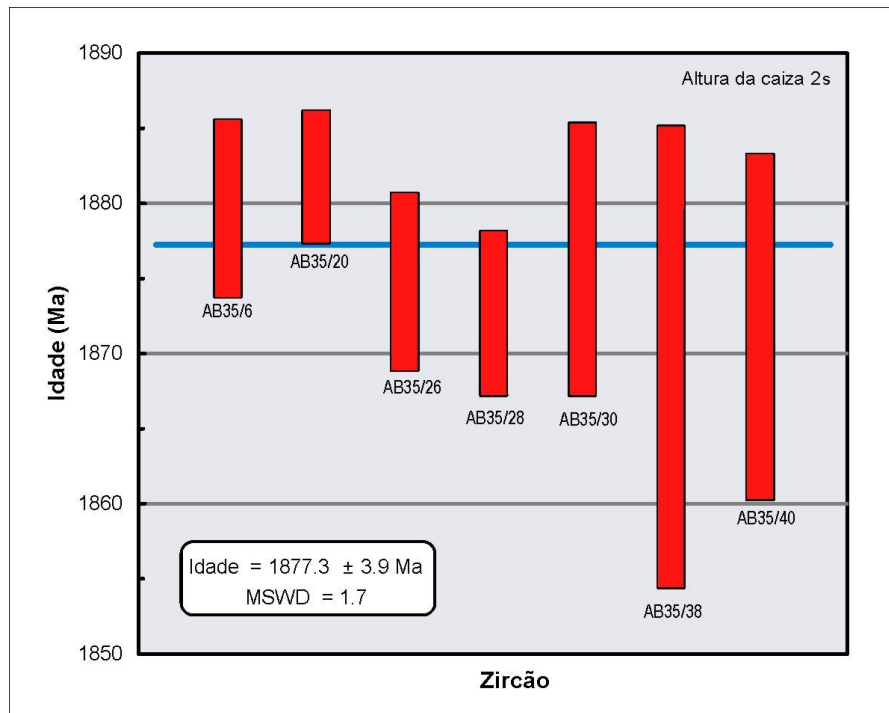
Tabela 2. Dados isotópicos de Pb de multigrãos de zircão da amostra AB35 da fácies 2 da Formação Serra da Bocaina.

Amostra	T°C	Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ
AB35R/6	1500	44/44	0,000069	0,000003	0,46398	0,00174	0,11497	0,00037	1879,7	5,9
AB35R/20	1500	30/38	0,000986	0,000022	0,46697	0,0013	0,1151	0,00028	1881,8	4,4
AB35R/26	1500	36/40	0,000104	0,000006	0,36953	0,00098	0,11466	0,00037	1874,8	5,9
AB35R/28	1500	4/12	0,000207	0,000014	0,37796	0,00327	0,11452	0,00035	1872,7	5,5
AB35R/30	1500	8/58	0,000501	0,000024	0,3756	0,00208	0,11476	0,00058	1876,3	9,1
AB35/38	1500	8/8	0,000763	0,000056	0,41445	0,00319	0,11434	0,00098	1869,8	15,4
AB35/40	1500	14/26	0,000634	0,000169	0,35543	0,00728	0,11447	0,00073	1871,8	11,5
144/226							Idade média =		1877,3	3,9

Os sete filamentos analisados (AB35R/6, AB35R/20, AB35R/26, AB35R/28, AB35R/30, AB35/38 e AB35/40) apresentam uma variação de idades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  entre 1869,8 e 1881,8 Ma, com idade média de 1877,3 ± 3,9 Ma (MSWD = 1,7; Fig. 3.30). Esse resultado mostra baixas razões de Pb comum para as amostras AB35R/6, AB35R/26 e AB35R/28 com pequena correção da idade de razão

$^{207}\text{Pb}/\text{Pb}^{206}$ , e chumbo comum alto para as amostras AB35R/20, AB35R/30, AB35/38 e AB35/40, tendo como valor limite de razão  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  para eliminação dos grãos de 0,0009, mas por fornecerem idades semelhantes às com chumbo comum baixo e erro analítico aceitável, o que é indicativo de um dado de qualidade.

O resultado obtido pelo método Pb-Pb de  $1877,3 \pm 3,9$  Ma, é interpretado como a idade de cristalização dos Ignimbritos Ricos em Cristais e, por consequência, do vulcanismo explosivo representado pela Formação Serra da Bocaina.



**Figura 3.30.** Diagrama idades *versus* cristais de zircão para a amostra AB35 (Fácies Ignimbrito Rico em Cristais).

## CAPÍTULO 4

### CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

---

O Terreno Rio Apa é um pequeno fragmento de crosta continental exposto na região de fronteira entre o Brasil (Mato Grosso do Sul) e Paraguai (Departamento de Concepcion). Recoberto a sul, oeste e norte pelos sedimentos da Formação Pantanal, exhibe contato por discordância erosiva e angular, a leste, com as rochas da Faixa de Dobramentos Paraguai.

A descontinuidade física com as grandes entidades geotectônicas da Plataforma Sulamericana tem suscitado um debate sobre a correlação tectônica do Terreno Rio Apa. Enquanto Almeida (1964, 1978), Amaral (1974), Ruiz *et al.* (2005), Lacerda Filho *et al.* (2006) e Cordani *et al.* (2010) o posicionam no Cráton Amazônico; Ramos e Vujovich (1993) defendem que se trata de uma extensão do Craton Rio de La Plata enquanto Ramos (2008) defende sua ligação com o Terreno Pampia (Argentina). Levando-se em conta os argumentos apontados por Ruiz *et al.* (2005) admite-se que o Terreno Rio Apa corresponde ao extremo sul do Craton Amazônico.

Na região da Serra da Bocaina foi identificado o Granito Carandá e a Formação Serra da Bocaina. O Granito Carandá faz contato tectônico com as rochas piroclásticas e efusivas da Formação Serra da Bocaina e é composto por rochas leucocráticas, de cor cinza-esverdeado, tendo biotita como único máfico essencial primário e sendo classificado como Biotita Sienogranito.

A Formação Serra da Bocaina é constituída predominantemente, por rochas piroclásticas representadas por quatro fácies ignimbríticas: Brecha Ignimbrítica, Ignimbrito Rico em Cristais, Tufo Co-ignimbrítico e Reoignimbrito e uma fácies efusiva.

Microscopicamente, as rochas da Fácies Brecha Ignimbrítica da Formação Serra da Bocaina são caracterizadas pela presença de diferentes produtos piroclásticos, tais como, fragmentos líticos e púmiceos, cristaloclastos, púmices, *fiammes*, *shards* e cristalitos de variadas dimensões e composições, bem como por fenocristais de quartzo, plagioclásio, e feldspato alcalino imersos em uma matriz cinerítica fina. As fases de alteração estão representadas por sericita, epidoto/clinozoizita, calcita, argilominerais e clorita, e as acessórias por allanita, zircão, apatita e opacos, tendo como principal máfico a biotita de alta temperatura. Os fragmentos líticos são compostos por uma mesóstase felsítica, fenocristais, biotita, opacos, vidro e produtos de devitrificação, como esferulito, axiolito, cristalitos e intercrescimento gráfico. A Fácies Ignimbrito Rico em Cristais diferencia-se, opticamente, pela grande proporção de fenocristais e cristaloclastos que atingem até 50% e menor percentual dos demais produtos piroclásticos. A Fácies Tufo Co-ignimbrítico caracteriza-se pela menor quantidade e tamanho dos fenocristais/cristaloclastos, produtos piroclásticos ( $\ll 0,1$  mm) e mesóstase mais homogênea e ainda mais fina. As rochas da Fácies Reoignimbrito diferenciam-se pela presença marcante de textura eutaxítica, de púmices, púmices-tubo e pela grande quantidade de produtos de devitrificação. Os litoclastos e púmices têm composição semelhante à encontrada na fácies 1 com



proporções e dimensões inferiores (entre 0,3 e 2,0 mm). As rochas efusivas caracterizam-se por textura porfirítica a glomeroporfirítica e composições andesíticas e riolíticas.

As rochas da Formação Serra da Bocaina arranjam-se em uma estrutura homoclinal com mergulho do acamamento entre 20° e 50° para SE e SEE e fazem ângulo com a foliação ( $S_1$ ). Do ponto de vista deformacional, foram identificadas duas fases de natureza dúctil ( $F_1$ ) e dúctil-rúptil ( $F_2$ ). O evento mais antigo,  $F_1$ , representa a deformação mais intensa e dominante, sendo observado ao longo de toda a área estudada nas rochas piroclásticas e efusivas e é o responsável pelo desenvolvimento de foliação penetrativa ( $S_1$ ) e zonas de cisalhamento. A foliação  $S_1$  é representada por xistosidade nas rochas das fácies 1, 2, 4 e 5 e por uma clivagem ardosiana na fácies 3 com atitude média de 120/40. A estrutura ( $L_1$ ) refere-se às lineações mineral e de estiramento e apresentam atitudes que variam de 030/35 e 150/20. A Zona de Cisalhamento Santa Rosa, relacionada à primeira fase deformacional  $F_1$ , corresponde ao limite entre as rochas da fácies 1 da Formação Serra da Bocaina e o Granito Carandá e indica movimento do tipo reverso, com transporte tectônico de topo para NNW. A segunda fase deformacional,  $F_2$ , mostra-se com uma intensidade deformacional menor e é marcado pela geração de dobras na foliação  $S_1$ . A foliação  $S_2$  é representada por uma clivagem de crenulação ou por clivagem disjuntiva que estão relacionadas ao plano-axial das micro e mesodobras  $D_2$ , com atitude média de 220/90; e uma lineação de intersecção ( $L_2$ ) com atitude média de 110/45. Este conjunto vulcânico-vulcanoclástico exhibe metamorfismo de baixo grau, coincidente com a fácies xisto-verde, caracterizada pela paragênese albita + epidoto + clorita, com evidências de retrometamorfismo.

Geoquimicamente, as rochas piroclásticas e efusivas da Formação Serra da Bocaina caracterizam-se como intermediárias a predominantemente ácidas que apresentam afinidades com granitos do tipo I. Classificam-se como andesitos e riolitos e foram geradas por cristalização fracionada em um ambiente de arco-vulcânico a partir de um magmatismo cálcio-alcálico de médio a alto-K e peraluminoso. As concentrações dos ETR das rochas piroclásticas apresentam moderadas anomalias negativas de Eu correspondendo a razões  $Eu/Eu^*$  entre 0,56 e 0,86. Nas rochas efusivas, alteradas hidrotermalmente, os valores dos elementos traço são sempre mais baixos que os das rochas piroclásticas diferenciando-se pela ausência de anomalia de Eu com razões  $Eu/Eu^*$  de 0,95 e 1,03.

Considerando-se a compartimentação e evolução tectônica do Terreno Rio Apa as rochas estudadas retratam um evento magmático extrusivo, de natureza principalmente explosiva, relacionado à evolução do Arco Magmático Amoguijá, de idade Orosiriana, conforme resultado Pb-Pb em zircão de  $1878 \pm 4$  Ma.

Considerando o padrão deformacional e metamórfico observado nas rochas estudadas, sugere-se que a Formação Serra da Bocaina e o Granito Carandá foram tectonicamente transportados de SEE para NWW em um regime tectônico convergente, dominado por rampas frontais de baixo a médio mergulho, em um nível crustal compatível com metamorfismo de fácies xisto-verde.

Os dados Ar-Ar e K-Ar em torno de 1.3 Ga, apresentados para as rochas plutônicas e vulcânicas do Arco Magmático Amoguijá (Cordani *et al.* 2010), sugerem que os litotipos estudados,

foram deformados e metamorfizados durante a Orogenia San Ignácio (1.4 a 1.3 Ga) observada no Terreno Paraguá, no SW do Cráton Amazônico.

### *Sugestões*

As rochas efusivas e piroclásticas da Formação Serra da Bocaina afloram em outras áreas do Terreno Rio Apa e devem ser estudadas para que se compreenda melhor este episódio vulcânico do Cráton Amazônico.

Sugere-se o detalhamento do Granito Carandá, com relação a dados de campo, estudos petrográficos, informações geoquímicas para elementos maiores, menores e traços incluindo terras raras, bem como geocronologia dessa unidade e da Formação Serra da Bocaina utilizando os métodos U-Pb, Sm-Nd e Ar-Ar para determinar uma sequência temporal dos eventos magmáticos e metamórficos-deformacionais que afetaram as rochas do Arco Magmático Amoguijá.

A junção destas informações é importante para a contribuição do entendimento da evolução crustal do Cráton Amazônico e principalmente do evento magmático responsável pela geração das unidades efusivas e piroclásticas da Formação Serra da Bocaina e do Granito Carandá, sendo que deste último encontram-se apenas estudos preliminares na literatura.

## REFERÊNCIAS

---

- Almeida, F. F. M. 1964. *Geologia do centro-oeste mato-grossense*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, Boletim 215, 137 p.
- Almeida, F.F.M. 1978. Tectonic map of south America 1:5.000.000. Explanatory note, Brasília DNPM/DGMW/UNESCO, 23p.
- Amaral, G. 1974. Geologia Pré Cambriana da Região Amazônica. Tese de Doutorado, IGC, Universidade de São Paulo, 212 p.
- Amaral, G. 1984. Províncias Tapajós e Rio Branco. *In: Almeida, F.F.M & Hasui, Y. 1984. O Pré-cambriano do Brasil*, São Paulo, Edgard Blücher, p.6 – 35.
- Araújo, H. J. T.; Trindade, C.A.H.; Pinto, J.C.A.; Montalvão, R.M.G.; Tassinari, C.C.G. 1981. Geologia pré-cambriana da folha SF.21 Rio Apa. *In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, 1, Goiânia. Ata ... Goiânia: SBG – NCO, p. 117-132.
- Araújo H. J. T., Santos Neto A., Trindade C. A. H., Pinto J. C. A., Montalvão R. M. G., Dourado T. D. C.; Palmeira R. C. B., Tassinari C. C. G. 1982. *Folha SF. 21 – Campo Grande*. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia-Secretaria Geral, Projeto RADAMBRASIL – Geologia, **28**:23-124.
- Assine, M. L. 2005. A bacia sedimentar do Pantanal mato-grossense. *In: Mantesso Neto, Virgínio et al. (Org.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, p. 61-74.
- Barrett T.J. & MacLean W.H. 1999. Volcanic Sequences, Lithochemistry, and Hydrothermal Alteration in Some Bimodal Volcanic-Associated Massive Sulfide Systems. *Reviews in Economic Geology*, **8**:101-131.
- Boggiani, P. C.; Alvarenga, C. J. S. 2004. Evolução dos Grupos Corumbá e Araras no contexto da Faixa Paraguai. *In: Congresso Brasileiro De Geologia*, 42, CD ROM.
- Brittes, A. F. N. & Plens, D. P. 2010. Caracterização Geológica da Serra da Bocaina, com Ênfase na Formação Serra da Bocaina – Terreno Rio Apa – Sul do Craton Amazônico – Porto Murtinho – MS. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, 20-50 p.
- Brittes A. F. N., Plens D. P., Ruiz A. S., Sousa M. Z. A., Batata M. E. F. 2010. Caracterização Geológica e Petrográfica da Formação Serra da Bocaina - Terreno Rio Apa - Sul do Cráton Amazônico – Porto Murtinho – MS. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 45, CD-ROM.
- Brittes A. F. N., Plens D. P., Ruiz A. S., Sousa M. Z. A., Batata M. E. F. 2011. Caracterização Estrutural e Metamórfica da Formação Serra da Bocaina e do Granito Carandá – Terreno Rio Apa – Sul do Cráton Amazônico – Porto Murtinho (MS). *In: XIII Simp. Nac. de Estudos Tectônicos*, 1, p. 33-36.

- Brittes, A. F. N. 2012. Geologia, Petrologia e Geocronologia (Pb-Pb) da Formação Serra da Bocaina – Terreno Rio Apa - Sul do Cráton Amazônico
- Brittes A. F. N., Sousa M. Z. A., Ruiz A. S., Batata M. E. F., Plens D. P. 2011. Petrografia e Geoquímica da Formação Serra da Bocaina – Terreno Rio Apa – Sul do Cráton Amazônico – Porto Murtinho – MS. *In: Simp. Vulcanismo e Ambientes Associados*, 5, CD-ROM.
- Brittes A. F. N., Sousa M. Z. A., Ruiz A. S., Batata M. E. F., Plens D. P. 2011. Petrografia, Estrutural e Geoquímica da Formação Serra da Bocaina do Arco Magmático Amonguijá – Terreno Rio Apa (MS). *In: Simpósio de Geologia da Amazônia*, 12, CD-ROM.
- Cordani, U.G., Tassinari C.C.G., Teixeira W., Basei M.A.S., Kawasita K. 1979. Evolução Tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *In: Congresso Geológico Chileno*, 2, Chile. *Atas*, p.137-48.
- Cordani, U.G. & Brito Neves, B.B. de, 1982. The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. *Revista Brasileira de Geologia*, **12**(1-3),78-88.
- Cordani, U. G.; Tassinari, C. C. G.; Rolim, D. R. 2005. The basement of the Rio Apa Craton in Mato Grosso do Sul (Brazil) and northern Paraguay: a geochronological correlation with the tectonic provinces of the south-western Amazonian Craton. *In: Gondwana*, 12, p. 112.
- Cordani, U. G.; Teixeira, W.; Tassinari, C. C. G.; and Ruiz, A. S.; 2010, The Rio Apa Craton in Mato Grosso do Sul (Brazil) and Northern Paraguay: Geochronological Evolution, Correlations and Tectonic Implications for Rodinia and Gondwana. *American Journal of Science*, **310**:1-43.
- Corrêa, J.A.; Corrêa Filho, F.C.L.; Scislewski, G.; Cavallon, L.A.; Cerqueira, N.L.S.; Nogueira, V.L. 1976. Projeto Bodoquena – Relatório Final, MME/DNPM, Convênio DNPM/CPRM – Superintendência Regional de Goiânia.
- Correia Filho, F.C.L.; Martins, E.G.; Araújo, E.S. 1981. Projeto Rio Apa: Relatório da área I. Goiânia: CPRM, 2 v. Convênio CODESUL/CPRM.
- Costa, J.B.S., & Hasui, Y. 1997. Evolução geológica da Amazônia. *In: M.L.Costa, R.S.Angélica (eds). Contribuições à Geologia da Amazônia*. SBG, p. 15-90.
- Gaudette, H.E., Lafon, J.M., Macambira, M.J.B., Moura, C.A.V., Scheller, T. 1998. Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon ages with conventional U-Pb results: Examples from the Precambrian of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **11**(4), 351-363.
- Godoi, H. O. Martins, E. G.; Mello, J. C. R. 1999. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB: folha SE.21-Y-D - Corumbá; Folha SF.21-V-B - Aldeia Tomázia; Folha SF.21-V-D - Porto Murtinho: escala 1:250 000. Brasília: CPRM, 88p.
- Godoi, H.O. & Martins, E.G. 1999. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB: Folha SF.21, Campo Grande; escala 1:500.000. Brasília: CPRM.
- Godoi, H.O.; Martins, E.G.; Mello, C.R.; Scislewski, G. 2001. Geologia. MME/SG. Projeto Radam - Brasil. 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), Mato Grosso do Sul, escala 1: 250.000.

- Brittes, A. F. N. 2012. Geologia, Petrologia e Geocronologia (Pb-Pb) da Formação Serra da Bocaina – Terreno Rio Apa - Sul do Cráton Amazônico
- Godoy, A.M.; Ruiz, A.S.; Manzano, J.C.; Araújo, L.M.B., Ruiz, A.S. 2007. Contexto geológico do magmatismo do Grupo Amoguijá, Suíte Intrusiva Alumiador e Vulcânica Serra da Bocaina, Maciço Rio Apa, sul do Cráton Amazônico – MS. *In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 11, Natal. Anais... Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 277-279 (a).
- Godoy, A.M; Manzano, J.C; Araújo, L.M.B; Silva, J.A. 2010. Suíte Vulcânica Serra da Bocaina, Grupo Amoguijá, Maciço Rio Apa – MS. *São Paulo, UNESP, Geociências*, **29**:571-587.
- Harris, N. B. W.; Perarce, J. A. & Tindle, A. G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *Geological Society, London, Special Publications*, **19**:67-81.
- Hasui, Y. & Almeida, F.F.M. 1970. *Geocronologia do centro-oeste brasileiro*. São Paulo. Sociedade Brasileira de Geologia, Boletim 19, 1-26 p.
- Hasui, Y., Haralyi, N. L., Schobbenhaus, C. 1984. Elementos Geofísicos e Geológicos da Região Amazônica: Subsídios para o Modelo Geotectônico. *In: Simpósio de Geologia da Amazonas*, 2, p. 129-147.
- Hasui, Y. & Almeida, F.F.M. 1985. The central Brazil shield reviewed. *Episodes*, **8**(1):29-37.
- Irvine, I. N. & Baragar, W. R. A. 1971. A Guide To The Chemical Classification Of The Common Volcanics Rocks. *Canadian Journal Earth Science*, **8**:523-548.
- Issler, R. S. 1977. Esboço geológico-tectônico do Cráton do Guaporé. *Rev. Bras. Geociências*, São Paulo, Rio de Janeiro, v.7, n.3, p.177-211.
- Kober, B., 1986. Whole-grain evaporation for  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 93, 482-490.
- Kober, B. 1987. Single grain evaporation combined with Pb emitter bedding  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  investigations using thermal ion mass spectrometry and implications to zirconology. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 96, 63-71.
- Lacerda Filho, J.W.; Brito, R.S.C.; Silva, M.G.; Oliveira, C.C. De, 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. de, Leterrier J., GrandClaude P., Marchal M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses. Its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, **29**(2):183-210.
- 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.
- Le Maitre R.W. 2002. *Igneous Rocks: a Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge, Cambridge University Press, 236 p.
- Litherland M. & Bloomfield K. 1981. The Proterozoic History of Eastern Bolivia. *Prec. Res.*, **2**:157-179.

- Brittes, A. F. N. 2012. Geologia, Petrologia e Geocronologia (Pb-Pb) da Formação Serra da Bocaina – Terreno Rio Apa - Sul do Cráton Amazônico
- Litherland, M., Annells, R.N., Appleton, J.D., Berrangé, J.P., Bloomfield, K., Burton, C.C.J., Darbyshire, D.P.F., Fletcher, C.J.N., Hawkins, M.P., Klinck, B.A., Llanos, A., Mithcell, W.I., O Connor, E.A., Pitfield, P.E.J., Power, G. E Webb, B.C. (Eds.) 1986. *The Geology and Mineral Resources of the Bolivian Precambrian Shield*. Her Majesty's Stationery Office, London, 140 p.
- Ludwig, K.R., 2001. Isoplot/Ex. rev., 2.49. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center, Special Publication 1A, 59p.
- Maniar P. D. & Piccoli P. M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **101**:635-643.
- Manzano, J.C.; Godoy, A.M.; Araújo, L.M.B. De; Silva, J.A. Da. 2008. Vulcanismo do Grupo Amoguijá, Suíte Serra da Bocaina, Maciço Rio Apa, Sul do Cráton Amazônico- MS. *In: SBG, Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados*, 4, CD-ROM.
- Medeiros, E.M. & Sousa, S.Q. 2008. Caracterização Geológica das Folhas SF21 XC e SF21 VD Província Rio Apa Extremo Sul do Cráton Amazônico Mato Grosso do Sul. Monografia de Conclusão de Curso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, 14 p.
- Nogueira, V.L.; Oliveira, C.C.; Figueiredo, J.A.; Corrêa Filho, F.C.L.; Scislewski, N.G.; Souza, M.R.; Moraes Filho, J.C.R.; Leite, E.A.; Souza, N.B.; Souza, J.O.; Cerqueira, N.L.S.; Vanderlei, A.A.; Takaschi, A.T.; Abreu Filho, W.; Rosito, J., Olivatt, I O.; Hausen, J.E.P.; Gonçalves, G.N.D.; Ramalho, R.; Pereira, L.C.B.. 1978. *Projeto Bonito - Aquidauana: Relatório Final*. DNPM/CPRM-DGM, Goiânia, v. 14.
- Petri, S., Coimbra, A.M., Amaral, G., Ojeda, H.O., Fúlfaro, V.J., Ponçano, V.L. 1986. Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, **4**:370-415.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**(4):956-983.
- Pearce J.A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, **19**:120-125.
- Ramos V. A., Vujovich G.I. 1993. The Pampia craton within western Gondwanaland. *Proc. Circum-Pacific & Circum-Atlantic Terrane Conf., 1st*, Guanajuato, Mexico: Univ. Nac. Autón. p. 113-16.
- Ramos, V. A. 2008. The Basement of the Central Andes: the Arequipa and related terranes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 36, p. 289-324.
- Ruiz, A. S. 2005. Evolução Geológica do Sudoeste do Cráton Amazônico Região Limítrofe Brasil-Bolívia – Mato Grosso. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 14-245p.
- Ruiz, A.S., Simões, L.S.A., Brito Neves, B.B. 2005. Maciço Rio Apa: extremo meridional do Cráton Amazônico. *In: SBG: Simp. Estudos Tectônicos*, 10, Curitiba, Anais, p. 301 – 304.
- Santos J. O. S., Hartmann L. A., Gaudette H. E., Groves D. I., McNaughton N. J., Fletcher I. R. A. 2000. New understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, **3**(4):453-488.

- Brittes, A. F. N. 2012. Geologia, Petrologia e Geocronologia (Pb-Pb) da Formação Serra da Bocaina – Terreno Rio Apa - Sul do Cráton Amazônico
- Schobbenhaus Filho, C. & Soares, L.A. 1979. Carta geológica do Brasil ao milionésimo. Folha Corumbá (SE. 21). Brasília, DNPM.
- Silva, E. L. 1998. Geologia da região da Serra da Alegria, extremo sul do Cráton Amazônico, município de Porto Murtinho - MS. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 147 p.
- Silva, M.G.; Brito, R.S.C.; Lacerda Filho, J.V. 2007. Rochas graníticas do complexo Rio Apa e da Suíte Amoguijá, Mato Grosso do Sul: evidências de terrenos acrescionários paleoproterozóicos, na porção sudoeste do cráton Amazônico. *In: Simpósio De Geologia Do Centro Oeste*, 10, Pirenópolis. Anais... Pirenópolis: Sociedade Brasileira de Geologia, CD-ROM.
- Stacey, J.S., Kramers, J.D., 1975. Approximation of terrestrial lead isotopic evolution by a two stage model. *Earth and Planetary Sciences Letters* 26, 207-221.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F. 1989. Chemical And Isotopic Systematics Of Oceanic Basalts: Implications For Mantle Composition And Process. *In: Saunders, A. D.; Norry, M. J. (eds). Magmatism In The Ocean Basins. Geological Society Special Publication*, 42, p.:313-345.
- Suszczynski, E.F. 1970. La géologie et La tectonique de la plateforme Amazonienne. *Geol. Rundschau, Stuttgart*, **59**(3):1232-1253.
- Tassinari, C. C. G. 1996. O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos. Tese (Livre-Docência). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 139p.
- Tassinari, C. C. G. 1981. Estudo geocronológico pelos métodos Rb/Sr e K/Ar em rochas da folha SE-21 Corumbá. Goiânia: RadamBrasil, (Relatório Interno RADAMBRASIL, 408-G). 20 p.
- Teixeira, W. 1978. Significação tectônica do magmatismo anorogênico básico e alcalino da região Amazônica. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 99 p.
- Teixeira, W., Tassinari, C.C.G., Cordani, U.G. & Kawashita, K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications. *Precambrian Research*, 42: 213 – 227p.
- Thieblemont, D. & Tegyey, Y. 1994. Geochemical discrimination of differentiated magmatic rocks attesting for the variable origin and tectonic setting of calc-alkaline magmas. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Series IIA, Earth and Planetary Science* 319, 87–94.
- Trompette, R. 1994. Geology of western Godwana: (2000-500 Ma) Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa. Rotterdam: A.A. Balkema, 350 p.
- Trompette, R.; Alvarenga, C. J. S.; Walde, D. 1998. Geological evolution of the Neoproterozoic Corumbá graben system (Brazil): depositional context of the stratified Fe and Mn ores of the Jacadigo Group. *Journal of South American Earth Sciences, Amsterdam*, v. 11, n. 6, p. 587-597.
- Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-Type Granites - Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **95**(4):407-419.
- 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.

Brittes, A. F. N. 2012. Geologia, Petrologia e Geocronologia (Pb-Pb) da Formação Serra da Bocaina – Terreno Rio Apa - Sul do Cráton Amazônico

Wiens, F. 1986. Zur lithostratigraphischen, petrographischen und strukturellen Entwicklung des Rio-Apa Hochlandes, Nordost Paraguay: Clausthal, Geologisches Institut der Technischen Universität Clausthal, Clausthaler Geowissenschaftliche, Ph. D. dissertation, 19, 280 p.



## **ANEXOS**

# ANEXO I

## GEOLOGIA, PETROLOGIA E GEOCRONOLOGIA (Pb-Pb) DA FORMAÇÃO SERRA DA BOCAINA: EVIDÊNCIAS DE UM ARCO MAGMÁTICO OROSIRIANO NO TERRENO RIO APA – EXTREMO SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO

Ana Flávia Nunes Brittes<sup>(1,4,5)</sup>, Maria Zélia Aguiar de Sousa<sup>(1,2,4,5)</sup>,  
Amarildo Salina Ruiz<sup>(1,3,4,5)</sup>

- (1) Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Ciências Exatas e da Terra - (ICET), Universidade Federal de Mato Grosso - (UFMT) - Avenida Fernando Corrêa, s/n, Bairro Coxipó. CEP: 78060-900. Cuiabá-MT, Brasil. E-mail: afbrittes@gmail.com
- (2) Departamento de Recursos Minerais, ICET, UFMT. E-mail: prof.mzaguiar@gmail.com
- (3) Departamento de Geologia Geral, ICET, UFMT. E-mail: asruiz@gmail.com
- (4) Grupo de Pesquisa em Evolução Crustal e Tectônica - Guaporé
- (5) Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Geociências da Amazônia (GEOCIAM)

**Resumo** Neste trabalho apresenta-se os resultados do mapeamento geológico e caracterização petrológica da Formação Serra da Bocaina, pertencente ao Arco Magmático Amoguijá do Terreno Rio Apa, sul do Cráton Amazônico. A Formação Serra da Bocaina, na serra da homônima, consiste de rochas vulcânicas paleoproterozóicas de composição intermediária a predominantemente ácida, classificadas como andesito e riolitos, subdivididas em cinco fácies petrográficas sendo quatro piroclásticas e uma efusiva, que mantêm contato tectônico, a leste, com o Granito Carandá. Nas rochas estudadas estruturas tectônicas são formadas em duas fases deformacionais compressivas de natureza dúctil e dúctil-rúptil, respectivamente. A primeira fase, mais intensa, é observada ao longo de toda a área estudada e é responsável pela Zona de Cisalhamento Santa Rosa enquanto a segunda fase é mais discreta e localizada. O tratamento geoquímico indica que essas rochas foram geradas num ambiente de arco-vulcânico a partir de um magmatismo cálcio-alcálico de médio a alto-K, peraluminoso. Estas rochas retratam um evento magmático extrusivo, de natureza explosiva, relacionado à evolução do Arco Magmático Amoguijá, conforme resultado Pb-Pb em zircão de  $1879 \pm 4$  Ma., interpretada como idade de cristalização destas rochas.

Palavras-Chave: Cráton Amazônico, Formação Serra da Bocaina, Geoquímica, Geocronologia

**Abstract** *GEOLOGY, PETROLOGY AND GEOCHRONOLOGY (Pb-Pb) OF SERRA DA BOCAINA FORMATION: EVIDENCE OF A OROSIRIANO AMOGUIJÁ MAGMATIC ARC IN THE RIO APA TERRAIN, EXTREME SOUTH OF THE AMAZONIAN CRATON.* This work presents the results of the geologic mapping and the petrological characterizations of the Serra da Bocaina Formation belonging to the Amoguijá Magmatic Arc of the Rio Apa Terrain, in the south of the Amazonian Craton. In the Bocaina hill, the Serra da Bocaina Formation consists of the paleoproterozoic intermediate to predominantly acid volcanic rocks compositions, classified as andesites and riolites, subdivided in five petrographic facies being four volcanoclastics and only one of effusive characteristics, with to carry on tectonic contact with the Carandá Granite in the oriental portion. In the studied rocks, tectonic structures are generated in two deformational/compressive phases of the ductil and ductil-ruptil nature, respectively. The first, more intense, is observed all along the studied area and is responsible by the Santa Rosa Shear Belt while the second phase is more wise and localized. The geochemical study indicates characteristics of the calc-alkaline magmatism of medium to high K, peraluminous, generated in volcanic arc environment. These rocks portray an extrusive magmatism of the explosive nature, related to the

evolution of the Amoguijá Magmatic Arc as result Pb-Pb zircon age of  $1879 \pm 4$  Ma, interpreted as crystallization age of these rocks.

Keywords: Amazonian Craton, Serra da Bocaina Formation, Geochemical, Geochronology

## INTRODUÇÃO

O Terreno Rio Apa compreende um segmento crustal paleoproterozóico exposto em área restrita do sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul na divisa com o Paraguai. É limitado a leste por rochas pelítico-carbonáticas do Grupo Corumbá e é recoberto, a oeste, por sedimentos cenozóicos da Bacia do Pantanal.

O Arco Magmático Amoguijá é composto pelas rochas plutônicas da Suíte Intrusiva Alumiador e por rochas efusivas e piroclásticas da Formação Serra da Bocaina. Dados U-Pb SHRIMP em zircão indicaram idade de 1794 Ma para as rochas vulcânicas e 1867 Ma para os equivalentes intrusivos (Lacerda Filho *et al.* 2006).

A Formação Serra da Bocaina está localizada nas proximidades do município de Porto Murtinho-MS e guarda importantes registros geológicos da evolução tectônica e magmática do período Orosiriano. Este trabalho tem como objetivo, a partir do mapeamento geológico na escala de 1:50.000, acompanhado dos estudos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos (Pb-Pb em zircão), colaborar para o entendimento do evento magmático responsável pela geração das unidades efusivas e piroclásticas da Formação Serra da Bocaina.

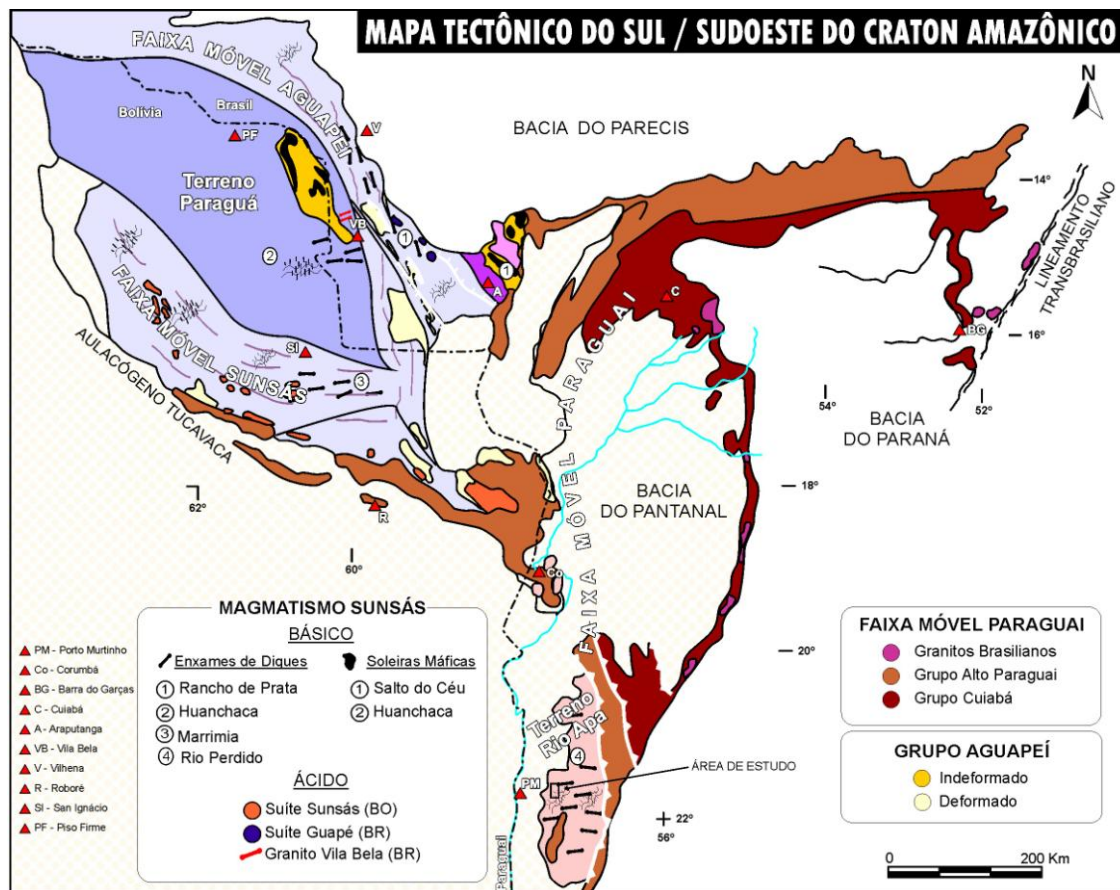
## CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo situa-se no Terreno Rio Apa, ao Sul do Cráton Amazônico, região que ultimamente vem sendo alvo de discussões quanto à sua origem, e quanto à questão de fazer parte, ou não, desse cráton. Os primeiros esboços do Cráton Amazônico (Almeida 1964; Hasui & Almeida 1970; Suszczynski 1970; Amaral 1974, 1984) apresentam o Terreno Rio Apa como pertencente ao mesmo. A partir dos modelos sugeridos por Cordani *et al.* (1979), Litherland & Bloomfield (1981) e Litherland *et al.* (1986), o Terreno Rio Apa foi descartado das reconstruções do Cráton Amazônico, estabelecendo-se a Faixa Tucavaca como o limite meridional desse cráton.

A descontinuidade física com as grandes entidades geotectônicas da Plataforma Sulamericana tem suscitado um debate sobre a correlação tectônica do Terreno Rio Apa. Enquanto Almeida (1964, 1978), Amaral (1974), Ruiz *et al.* (2005), Lacerda Filho *et al.* (2006) e Cordani *et al.* (2010) o posicionam no Cráton Amazônico; Ramos (2008) defende sua ligação com o Terreno Pampia (Argentina) e Ramos e Vujovich (1993) defendem que se trata de uma extensão do Cráton Rio de La Plata.

Ruiz (2005) sugere que o Terreno Rio Apa é parte integrante do Cráton Amazônico (Fig. 1), baseando-se nos seguintes argumentos: (i) o Grupo Cuiabá e as demais unidades do Cinturão Paraguai exibem continuidade física desde Nova Xavantina (MT) até a Serra da Bodoquena (MS) e o Paraguai; (ii) a deformação na Faixa Tucavaca é caracterizada por uma fraca compressão geradora de amplas

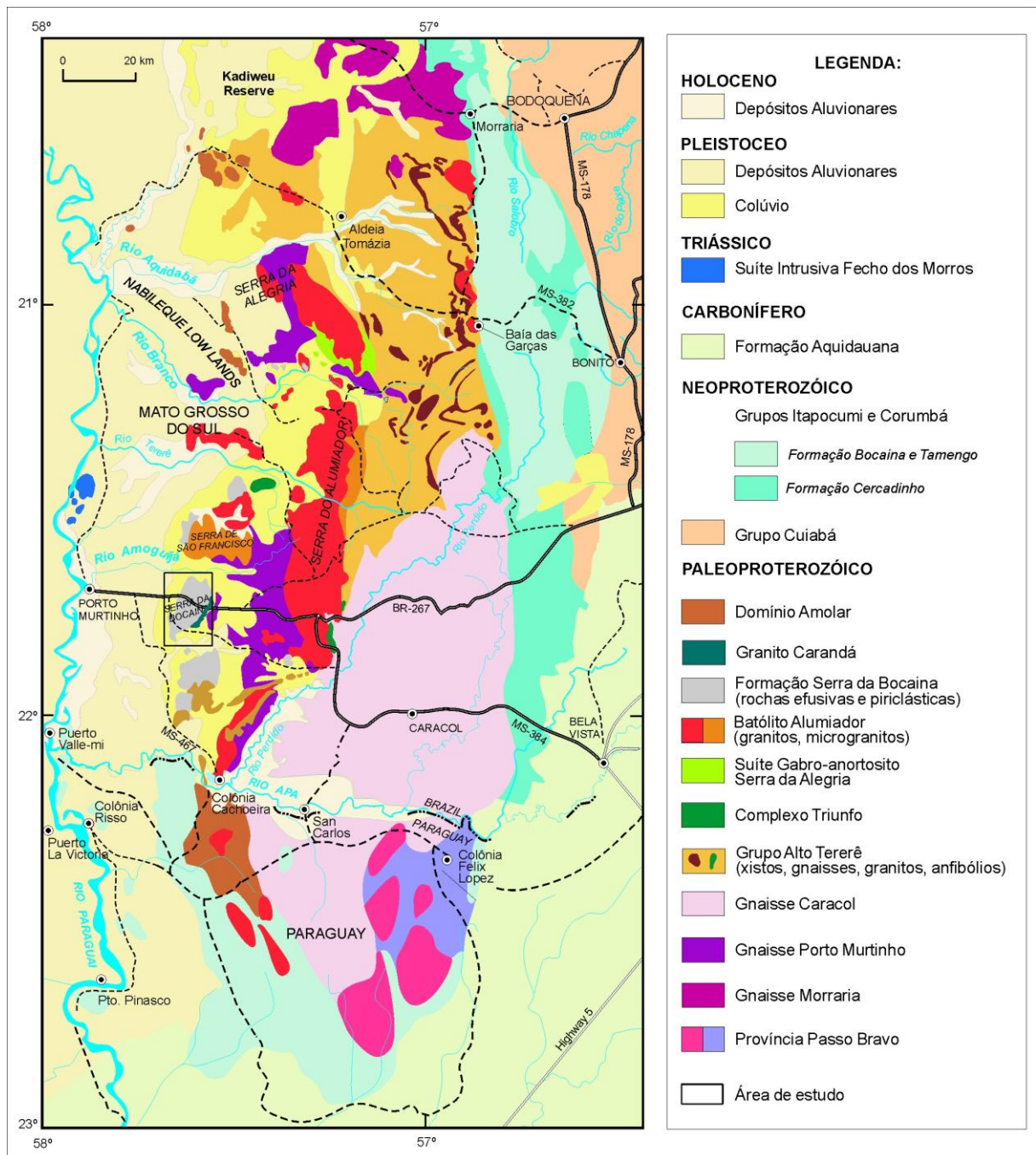
ondulações e discretos cavalgamentos; (iii) na correlação estratigráfica entre as unidades da Faixa Tucavaca (Grupos Boqui, Tucavaca e Murciélagos) e as unidades da Faixa Paraguai, no SW do Brasil (Grupos Jacadigo e Alto Paraguai); (iv) e que o Cráton Amazônico, em toda a sua extensão, comportou-se como uma margem continental passiva, durante a deposição de parte da Faixa Paraguai.



**Figura 1.** Mapa tectônico do Sul/Sudoeste do Cráton Amazônico (Extraído de Ruiz *et al.* 2010b).

Com base em características geológicas, geoquímicas e geocronológicas, Lacerda Filho *et al.* (2006) apresentaram uma compartimentação tectônica para o Terreno Rio Apa, subdividindo-o em três ambientes tectônicos distintos: Remanescente de Crosta Oceânica (2,2 a 1,95 Ga), Arco Magmático Rio Apa (1,95 a 1,87 Ga) e Arco Magmático Amoguijá (1,87 a 1,75 Ga).

O Arco Magmático Amoguijá constitui um conjunto plutono-vulcânico de natureza ácida, composto pela Suíte Intrusiva Alumiador e pelas Vulcânicas Serra da Bocaina (Fig. 2). Neste trabalho será utilizada a denominação Formação Serra da Bocaina (Brittes & Plens 2010, Brittes *et al.* 2010, 2011a, b e c), segundo os parâmetros estabelecidos pelo Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.* 1986), para designar as rochas piroclásticas e efusivas expostas nas Serras da Bocaina e São Francisco.



**Figura 2.** Esboço geológico do Terreno Rio no sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul (Brasil) e noroeste do Paraguai. (Extraído e modificado de Cordani *et al.* 2010).

Lacerda Filho *et al.* (2006), Godoy *et al.* (2010) e Cordani *et al.* (2010) descrevem a Suíte Intrusiva Alumiador, como um batólito alongado segundo a direção N-S apresentam predominantemente composição sienita monzogranítica e são constituídos por rochas leucocráticas de coloração variando de cinza a rosa, isotrópicas a fracamente anisotrópicas.

A Formação Serra da Bocaina segundo Araújo *et al.* (1982), Godoi *et al.* (2001), Lacerda Filho *et al.* (2006) e Godoy *et al.* (2010) são constituídas por riolitos, riolacitos e dacitos, com intercalações de rochas piroclásticas e brechas vulcânicas e horizontes de lava sem evidências de

fluxo. Além das rochas vulcânicas, a unidade também contém corpos subvulcânicos, representados por microgranitos e micromonzonitos (Lacerda Filho *et al.* 2006).

Esta unidade é dividida em três segmentos principais: o segmento norte, denominado de Serra de São Francisco, e o segmento central, de maior expressão é denominado de Serra da Bocaina e, que se estende para o segmento sul, também com a mesma designação, aproximando-se das ocorrências da Suíte Intrusiva Alumiador na Serra da Esperança nas proximidades do Rio Apa.

Datações U-Pb SHRIMP em zircão obtidas em amostra de monzogranito porfirítico da Suíte Intrusiva Alumiador indicaram idade de 1867 Ma e em amostras de riódacito da Suíte Vulcânica Serra da Bocaina forneceram idade de 1794 Ma (Lacerda Filho *et al.* 2006).

Dados isotópicos Sm-Nd em rocha total, revelaram idade modelo (TDM) da Suíte Intrusiva Alumiador de 2,17 Ga e de rochas vulcânicas de 2,26 Ga, os quais apresentam valores de  $\epsilon_{Nd(T)}$  levemente negativos, em torno de -0,68 e -2,0, respectivamente (Lacerda Filho *et al.* 2006).

Datações Rb-Sr em rocha total realizadas nas rochas vulcânicas forneceram a idade de  $1.650 \pm 63$  Ma (isócrona de referência), com valor inicial de Sr baixo ( $^{87}Sr/^{86}Sr = 0,702 \pm 0,004$ ) e para os granitóides, uma idade Rb-Sr (RT) de  $1.600 \pm 40$  Ma. (isócrona de referência), com razão  $^{87}Sr/^{86}Sr$  de  $0,707 \pm 0,004$  (Araújo *et al.* 1982). Determinações Rb-Sr apresentadas por Cordani *et al.* (2005), para granitóides da Suíte Intrusiva Alumiador, indicaram idades variando entre 1650 a 1700 Ma.

Resultados Ar-Ar e K-Ar apresentados por Cordani *et al.* (2010) em diversas unidades litoestratigráficas que constituem o Terreno Rio Apa indicam valores em torno de 1300 Ma.

**Tabela 1.** Quadro sinóptico dos resultados isotópicos disponíveis para as rochas do Arco Magmático Amoguijá.

Unidades do Arco Magmático Amoguijá	U-Pb (Ma)	Sm-Nd (TDM)	$\epsilon_{Nd(T)}$	Rb-Sr (Ma)	Ar-Ar (Ma)
Formação Serra da Bocaina	1794 (b)	2.26 Ga (b)	-2,0 (b)	$1650 \pm 63$ (a)	1300 (c)
Suíte Intrusiva Alumiador	1867 (b) 1839 $\pm$ 33 (c)	2.17 Ga (b)	-0,68 (b)	$1600 \pm 40$ (a)	1300 (c)

Referências: (a) Araújo *et al.* (1982), (b) Lacerda Filho *et al.* (2006), (c) Cordani *et al.* (2010).

## ASPECTOS DE CAMPO

As rochas da Formação Serra da Bocaina fazem contato a leste com o Granito Carandá (Brittes & Plens 2010), a norte, sul e oeste com os sedimentos inconsolidados da Formação Pantanal (Fig. 3). O Granito Carandá faz contato tectônico, a leste, com as rochas efusivas e piroclásticas da Formação Serra da Bocaina. Esta intrusão é constituída por Biotita Sienogranitos com textura inequigranular média, foliados a maciços, sendo composto por rochas leucocráticas, de cor cinza-esverdeado e constituída por microclina, plagioclásio, quartzo e concentrações de máficos, tendo biotita como único máfico essencial primário.

O mapeamento geológico e a análise petrográfica realizados permitiram a identificação de cinco fácies petrográficas na área estudada (Fig. 3), sendo uma efusiva (fácies 5) e quatro piroclásticas: Brecha Ignimbrítica (fácies 1), Ignimbrito Rico em Cristais (fácies 2), Tufo Co-ignimbrítico (fácies 3) e Reoignimbrito (fácies 4).

A Fácies Brecha Ignimbrítica da Formação Serra da Bocaina domina a parte mais elevada e central da Serra da Bocaina, englobando lentes/camadas e fragmentos de Tufo Co-ignimbrítico (Fig. 3). Esta fácies mantém contato tectônico, em zona de cisalhamento dúctil, com o Granito Carandá e as duas unidades encontram-se parcialmente recobertas, em discordância, pelos sedimentos da Formação Pantanal. As rochas desta fácies apresentam cores acinzentadas, esverdeadas, avermelhadas e arroxeadas e são caracterizadas pela grande quantidade de fragmentos líticos de tamanhos, formas e composições variadas. Os fragmentos apresentam-se elipsoidais, arredondados e angulosos, com contatos abruptos a irregulares, tamanhos que variam de 0,3 a 15,0 cm, alguns são constituídos de fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino e, às vezes amígdalas preenchidas. São identificados fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino imersos em matriz de tamanho cinza fina a grossa. Os cristaloclastos essenciais identificados nesta fácies são de mesma composição dos fenocristais.

Os Ignimbritos Ricos em Cristais ocupam a porção nordeste e sudeste da área estudada, com aproximadamente 15 km de comprimento por 1km de largura (Fig. 3), aflorando em forma de blocos *in situ* e lajedos e mantendo contato abrupto a leste e oeste com as rochas da fácies 1. Apresentam cor cinza-escuro, fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino imersos em matriz cinerítica fina. Os cristaloclastos, quando identificáveis a olho nu, são de quartzo e plagioclásio, com dimensões sempre inferiores a 1,0mm, os púmices e *flammas* são dificilmente perceptíveis em amostras macroscópicas.

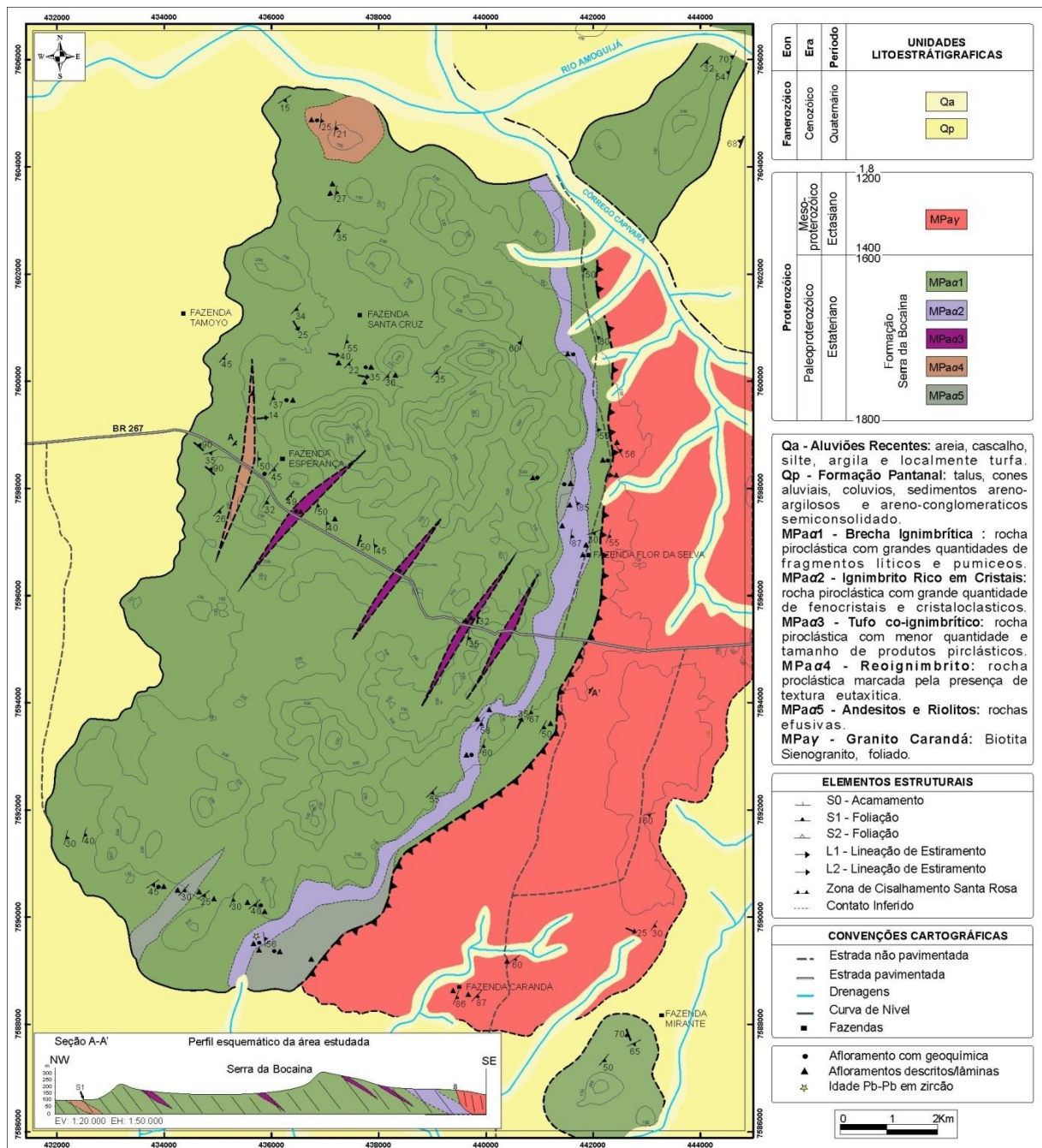
A Fácies Tufo Co-ignimbrítico ocorre em forma de lentes/camadas na porção central da serra (Fig. 3) e constituem fragmentos da fácies 1, exibindo contatos abruptos com a mesma. As lentes/camadas afloram em cortes de estradas com espessuras variando entre 2,5 cm e 1 m configurando uma estrutura homoclinal com mergulhos para SE, enquanto os fragmentos apresentam-se com formas variadas e dimensões entre 0,5 e 25 cm. As rochas dessa fácies apresentam cores esverdeadas a esbranquiçadas, quando alteradas, e diferenciam-se das outras fácies pela menor quantidade e tamanho dos fenocristais/cristaloclastos e produtos piroclásticos que não são identificados à vista desarmada.

Os Reoignimbritos ocorrem em duas porções distintas da área estudada, uma a norte e outra a oeste (Fig. 3) e afloram em pequenos lajedos. Estas rochas apresentam cor cinza-escuro tendo paragênese formada essencialmente por quartzo e plagioclásio e, subordinadamente, feldspato alcalino. Os litoclastos têm composição semelhante aos da fácies 1 com proporções e dimensões inferiores (entre 0,3 e 2,0 mm). Os cristaloclastos observados são de mesma composição dos

fenocristais, com dimensões de aproximadamente 1,0 mm. Os produtos piroclásticos, tais como, púmices e *ffammes*, como nas outras fácies, são de difícil identificação em amostras macroscópicas.

A fácies 5, correspondente as lavas andesíticas e riolíticas, afloram em duas porções distintas da área estudada, definindo um relevo arrasado na Serra da Bocaina (Fig. 3). Uma porção menor disposta na parte central da serra e outra situada ao sul, apresentando-se parcialmente recoberta pelos sedimentos da Formação Pantanal. Caracteriza-se por cor vermelho-alaranjado a cinza-esverdeado em amostras alteradas hidrotermalmente, ricas em epidoto, bem como, pela textura porfirítica a glomeroporfirítica com matriz de tamanho cinza fina a cinza grossa. Destacam-se cristais bem formados de dimensões sub-milimétricas de plagioclásio, por vezes, substituído por epidoto, bem como de quartzo, anfibólio e, mais raramente, feldspato alcalino. Todas as amostras coletadas na porção sul da área evidenciam atuação de processos hidrotermais pervasivos, tais como, epidotização, cloritização e saussuritização.





**Figura 3.** Mapa geológico e perfil esquemático da Formação Serra da Bocaina, Porto Murtinho - MS.

## PETROGRAFIA

Do ponto de vista petrográfico, as rochas da fácies 1 (Brecha Ignimbrítica) da Formação Serra da Bocaina são caracterizadas pela grande quantidade de fragmentos líticos e pumiceos, cristaloclastos, pumices, *fiammes*, *shards* e cristaltos de variadas dimensões e composições, que se encontram imersos em uma matriz cinerítica fina, de natureza felsítica, com diversos graus de alteração. Foram identificados também fenocristais de plagioclásio, quartzo e, subordinadamente, feldspato alcalino, tendo como principal máfico a biotita de alta temperatura. As fases de alteração estão representadas por sericita, epidoto/clinozoizita, calcita, argilominerais e clorita; enquanto as acessórias por allanita, zircão, apatita e opacos. A biotita é caracterizada por hábito acicular/fibroso a

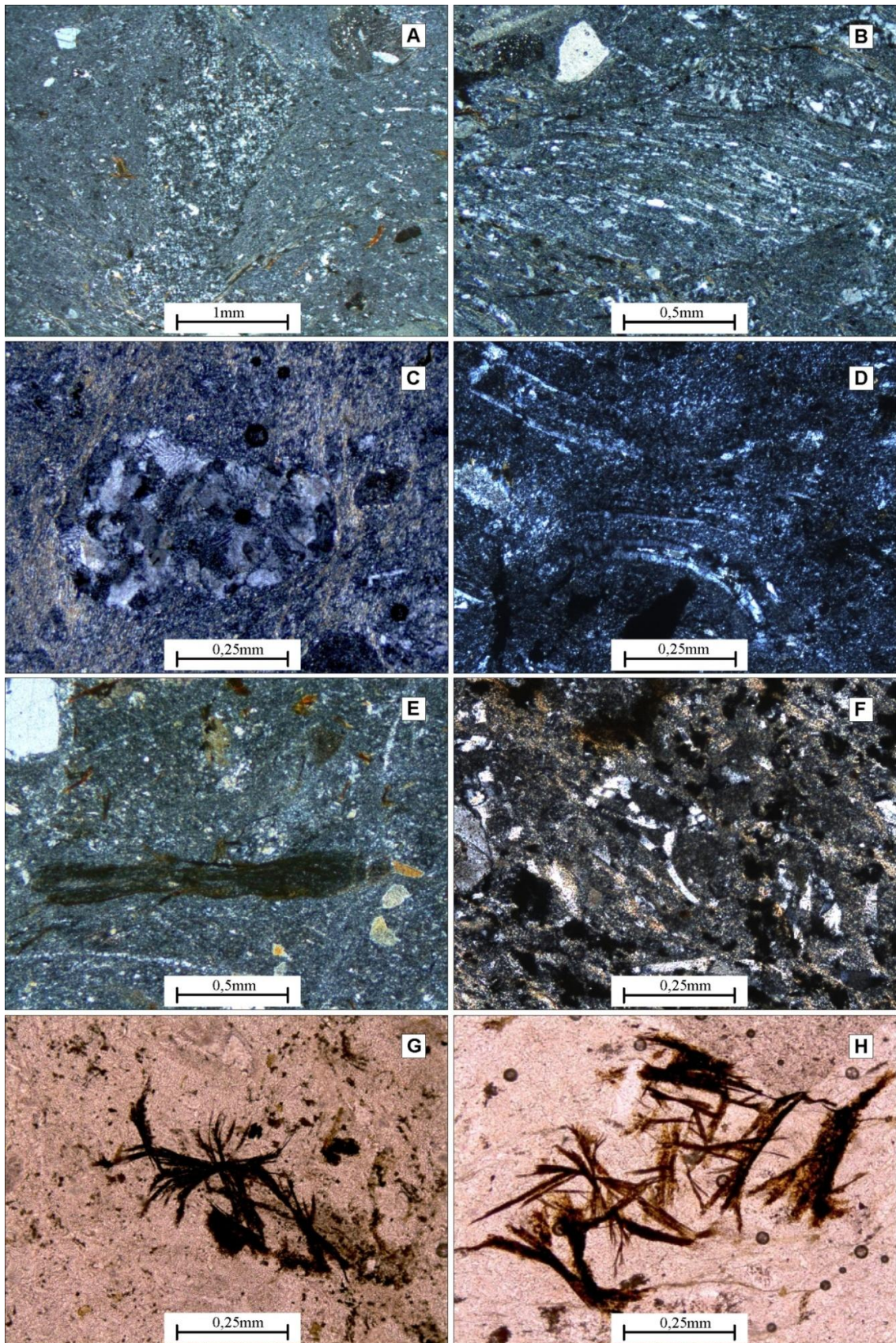
fibrorradiado, ou por pequenas palhetas disseminadas pela matriz (Fig. 4H) ou plaquetas formando agregados juntamente com clorita e vidro. A allanita apresenta-se euédrica, isotrópica, metamíctica, sendo parcialmente substituída por epidoto. Observam-se também produtos de devitrificação tanto na mesóstase quanto nos litoclastos e púmices, bem como venulações/fraturas preenchidas por sílica. Os fragmentos líticos apresentam-se de formas arredondadas ou angulosas a alongadas, com contornos variados, dimensões milimétricas a centimétricas, maiores do que os púmices e são geralmente compostos por uma mesóstase felsítica, fenocristais, biotita, opacos, vidro e produtos de devitrificação, como esferulito, axiolito, cristalitos e feldspatos gráficos. Podem representar termos cognatos de composição similar à da rocha caracterizando porções do mesmo magma o que permite a utilização do termo acessório lítico (Fig. 4A), bem como, não apresentar semelhança com a rocha, correspondendo aos fragmentos líticos acidentais. Os fenocristais são euédricos, subédricos a anédricos com dimensões entre 0,2 e 2,5 mm apresentando graus diferentes de alteração, fraturamento, embaiamento e golfos de corrosão preenchidos pela matriz ou por vidro. Em algumas amostras, os fenocristais exibem-se totalmente fragmentados como consequência do processo extrusivo, bem como, de resfriamento e hidratação. O plagioclásio exibe geminações polissintéticas (albita e periclina) e complexa do tipo baveno, às vezes, de forma apenas reliquiar devido aos intensos processos de alteração hidrotermal, tais como, sericitização, saussuritização e argilização. Pode ocorrer límpido ou apenas como pseudomorfos preenchidos por epidoto, sericita, calcita, argilominerais, clorita e biotita. O quartzo é comum nesta fácies e apresenta-se embaiado evidenciando intensa corrosão magmática. Os feldspatos alcalinos mostram-se com geminações Carlsbad ou em grade caracterizando, respectivamente, ortoclásio e microclina, muitas vezes com intercrescimento gráfico a granofírico. Os cristaloclastos essenciais, identificados nesta fácies, apresentam-se angulosos a arredondados e consistem de plagioclásio, feldspatos alcalinos e quartzo comumente embaiados. Os púmices têm contorno bem definido, formas arredondadas, elipsoidais (Fig. 4B), achatados (Fig. 4C) ou alongados podendo ser identificados em seu interior *shards*, cristalitos, canalículas e fragmentos fibrosos; mostram-se, em geral, recristalizados por arranjos de feldspatos e quartzo, às vezes, gráfico ou granofírico, púmices-tubo (Fig. 4D) são comumente identificados. Os *fiammes*, que correspondem aos púmices colapsados, são frequentemente estirados e orientados (Fig. 4E), sendo identificados por cores mais escuras e um grau de achatamento maior devido às modificações que acompanham o processo de soldagem. As *shards* ocorrem, em geral, na matriz e nos fragmentos, com formas típicas em “X”, “Y” (Fig. 4F) e em *plates*. Observa-se vidro reliquiar marrom-escuro a preto em arranjo fibrorradiado disperso pela matriz (Fig. 4G) e nos litoclastos.

Os produtos de devitrificação envolvem crescimento de micrólitos fibrosos e estão representados por esferulitos do tipo axiolito compostos de cristais fibrorradiados desenvolvidos a partir de uma linha, *fan*, gravata borboleta e esféricos, bem como, estrutura *lithophiysae*.

A fácies 2 (Ignimbritos Ricos em Cristais) diferenciam-se, opticamente, pela grande proporção de fenocristais e cristaloclastos que atingem até 50% de sua composição (Fig. 5A), apresentando

menor percentual dos demais produtos piroclásticos já descritos, bem como, grande quantidade de clorita e carbonatos e ausência de biotita de alta temperatura. Seus fenocristais e cristaloclastos (Fig. 5B) são de mesma composição dos encontrados nas outras fácies ignimbríticas, porém com dimensões maiores, variando entre 0,5 e 4,0 mm e 0,2 e 0,5 mm, respectivamente.

O Tufo Co-ignimbrítico (fácies 3) caracteriza-se por partículas elutriadas do fluxo ignimbrítico e diferencia-se das outras fácies pela menor quantidade e tamanho dos fenocristais/cristaloclastos e produtos piroclásticos ( $\ll 0,1$  mm), mesóstase mais homogênea e ainda mais fina, ausência de biotita de alta temperatura, bem como, por apresentar foliação dada pelo arranjo paralelo de sericita (Fig. 5C).



**Figura 4.** Fotomicrografias das rochas da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) acessório lítico rico em esferulitos esféricos em matriz cinerítica fina; (B) púmice elipsoidal e cristaloclasto de quartzo; (C) púmice perpendicular à foliação dada pela disposição paralela de sericita; (D) púmices em

tubo em mesóstase vítrea a cinerítica; (E) *flamme* colapsado, biotita de alta temperatura e cristaloclastos em matriz cinerítica; (F) *shards* tipo “Y” e vidro; (G) vidro acicular marrom-escuro a preto; (H) biotita de hábito acicular a fibrorradiado e vidro. Polarizadores cruzados em A, B, C, D, E e F paralelos em G e H.

Os Reoignimbritos (fácies 4) são caracterizados por feições de fluxo pós-compactação de um ignimbrito soldado que permaneceu quente por tempo suficiente para deformá-lo ductilmente. A diferença marcante entre esta fácies e as demais é a presença de textura eutaxítica (Fig. 5D e E), púmices de formas elipsoidais e sigmoidais e grande quantidade de produtos de devitrificação. Os litoclastos e púmices têm composição semelhante à encontrada na fácies 1 com proporções e dimensões inferiores (entre 0,3 e 2,0 mm). Observa-se ainda nestas rochas deformação de caráter rúptil/dúctil, como microvenulações de aproximadamente 0,2mm perpendiculares à foliação, rompidas e deslocadas, ora dobradas, preenchidas por epidoto e, às vezes, sílica.

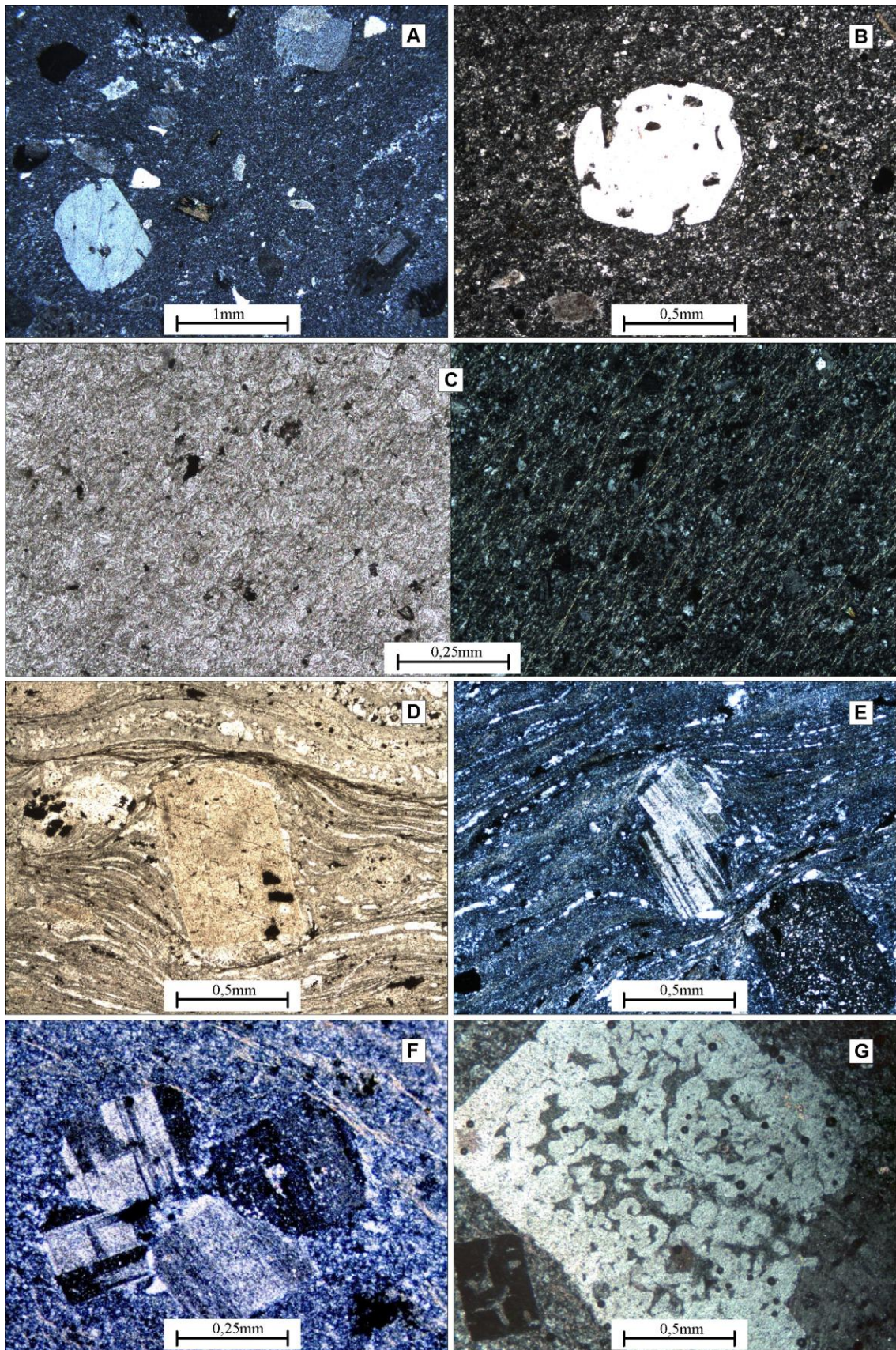
A fácies 5 corresponde às lavas que se caracterizam por textura porfirítica a glomeroporfirítica e composições andesíticas e riolíticas. Os fenocristais encontrados nos riolitos são de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, em geral, euédricos a subédricos, com evidências de intensa corrosão magmática, tais como, embaiamentos e golfos, imersos em uma matriz muito fina a fina de mesma composição tendo apatita, zircão e opacos como acessórios e sericita, epidoto/clinozoizita, clorita, argilo-minerais como fases de alteração.

Nos andesitos ocorrem fenocristais de anfibólio e, principalmente, de plagioclásio alterado a pseudomorfizado numa matriz muito fina com cloritização e sericitização pervasivas e pequena quantidade de minerais primários preservados, tais como, anfibólio e biotita; por vezes observa-se nesses últimos litotipos enclave microgranular acidental de composição mais ácida. O plagioclásio, nos riolitos, tem composição albítica e ocorre na matriz em minúsculos grãos ou cristalitos ou como fenocristais isolados e por vezes formando glômeros (Fig. 5F); são subédricos de hábito tabular, zonados, às vezes mirmequíticos, exibindo geminações albita e/ou periclina; localmente apresenta-se com grande quantidade de golfos de corrosão caracterizando textura em *sieve* (Fig. 5G). Nos andesitos, o plagioclásio encontra-se na matriz em ripas finas, por vezes descrevendo uma discreta textura de fluxo, intensamente sericitizadas bem como em fenocristais de composição coincidente com andesina, em geral geminados e zonados com maior grau de alteração no núcleo; comumente ocorre parcial a totalmente pseudomorfizado por uma associação de epidoto microgranular a fibrorradiado, clorita, sericita e calcita. O quartzo, nos riolitos, tanto se apresenta na matriz como em fenocristais embaiados, por vezes, recristalizado em mosaico, em venulações finas ou como intercrescimento vermicular no plagioclásio e feldspato alcalino formando texturas mirmequítica e gráfica, respectivamente. Nos andesitos, o quartzo é sempre uma fase secundária e pode ocorrer em grãos muito finos associados a epidoto e clorita, proveniente da transformação do plagioclásio. Os feldspatos alcalinos são fases comuns apenas nos riolitos sendo encontrados constituindo a matriz felsítica ou

como fenocristais, por vezes constituindo glômeros. Mostram-se sempre pertíticos e estão representados por cristais subédricos a anédricos de microclina com geminação em grade, bem como, pelo ortoclásio com macla Carlsbad, ambos parcialmente alterados para sericita e argilominerais.

O único máfico primário encontrado nos riolitos é a biotita, sendo observada em minúsculas palhetas dispersas na matriz ou em agregados de cristais fibrorradiados associados a opacos. Já os andesitos apresentam como máficos fenocristais euédricos a subédricos de anfibólio de cor marrom-esverdeado identificado como hornblenda, e grande quantidade de epidoto/clinozoizita e clorita tanto compondo a matriz como pseudomorfizando fenocristais de plagioclásio.

A fase hidrotermal é caracterizada nas rochas da Formação Serra da Bocaina por sericitização, epidotização, saussuritização, argilização e cloritização, enquanto o metamorfismo de fácies xisto-verde é identificado pela paragênese albita+epidoto+clorita.



**Figura 5.** Fotomicrografias das rochas da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) fenocristais, cristaloclastos e púmice imersos em matriz cinerítica fina; (B) fenocristal de quartzo com bordas e golfos de corrosão em litotipo de matriz de granulação maior; (C) foliação dada pela disposição

paralela de sericita e cristaloclastos; (D) fenocristal de plagioclásio envolto por textura eutaxítica e *fiammes*; (E) textura eutaxítica contornando cristal subédrico de plagioclásio turvo; (F) glômero de plagioclásio; (G) fenocristal de plagioclásio com golfos de corrosão caracterizando textura *sieve*. Polarizadores cruzados em A, B, E, F e G, paralelos em D e paralelos à direita e cruzados a esquerda em C.

## ANÁLISE ESTRUTURAL

A cartografia geológica de semi-detalhe da Formação Serra da Bocaina definiu um conjunto de estruturas tectônicas dúcteis e dúcteis-rúpteis, que podem ser agrupadas em duas fases de deformação distintas, designadas  $F_1$  e  $F_2$ .

Apesar do *imprint* tectônico-metamórfico há preservação de estruturas primárias reliquias ( $S_0$ ) principalmente caracterizadas por lentes/camadas centimétricas de Tufo Co-ignimbrítico intercaladas às Brechas Ignimbríticas. As lentes/camadas exibem mergulhos entre  $20^\circ$  e  $50^\circ$  para o quadrante SE e SEE (Fig. 6A) e fazem ângulo com a foliação  $S_1$ , cujos mergulhos concentram-se entre  $30^\circ$  e  $65^\circ$  para SE. As medidas de  $S_0$  apresentam uma máxima concentração em 100/30, sugerindo um arranjo do tipo homoclinal, com discretas ondulações produzidas por redobramento.

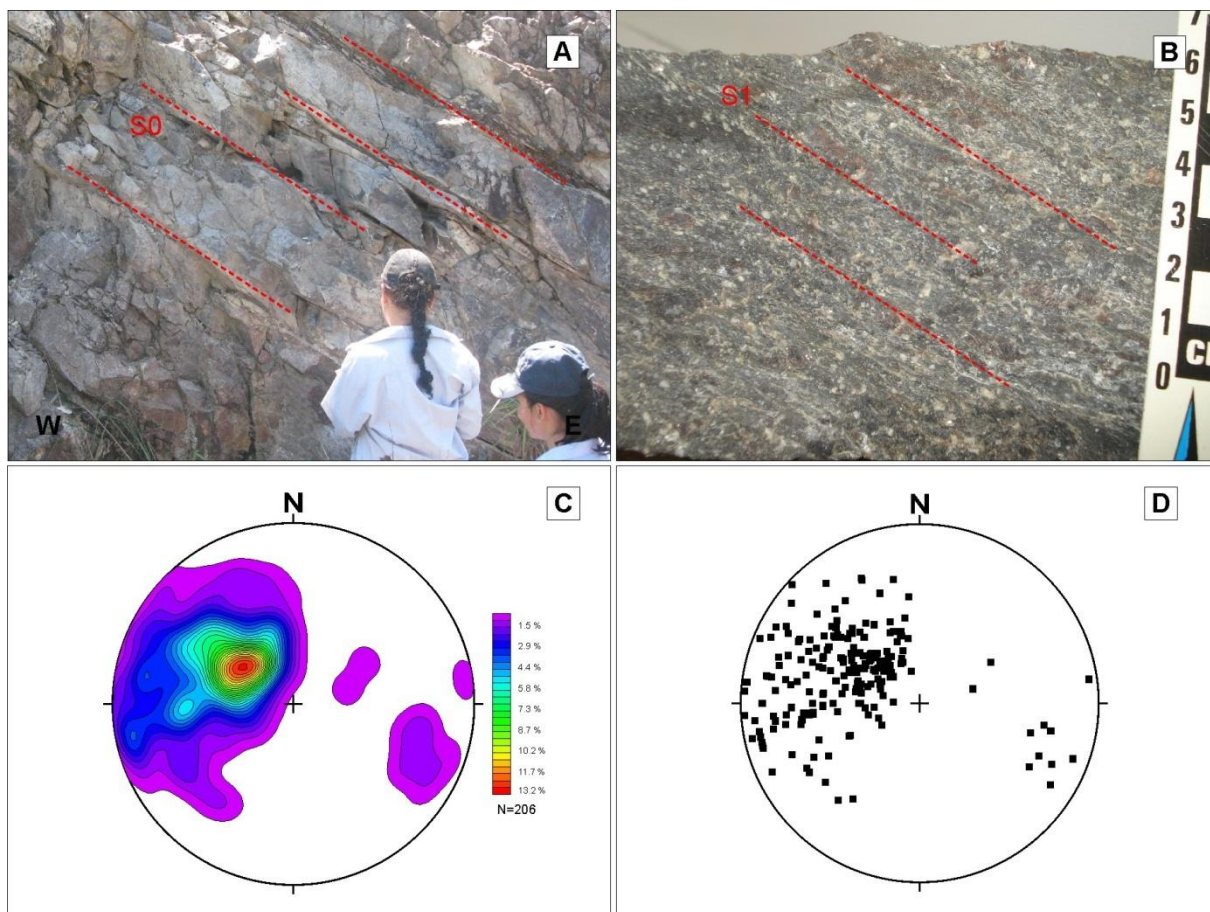
A primeira fase de deformação ( $F_1$ ), evento mais antigo e intenso, é observada em toda a extensão da Serra da Bocaina, tanto nos litotipos piroclásticos como nos efusivos, e é responsável pelo desenvolvimento da foliação penetrativa  $S_1$ . Na Formação Serra da Bocaina a foliação  $S_1$  é representada por xistosidade nas rochas das fácies 1 (Fig. 6B), 2, 4 e 5 e por uma clivagem do tipo ardosiana nas da fácies 3 (Fig. 7A). Associa-se à fase de deformação  $F_1$ , a implantação da zona de cisalhamento dúctil Santa Rosa, que coloca em contato o Granito Carandá com as rochas da fácies 1 e efusivas da Formação Serra da Bocaina.

A foliação  $S_1$  é definida pela recristalização orientada de minerais placóides, principalmente a sericita, que forma filmes orientados segundo o plano de foliação, assim como o achatamento e rotação dos cristaloclastos da matriz e dos fenocristais de quartzo, plagioclásio e feldspatos alcalinos (Fig. 7B).

O estereograma para pólos da foliação  $S_1$  aponta para um máximo em torno de 120/40 e uma dispersão de medidas entre 030/35 e 150/70 (Fig. 6C e D), provavelmente um reflexo dos dobramentos da segunda fase de deformação  $F_2$ .

As lineações  $L_1$  (mineral e estiramento) são definidas pelo alongamento dos fenocristais e dos fragmentos líticos. As medidas de  $L_1$  mostram atitudes que variam de 030/35 e 150/20.





**Figura 6.** Figuras ilustrando: (A) lentes/camadas de fácies 3 em corte vertical na Serra da Bocaina, rodovia BR-267; (B) foliação  $S_1$  evidenciada por fenocristais, cristaloclastos e fragmentos estirados e orientados das rochas da fácies 1; (C) e (D) estereogramas da foliação penetrativa  $S_1$  para rochas da Formação Serra da Bocaina, diagramas de isofrequência e pólos, respectivamente.

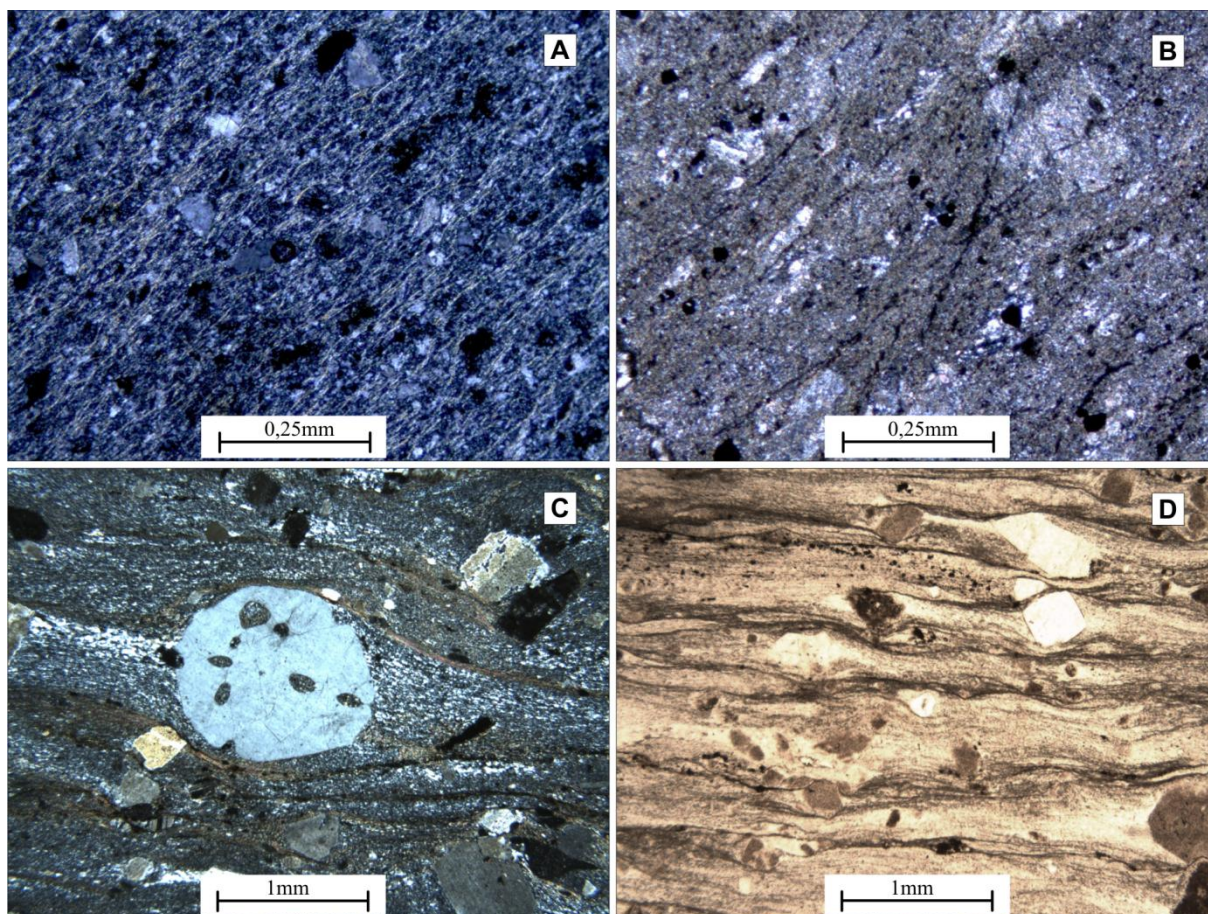
A Zona de Cisalhamento Santa Rosa situa-se na borda leste da Serra da Bocaina e caracteriza-se por uma faixa contínua e anastomosada de deformação dúctil observada no Granito Carandá e na fácies 2 da Formação Serra da Bocaina. Os milonitos gerados na Formação Serra da Bocaina são caracterizados pela orientação preferencial da matriz, achatamento e rotação de porfiroclastos (Fig. 7C), cristaloclastos e fragmentos líticos. A foliação milonítica (Fig. 7D) exibe atitude média de 085/80, semelhantemente à atitude da lineação de estiramento (088/80), indicando um movimento típico de rampa frontal.

Os indicadores cinemáticos observados em campo e em seções delgadas apontam para um movimento do tipo reverso, com transporte de topo para NWW, ou seja, a Zona de Cisalhamento Santa Rosa coloca tectonicamente o Granito Carandá sobre as rochas piroclásticas e efusivas da Formação Serra da Bocaina, ao longo de uma rampa reversa frontal.

O segundo evento deformacional ( $F_2$ ), de menor intensidade, é caracterizado pela geração de dobras na foliação  $S_1$ . As microdobras são abertas, simétricas a discretamente assimétricas, orientadas na direção NNW/SSE, com fraca vergência para NW.

A foliação  $S_2$  é representada principalmente por uma clivagem de crenulação ou clivagem disjuntiva com atitude média de  $220/90$ , ambas relacionadas ao plano-axial das micro e mesodobras  $D_2$ . A lineação de intersecção  $L_2$  apresenta atitude  $110/45$  e corresponde ao eixo das dobras  $D_2$ .

A Formação Serra da Bocaina exhibe metamorfismo de fácies xisto-verde, caracterizada pela paragênese albita + epidoto + clorita, relacionada à fase de deformação  $F_1$ , enquanto as feições de retrometamorfismo devem estar associadas à segunda fase de deformação  $F_2$ , desenvolvida em nível crustal raso.



**Figura 7.** Fotomicrografias das rochas da Formação Serra da Bocaina ilustrando: (A) clivagem ardosiana nas rochas da fácies 3; (B) fenocristais e fragmentos líticos orientados segundo a foliação  $S_1$ ; (C) fenocristal de quartzo arredondado com golfos de corrosão e sombra de pressão indicando o movimento da deformação  $F_1$ ; (D) foliação milonítica em rocha da fácies 2. Polarizadores cruzados em A, B e C e paralelos em D.

## GEOQUÍMICA

Para o tratamento litogeoquímico foram selecionadas vinte e quatro amostras de rochas da Formação Serra da Bocaina, sendo nove da fácies 1, quatro da fácies 2, quatro da fácies 3, duas da fácies 4, três da fácies 5 e duas de fragmentos líticos. É importante ressaltar que as amostras da Fácies Brecha Ignimbrítica foram tratadas, através de catação manual, buscando a separação dos fragmentos

sendo analisados, isoladamente, tanto eles quanto matriz. Após essa fase, todas as amostras foram tratadas no Laboratório de Preparação de Amostras do Departamento de Recursos Minerais da Universidade Federal de Mato Grosso (DRM - UFMT) e analisadas nos laboratórios da *Acme Analytical Laboratories (Acmelab)* - Vancouver/Canadá, por ICP-ES e ICP-MS, para elementos maiores, menores, traços incluindo terras raras (Tabela 2, 3 e 4). Foram calcinadas até peso constante para o cálculo de perda ao fogo e os elementos maiores e alguns menores foram recalculados, em base anidra, como recomendado pela IUGS (Le Maitre 2002).

A maioria dos litotipos das diferentes fácies definidas neste trabalho apresenta natureza ácida, relativa homogeneidade composicional e valores de SiO<sub>2</sub> variando entre 71,85 e 78,31 %. Apenas duas amostras de lava (AB26), de caráter intermediário, excetuam-se a esse padrão com teor de SiO<sub>2</sub> entre 60,38 e 60,62 %, correspondendo a andesito e acarretando um hiato composicional entre esses valores e 71,85% de sílica devido, provavelmente, a uma falta de amostragem e/ou de afloramento. As amostras de fragmentos líticos da Fácies Brecha Ignimbrítica são ainda mais ácidas com teores de SiO<sub>2</sub> em torno de 78%, mostrando-se, no entanto, e geoquimicamente semelhantes as outras piroclásticas.

Os diagramas de Harker das rochas da Formação Serra da Bocaina (Fig. 8) mostram padrões evolutivos bem definidos com correlações lineares negativas entre sílica e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>, (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>t</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e MnO devido ao empobrecimento progressivo em plagioclásio e em minerais máficos primários durante a diferenciação magmática, tais como hornblenda, biotita, ilmenita-magnetita, titanita e apatita. Os diagramas que envolvem os álcalis apresentam relativa dispersão resultante da maior mobilidade destes elementos durante a atuação de processos pós-magmáticos. Dentre os elementos traço apenas o Sr mostra correlação negativa com a sílica (Fig. 8) corroborando a idéia de fracionamento de plagioclásio.

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

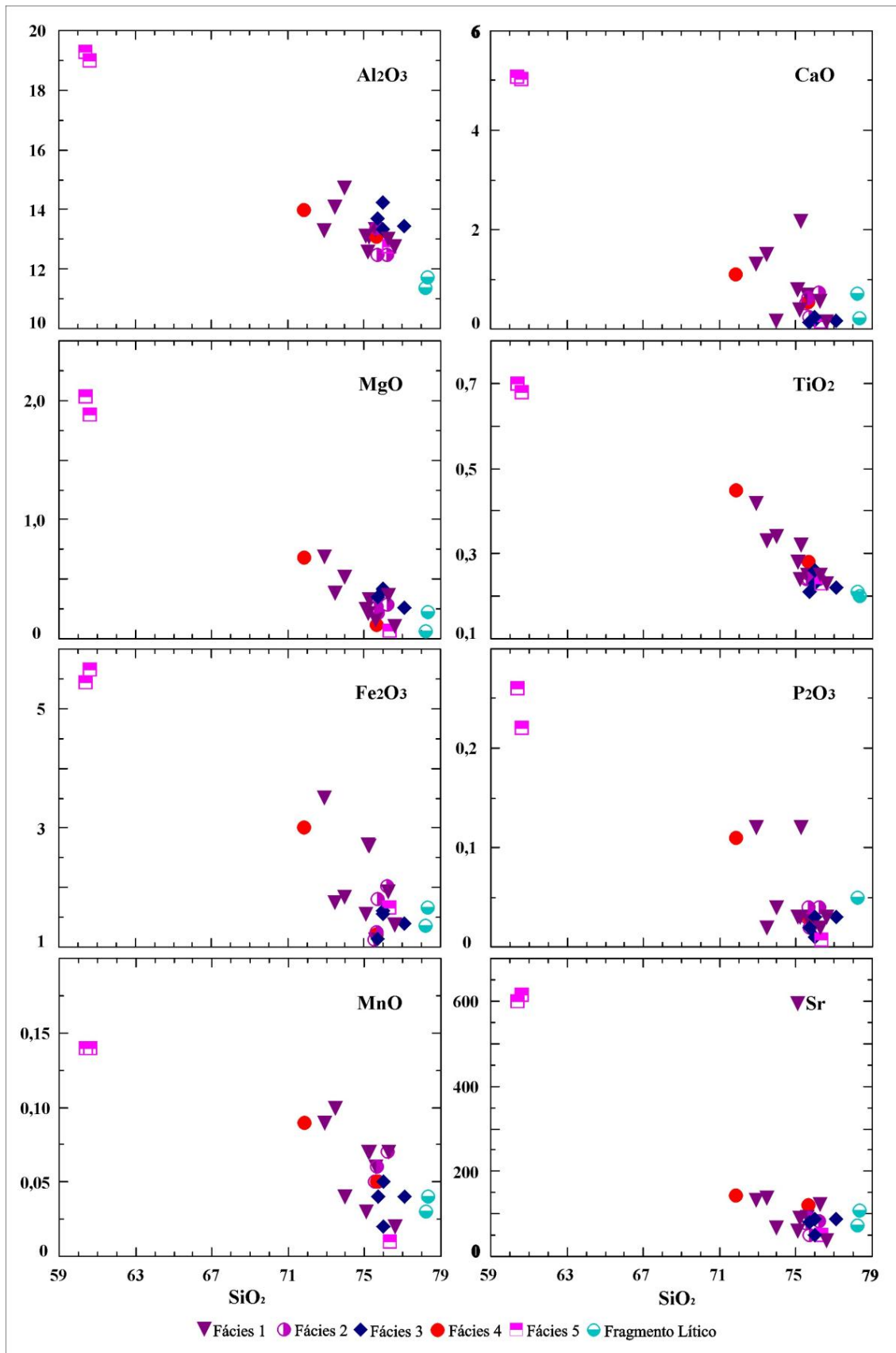
Amostras	AB26(1)	AB26	AD01	AD85	AD92	AD65	AD2/2M	AD32(2)
<b>Fácies</b>	5	5	4	1	1	1	1	1
<b>SiO<sub>2</sub></b>	60,38	60,62	71,85	72,9	73,46	73,97	75,10	75,18
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,70	0,68	0,45	0,42	0,33	0,34	0,28	0,24
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19,28	18,98	13,99	13,31	14,08	14,74	13,11	12,57
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5,44	5,65	3,01	3,51	1,75	1,84	1,55	2,72
<b>MnO</b>	0,14	0,14	0,09	0,09	0,10	0,04	0,03	0,07
<b>MgO</b>	2,03	1,88	0,68	0,69	0,39	0,52	0,25	0,22
<b>CaO</b>	5,08	5,04	1,09	1,32	1,51	0,12	0,79	0,39
<b>Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,51	4,75	4,60	3,58	3,07	4,15	5,07	3,85
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,95	1,79	3,91	3,90	4,98	4,00	3,60	4,48
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,26	0,22	0,11	0,12	0,02	0,04	0,03	0,03
<b>LOI</b>	2,80	2,50	1,40	2,40	2,40	1,30	1,30	0,70
<b>Total</b>	99,33	99,30	99,46	99,55	99,38	99,48	99,56	99,54
<b>Ba</b>	867	967	1299	1133	1393	1001	958	1491
<b>Be</b>	3	1	2	3	3	3	3	2
<b>Co</b>	15,50	44,10	86,20	3,50	98,20	34,40	0,40	1,40
<b>Cs</b>	3,40	3,80	2,20	2,10	3,90	1,90	3,40	1,30
<b>Ga</b>	17,90	19,90	15,80	14,70	17,10	19,50	14,50	13,90
<b>Hf</b>	3,60	4,10	6,40	6,00	7,10	8,20	7,20	5,60
<b>Nb</b>	5,00	6,20	10,60	9,90	11,80	12,60	11,30	12,10
<b>Rb</b>	53,30	57,90	114,20	131,00	169,30	175,20	152,00	140,80
<b>Sr</b>	614,90	599,00	143,40	133,50	137,70	67,10	61,70	91,90
<b>Ta</b>	0,30	0,40	0,90	0,60	1,00	1,00	1,10	0,80
<b>Th</b>	5,60	5,50	11,50	10,50	13,10	14,50	13,50	12,60
<b>U</b>	1,10	1,20	2,20	2,10	2,40	2,70	3,00	2,20
<b>W</b>	1,10	145,70	447,20	0,80	537,50	191,60	1,10	0,60
<b>Zr</b>	146,00	156,20	233,80	196,80	242,30	295,10	224,60	188,40
<b>Y</b>	14,30	15,80	29,70	29,50	45,70	37,80	37,90	28,60
<b>Pb</b>	-	2,40	15,60	-	16,10	17,30	11,90	-
<b>La</b>	23,40	24,50	44,20	44,90	75,10	58,60	53,10	44,70
<b>Ce</b>	47,20	51,50	92,30	83,70	105,90	78,50	112,00	90,80
<b>Pr</b>	5,74	6,03	10,73	10,43	15,47	13,07	12,81	10,64
<b>Nd</b>	23,8	23,70	41,60	40,90	60,50	51,50	47,30	42,80
<b>Sm</b>	4,06	4,41	7,25	7,41	9,93	8,92	8,68	7,45
<b>Eu</b>	1,23	1,26	1,67	1,67	2,04	1,89	1,72	1,53
<b>Gd</b>	3,30	3,73	5,90	6,38	8,61	7,64	7,68	6,06
<b>Tb</b>	0,55	0,55	0,89	0,96	1,27	1,18	1,07	0,96
<b>Dy</b>	2,83	2,96	5,09	5,17	7,21	6,64	6,35	5,44
<b>Ho</b>	0,53	0,56	1,00	1,14	1,45	1,26	1,13	1,06
<b>Er</b>	1,49	1,65	2,95	2,97	4,14	3,69	3,68	3,04
<b>Tm</b>	0,24	0,24	0,43	0,47	0,59	0,57	0,52	0,50
<b>Yb</b>	1,50	1,47	2,88	3,02	3,71	3,61	3,25	3,15
<b>Lu</b>	0,20	0,22	0,45	0,45	0,55	0,55	0,56	0,46
<b>Eu/Eu*</b>	1,03	0,95	0,78	0,74	0,67	0,70	0,64	0,70
<b>La/Yb</b>	11,19	11,95	11,00	10,66	14,52	11,64	11,72	10,18
<b>Ga/Al</b>	1,95	2,15	2,13	2,09	2,29	2,50	2,09	2,09

**Tabela 2.** Continuação.

Amostras	AB16	AD12	AD77	AD37	AD81	AB06	AD09(2)	AD43(1)
<b>Fácies</b>	1	2	1	4	2	2	3	3
<b>SiO<sub>2</sub></b>	75,24	75,56	75,57	75,65	75,67	75,70	75,70	75,98
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,32	0,24	0,25	0,28	0,24	0,25	0,21	0,26
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13,07	13,21	13,32	13,09	13,38	12,46	13,68	14,23
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,70	1,12	1,13	1,22	1,25	1,81	1,09	1,56
<b>MnO</b>	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	0,02
<b>MgO</b>	0,33	0,25	0,16	0,12	0,27	0,22	0,35	0,41
<b>CaO</b>	2,17	0,52	0,69	0,55	0,63	0,25	0,14	0,25
<b>Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,17	3,92	4,11	3,95	4,09	1,63	3,48	3,83
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,59	4,44	4,42	4,71	4,12	7,43	5,03	3,34
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,12	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03
<b>LOI</b>	1,00	0,80	1,00	0,40	1,30	0,80	1,60	1,50
<b>Total</b>	99,60	99,53	99,53	99,40	99,56	99,60	99,55	99,69
<b>Ba</b>	710	1346	1288	1575	1094	1105	1474	405
<b>Be</b>	<1	2	2	2	1	<1	3	4
<b>Co</b>	3,20	96,50	72,40	188,80	121,00	<0,20	117,00	0,70
<b>Cs</b>	2,10	0,80	1,90	1,40	1,50	2,10	3,60	1,80
<b>Ga</b>	11,60	14,70	16,20	12,50	14,60	16,10	14,00	18,40
<b>Hf</b>	4,20	5,30	6,00	7,50	5,50	6,70	6,50	6,00
<b>Nb</b>	6,20	11,10	13,70	12,00	10,60	13,70	11,00	10,90
<b>Rb</b>	52,90	143,80	147,60	130,10	120,80	195,40	158,00	134,60
<b>Sr</b>	594,60	77,90	94,10	120,10	89,70	49,80	80,10	51,60
<b>Ta</b>	0,50	1,00	1,00	1,30	1,00	1,10	1,20	0,80
<b>Th</b>	6,20	13,00	13,50	12,90	11,50	17,50	13,00	12,90
<b>U</b>	1,70	2,70	2,80	2,30	2,20	3,90	3,00	2,10
<b>W</b>	0,80	564,60	373,50	979,40	686,20	1,20	637,40	1,60
<b>Zr</b>	141,20	166,10	215,10	229,70	173,80	231,60	201,10	218,90
<b>Y</b>	10,70	32,60	33,40	33,20	30,90	49,10	31,60	25,50
<b>Pb</b>	-	17,00	27,30	11,10	17,60	4,70	6,60	-
<b>La</b>	30,30	40,90	49,70	50,40	42,80	49,80	61,40	41,30
<b>Ce</b>	58,20	86,70	104,40	101,0	82,90	100,40	102,40	80,10
<b>Pr</b>	6,42	10,22	11,73	12,12	10,31	11,96	14,55	9,16
<b>Nd</b>	25,80	39,30	44,90	47,40	40,80	43,00	52,90	35,00
<b>Sm</b>	3,77	7,19	8,01	8,17	7,16	9,07	8,56	5,82
<b>Eu</b>	0,93	1,29	1,75	1,78	1,21	1,60	1,58	1,39
<b>Gd</b>	2,89	5,97	6,75	6,72	5,85	8,29	5,90	4,38
<b>Tb</b>	0,41	0,97	1,04	1,05	0,89	1,43	0,98	0,75
<b>Dy</b>	2,24	5,45	5,81	5,75	4,92	8,86	5,36	4,36
<b>Ho</b>	0,45	1,10	1,17	1,14	1,01	1,51	1,04	0,97
<b>Er</b>	1,23	3,28	3,44	3,41	3,06	4,73	3,18	2,78
<b>Tm</b>	0,18	0,49	0,51	0,49	0,45	0,69	0,49	0,42
<b>Yb</b>	1,28	3,25	3,28	3,18	2,95	3,87	3,24	3,12
<b>Lu</b>	0,19	0,49	0,50	0,49	0,47	0,67	0,50	0,42
<b>Eu/Eu*</b>	0,86	0,60	0,72	0,73	0,57	0,56	0,67	0,84
<b>La/Yb</b>	16,98	9,02	10,87	11,37	10,41	9,23	13,59	9,50
<b>Ga/Al</b>	1,68	2,10	2,30	1,80	2,06	2,44	1,93	2,44

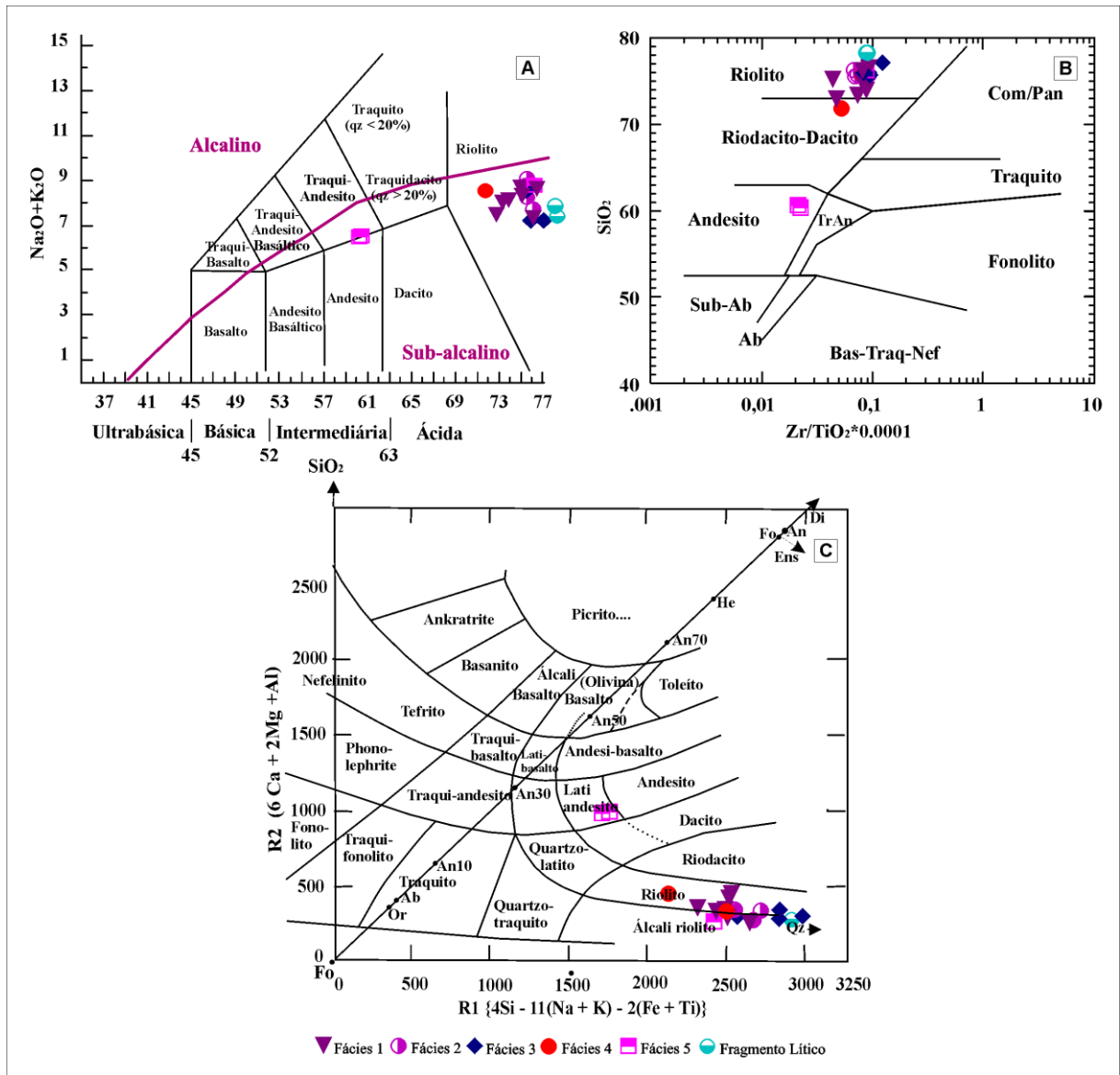
**Tabela 2.** Continuação.

Amostras	AB25	AD9M	AD28	AD43	AD09(3)	AD10(10)	AD2/2F	AD09F
<b>Fácies</b>	2	1	5	1	3	3	Fragmento Lítico	Fragmento Lítico
<b>SiO<sub>2</sub></b>	76,20	76,25	76,32	76,59	76,70	77,11	78,23	78,31
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,24	0,25	0,23	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	12,49	13,01	12,76	12,78	13,34	13,43	11,35	11,74
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,02	1,93	1,66	1,38	1,61	1,40	1,37	1,66
<b>MnO</b>	0,07	0,07	0,01	0,02	0,05	0,04	0,03	0,04
<b>MgO</b>	0,29	0,37	0,05	0,11	0,42	0,26	0,03	0,23
<b>CaO</b>	0,73	0,57	0,07	0,07	0,17	0,11	0,71	0,22
<b>Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,78	2,04	4,58	3,32	2,98	4,31	1,55	4,15
<b>K<sub>2</sub>O</b>	3,94	5,31	4,19	5,33	4,25	2,94	6,26	3,30
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,04	0,02	<0,01	0,03	0,01	0,03	0,05	<0,01
<b>LOI</b>	1,40	1,20	0,70	0,50	1,70	1,50	0,40	0,70
<b>Total</b>	99,61	99,60	99,64	99,66	99,54	99,68	99,62	99,66
<b>Ba</b>	998	1455	739	844	1032	1074	2216	893
<b>Be</b>	<1	4	1	2	2	3	2	3
<b>Co</b>	1,00	1,30	0,50	0,50	75,50	0,70	0,80	1,40
<b>Cs</b>	1,50	3,40	0,70	1,60	3,80	1,50	3,20	2,10
<b>Ga</b>	13,50	15,10	12,90	12,40	17,40	15,10	8,20	11,10
<b>Hf</b>	4,70	7,20	6,80	7,10	6,10	7,70	4,90	4,40
<b>Nb</b>	10,80	12,10	13,30	14,10	11,90	10,40	10,90	8,00
<b>Rb</b>	113,10	173,60	109,40	143,50	176,50	118,10	164,60	110,40
<b>Sr</b>	84,10	124,20	51,30	36,90	89,00	89,30	73,90	107,40
<b>Ta</b>	0,80	1,10	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,50
<b>Th</b>	11,50	13,00	14,40	13,70	14,30	11,40	11,10	9,90
<b>U</b>	2,20	2,70	2,40	2,10	2,70	2,50	2,30	2,20
<b>W</b>	0,80	1,60	0,90	1,40	381,40	0,80	2,00	0,70
<b>Zr</b>	164,60	200,80	201,00	212,50	210,70	266,80	183,80	181,10
<b>Y</b>	30,00	42,80	23,07	34,60	28,60	26,90	28,10	32,60
<b>Pb</b>	-	23,40	-	-	10,10	-	9,60	5,60
<b>La</b>	44,20	55,10	23,70	46,00	30,00	28,80	41,40	68,10
<b>Ce</b>	79,60	93,80	36,60	61,20	80,00	66,70	82,30	69,80
<b>Pr</b>	10,25	11,22	6,58	11,07	7,59	5,47	8,93	12,57
<b>Nd</b>	39,10	41,80	23,80	42,50	27,30	20,50	35,20	43,40
<b>Sm</b>	6,98	7,52	4,80	7,64	5,46	3,59	6,34	7,85
<b>Eu</b>	1,45	1,55	0,87	1,43	1,06	0,94	1,29	1,35
<b>Gd</b>	5,81	6,84	3,74	6,93	4,78	3,50	5,24	6,14
<b>Tb</b>	0,93	1,05	0,66	1,11	0,85	0,74	0,81	0,90
<b>Dy</b>	5,69	6,10	4,32	6,67	4,53	4,46	4,21	5,16
<b>Ho</b>	1,00	1,33	0,94	1,30	0,96	0,99	0,84	1,10
<b>Er</b>	3,23	3,63	2,68	3,85	3,09	2,90	2,38	3,29
<b>Tm</b>	0,53	0,51	0,48	0,56	0,45	0,48	0,36	0,47
<b>Yb</b>	3,32	3,23	3,38	3,55	2,97	3,41	2,17	2,69
<b>Lu</b>	0,48	0,51	0,46	0,53	0,47	0,49	0,38	0,47
<b>Eu/Eu*</b>	0,70	0,66	0,63	0,60	0,63	0,81	0,68	0,59
<b>La/Yb</b>	9,55	12,24	5,03	9,29	7,24	6,06	13,68	12,24
<b>Ga/Al</b>	2,04	2,19	1,91	1,83	2,46	2,12	1,37	1,79



**Figura 8.** Diagramas de Harker para rochas da Formação Serra da Bocaina (elementos maiores e menores expressos em % de óxidos e traço em ppm).

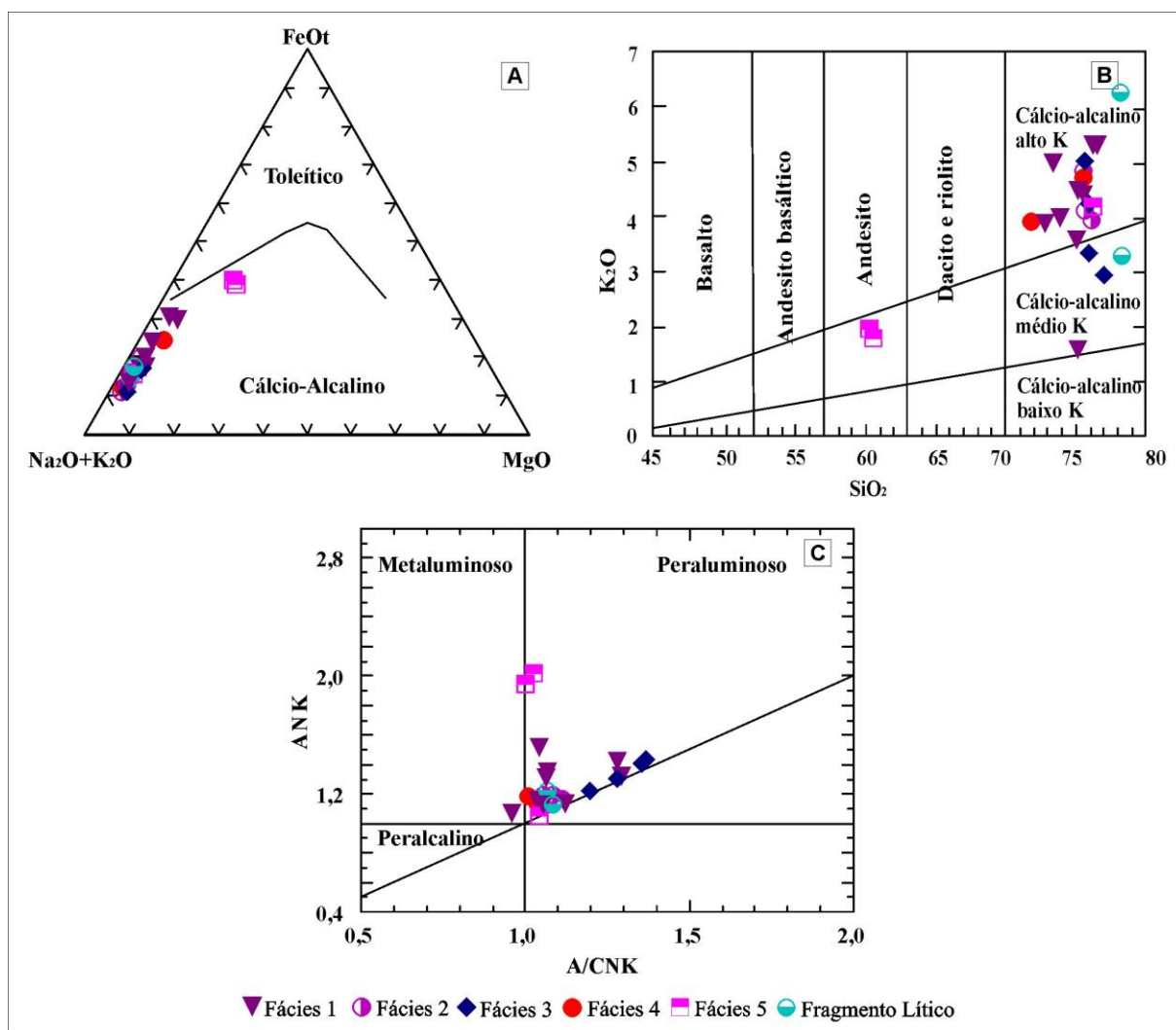
As rochas das fácies 1 a 4 e os fragmentos líticos da Formação Serra da Bocaina são classificados como riolitos enquanto as lavas, correspondentes à fácies 5, plotam-se no campo do riolitos e andesitos quando considerado o diagrama total de álcalis *versus* sílica de Le Bas (1986; Fig. 9A). De maneira semelhante, os pontos que representam esses litotipos coincidem com os domínios dos riolitos e andesitos no diagrama SiO<sub>2</sub> *versus* Zr/TiO<sub>2</sub> proposto por Winchester & Floyd (1977; Fig. 9B); bem como, as piroclásticas e lavas plotam-se, respectivamente, nos campos dos riolitos/álcali-riolitos e lati-andesitos no diagrama R1-R2 (La Roche *et al.* 1980; Fig. 9C) onde R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti) e R2 = 6Ca + 2Mg + Al.



**Figura 9.** Classificação das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) total de álcalis *versus* sílica (Le Bas 1986), com limite entre domínio alcalino/subalcalino de Irvine & Baragar (1971); (B) SiO<sub>2</sub> *versus* Zr/TiO<sub>2</sub> (Winchester & Floyd 1977); (C) R1 *versus* R2 (La Roche *et al.* 1980).



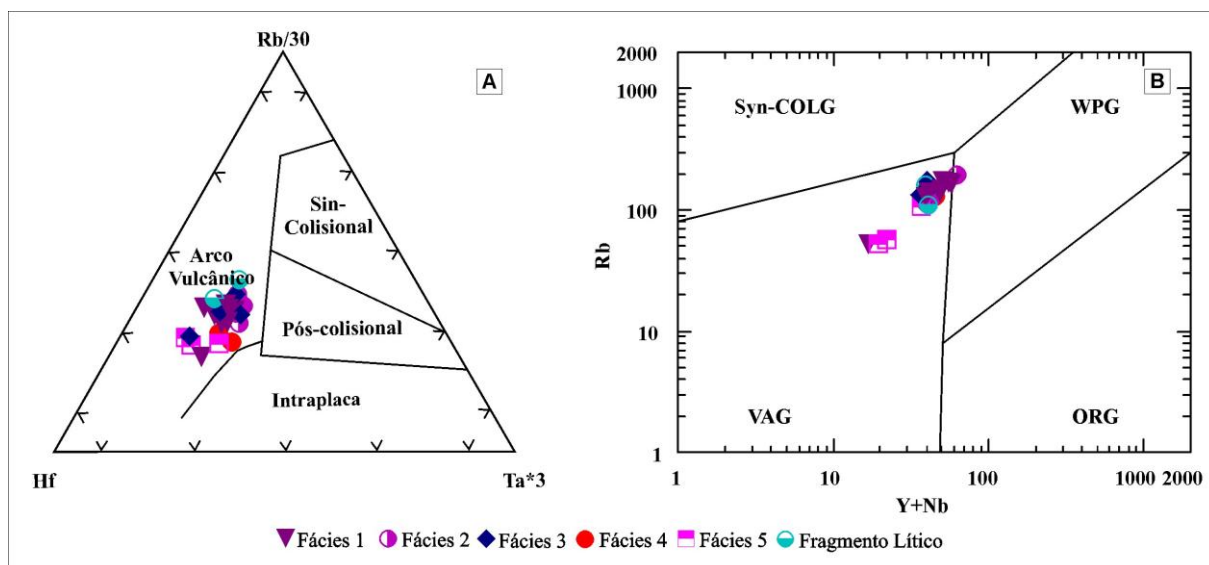
Os diagramas TAS e AFM de Irvine & Baragar (1971), ilustrados respectivamente nas figuras 9A e 10A, indicam que o magmatismo que originou as rochas estudadas caracteriza-se como sub-alcalino do tipo cálcio-alcalino. Essa última afinidade é também sugerida pelas razões La/Yb maiores do que 6 (Tabela 2, 3 e 4) conforme proposta de Barret & MacLean (1999); enquanto a natureza cálcio-alcalina de médio a alto-K é ilustrada no diagrama  $K_2O$  versus  $SiO_2$  de Le Maitre (2002; Fig. 10B). Quanto à saturação em alumina, os pontos representativos das rochas e fragmentos da Formação Serra da Bocaina classificam esse magmatismo como peraluminoso no diagrama  $A/CNK$  versus  $A/NK$  de Maniar & Piccoli (1989; Fig. 10C), a exceção de uma amostra da matriz da Fácies Brecha Ignimbrítica (AD 2/2M) que se posiciona no domínio metaluminoso.



**Figura 10.** Distribuição dos pontos representativos das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) AFM (Irvine & Baragar 1971); (B)  $K_2O$  % versus  $SiO_2$  % (Le Maitre 2002); (C)  $A/CNK$  versus  $A/NK$  (Maniar & Piccoli 1989).

Em diagramas discriminantes de ambientes tectônicos, baseados no comportamento de Hf - Rb - Ta e de Rb e (Y+Nb) propostos, respectivamente, por Harris *et al.* (1986; Fig. 11A) e Pearce

(1996; Fig. 11B), os pontos que representam as rochas da Formação Serra da Bocaina coincidem com o domínio de granitóides de arco vulcânico.

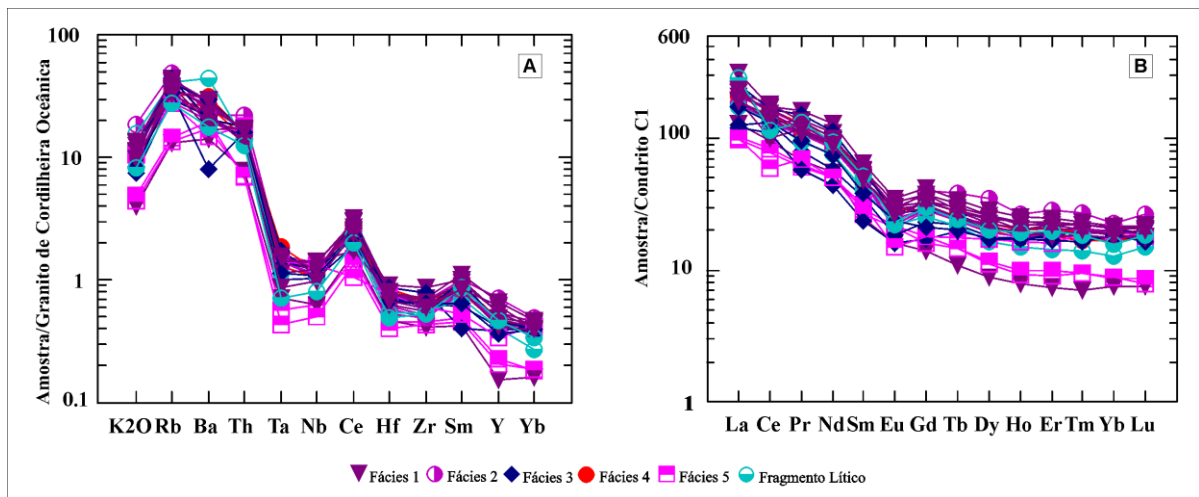


**Figura 11.** Distribuição dos pontos representativos das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) Hf-Rb/30-Ta\*3 (Harris *et al.* 1986); (B) Rb versus Y+Nb (Pearce 1996).

A normalização dos teores de alguns elementos traço e do  $K_2O$  das rochas piroclásticas e efusivas da Formação Serra da Bocaina, a partir dos granitos de Cordilheira Meso-Oceânica (Pearce *et al.* 1984; figura 12A), evidencia um enriquecimento de elementos litófilos de íons grandes (LILE) em relação aos de alta carga (HFSE). Observam-se nesse último grupo valores geralmente inferiores a 1 semelhantes aos de séries cálcio-alcálicas de alto K.

A disposição das concentrações dos Elementos Terras Raras (ETR) das rochas da Formação Serra da Bocaina, normalizadas pelos valores condríticos C1 (Sun & McDonough 1989; Fig. 12B), ilustra nenhuma a moderadas anomalias negativas de Eu correspondendo a razões  $Eu/Eu^*$ , respectivamente, entre 0,56 e 1,03 (Tabela 2, 3 e 4). Mostra um padrão de fracionamento de ETR Pesados em relação aos ETR Leves com razões  $La/Yb$  entre 5,03 e 16,98 (Tabela 2, 3 e 4), exibindo configuração sub-horizantalizada para os ETRP.

Os valores dos elementos traço dos andesitos da Formação Serra da Bocaina (fácies 5 alterada hidrotermalmente) são sempre mais baixos do que os das rochas piroclásticas, mas a disposição dos pontos que os representam nas figuras 12A e 12B segue padrões semelhantes ( $La/Yb=11,19$  e  $11,95$ ; Tabela 2) diferenciando-se pela ausência de anomalia de Eu com razão  $Eu/Eu^*$  igual a 0,95 e 1,03.



**Figura 12.** Padrões de distribuição dos pontos representativos das rochas da Formação Serra da Bocaina nos diagramas: (A) Elementos Traço e K<sub>2</sub>O, normalizados pelos valores dos granitos de Cordilheira Meso-Oceânica (Pearce *et al.* 1984); (B) ETR normalizados pelos valores do Condrito C1 (Sun & McDonough 1989).

## GEOCROLOGIA

Para o estudo geocronológico da Formação Serra da Bocaina foi selecionada a amostra (AB35) de um ignimbrito, pertencente à fácies Ignimbrito Rico em Cristais.

### Metodologia Pb-Pb em zircão (evaporação)

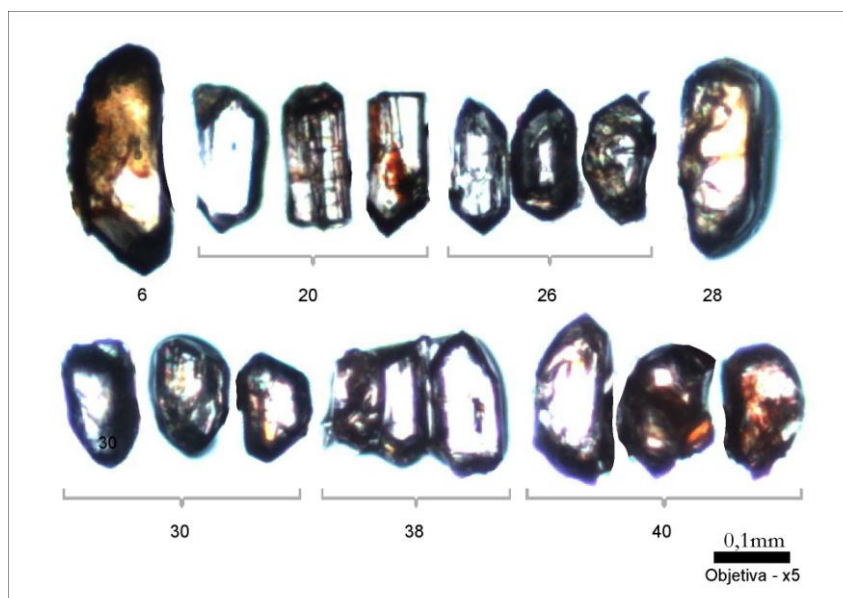
A amostra foi processada pelos métodos convencionais como britagem, moagem, peneiramento e concentração da fração 0,090 mm no Laboratório de Preparação de Amostras e Laboratório de Diluição Química, do Departamento de Recurso Minerais, da UFMT. A fração menos magnética da população de zircão foi dissociada utilizando o separador magnético *Frantz*, posteriormente cerca de 150 grãos foram selecionados manualmente em lupa binocular. Destes, 116 foram dispostos em filamentos de rênio totalizando quarenta e quatro canoas, sendo todas analisadas no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará (Pará-Iso). Foi necessário o uso de um artefato de laboratório que utiliza três grãos por canoa, considerando-se a pequena quantidade de Pb radiogênico em virtude de a fração analisada ser de 0,090 mm, assumindo-se que todos os cristais têm a mesma razão <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb.

No método aplicado utilizaram-se dois filamentos posicionados frente a frente, como preconizado por Kober (1986, 1987), sendo um filamento de evaporação, o qual contém o zircão, e um filamento de ionização, a partir do qual o Pb é analisado e submetido à evaporação em diferentes temperaturas (1450°C, 1500°C e 1550°C). O Pb liberado do retículo cristalino do zircão é fixado imediatamente no filamento de ionização. Durante o aquecimento deste filamento (em torno de 1050°C) são analisadas, no espectrômetro, as intensidades das emissões dos isótopos <sup>204</sup>Pb, <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb e <sup>208</sup>Pb. A apresentação dos resultados considera os desvios a 2σ e as correções do Pb comum são

feitas mediante uso do modelo de evolução do Pb em estágio duplo proposto por Stacey & Kramers (1975), utilizando a razão  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Os dados obtidos são tratados estatisticamente segundo Gaudette *et al.* (1998).

### Resultados Analíticos

Das quarenta e quatro canoas analisadas, trinta e sete foram eliminadas devido às altas concentrações de chumbo comum. As sete canoas restantes apresentaram bons resultados analíticos obtidos durante a segunda etapa de aquecimento ( em torno de  $1500^{\circ}\text{C}$ ). Para uma melhor análise e apresentação dos resultados, optou-se pelo uso de apenas sete canoas, as quais forneceram cento e quarenta e quatro razões isotópicas (Tabela 5). Os cristais de zircão da Formação Serra da Bocaina apresentam-se euédricos, subédricos e prismáticos, cores castanhas a esbranquiçadas variando de transparente a fosco, podendo por vezes exibir moderado fraturamento (Fig. 13).



**Figura 13.** Fotomicrografia de cristais de zircão da amostra AB35 selecionados para a datação.

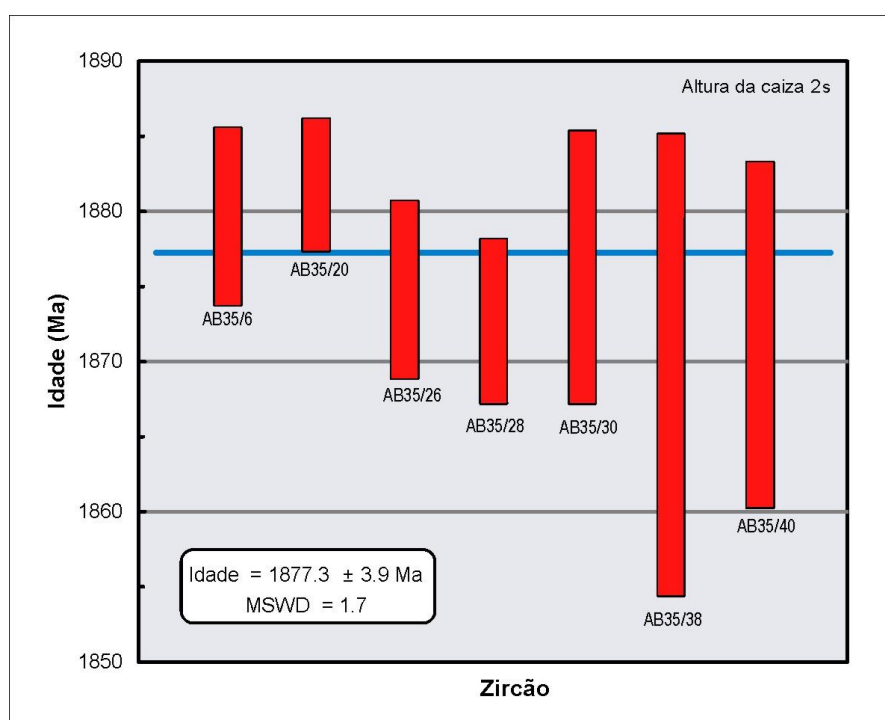
**Tabela 3.** Dados isotópicos de Pb de multigrãos de zircão da amostra AB35 da fácies 2 da Formação Serra da Bocaina.

Amostra	T°C	Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 $\sigma$	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2 $\sigma$	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2 $\sigma$	Idade	2 $\sigma$
AB35R/6	1500	44/44	0,000069	0,000003	0,46398	0,00174	0,11497	0,00037	1879,7	5,9
AB35R/20	1500	30/38	0,000986	0,000022	0,46697	0,0013	0,1151	0,00028	1881,8	4,4
AB35R/26	1500	36/40	0,000104	0,000006	0,36953	0,00098	0,11466	0,00037	1874,8	5,9
AB35R/28	1500	4/12	0,000207	0,000014	0,37796	0,00327	0,11452	0,00035	1872,7	5,5
AB35R/30	1500	8/58	0,000501	0,000024	0,3756	0,00208	0,11476	0,00058	1876,3	9,1
AB35/38	1500	8/8	0,000763	0,000056	0,41445	0,00319	0,11434	0,00098	1869,8	15,4
AB35/40	1500	14/26	0,000634	0,000169	0,35543	0,00728	0,11447	0,00073	1871,8	11,5
		144/226					Idade média =		1877,3	3,9

Os sete filamentos analisados (AB35R/6, AB35R/20, AB35R/26, AB35R/28, AB35R/30, AB35/38 e AB35/40) apresentam uma variação de idades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  entre 1869,8 e 1881,8 Ma, com

idade média de  $1877,3 \pm 3,9$  Ma (MSWD = 1,7; Fig. 14). Esse resultado mostra baixas razões de Pb comum para as amostras AB35R/6, AB35R/26 e AB35R/28 com pequena correção da idade  $^{207}\text{Pb}/\text{Pb}^{206}$ , e chumbo comum alto para as amostras AB35R/20, AB35R/30, AB35/38 e AB35/40, mas por fornecerem idades semelhantes às com chumbo comum baixo e erro analítico aceitável, o que é indicativo de um dado de qualidade.

O resultado obtido pelo método Pb-Pb de  $1877,3 \pm 3,9$  Ma, é interpretado como a idade de cristalização dos Ignimbritos Ricos em Cristais e, por consequência, do vulcanismo explosivo representado pela Formação Serra da Bocaina.



**Figura 14.** Diagrama idades *versus* cristais de zircão de Ludwig (2001) para a amostra AB35 (Fácies Ignimbrito Rico em Cristais).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Terreno Rio Apa é um pequeno fragmento de crosta continental exposto na região de fronteira entre o Brasil (Mato Grosso do Sul) e Paraguai (Departamento de Concepcion). Recoberto a sul, oeste e norte pelos sedimentos da Formação Pantanal, exhibe contato por discordância erosiva e angular, a leste, com as rochas da Faixa de Dobramentos Paraguai.

Na Formação Serra da Bocaina foi identificada predominantemente, rochas piroclásticas representadas por quatro fácies ignimbrítica: Brecha Ignimbrítica, Ignimbrito Rico em Cristais, Tufo Co-ignimbrítico e Reoignimbrito e uma efusiva.

Microscopicamente, estas rochas são caracterizadas pela presença de diferentes produtos piroclásticos, tais como, fragmentos líticos e pumíceos, cristaloclastos, púmices, *fiammes*, *shards* e cristalitos de variadas dimensões e composições, bem como por fenocristais de quartzo, plagioclásio, e

feldspato alcalino imersos em uma matriz cinerítica fina. As fases de alteração estão representadas por sericita, epidoto/clinozoizita, calcita, argilominerais e clorita, e as acessórias por allanita, zircão, apatita e opacos, tendo como principal máfico a biotita de alta temperatura. Os fragmentos líticos são compostos por uma mesóstase felsítica, fenocristais, biotita, opacos, vidro e produtos de devitrificação, tais como esferulito, axiolito, cristalitos e intercrescimento gráfico. A fácies 5, efusiva, caracteriza-se por textura porfírica a glomeroporfírica.

As rochas da Formação Serra da Bocaina arranjam-se em uma estrutura homoclinal com mergulho do acamamento entre 20° e 50° para SE e SEE e fazem ângulo com a foliação ( $S_1$ ). Do ponto de vista deformacional, foram identificadas duas fases de natureza dúctil ( $F_1$ ) e dúctil-rúptil ( $F_2$ ). O evento mais antigo,  $F_1$ , representa a deformação mais intensa e dominante, sendo observado ao longo de toda a área estudada nas rochas piroclásticas e efusivas e é o responsável pelo desenvolvimento de foliação penetrativa ( $S_1$ ) e zonas de cisalhamento. A foliação  $S_1$  é representada por xistosidade nas rochas das fácies 1, 2, 4, 5 e por uma clivagem ardosiana na fácies 3 com atitude média de 120/40. A Zona de Cisalhamento Santa Rosa, relacionada à primeira fase deformacional  $F_1$ , corresponde ao limite entre as rochas da fácies 1 da Formação Serra da Bocaina e o Granito Carandá e indica movimento do tipo reverso, com transporte tectônico de topo para NNW. A segunda fase deformacional,  $F_2$ , mostra-se com uma intensidade deformacional menor e é marcado pela geração de dobras na foliação  $S_1$ . A foliação  $S_2$  é representada por uma clivagem de crenulação ou por clivagem disjuntiva com atitude média de 220/90.

Este conjunto vulcânico-vulcanoclástico exhibe metamorfismo de baixo grau, coincidente com a fácies xisto-verde, caracterizada pela paragênese albita + epidoto + clorita, com evidências de retrometamorfismo.

Do ponto de vista geoquímico, as rochas da Formação Serra da Bocaina caracterizam-se como intermediárias a predominantemente ácidas, classificam-se como andesitos e riolitos; foram geradas a partir de um magmatismo cálcio-alcalino de médio a alto-K, por cristalização fracionada em um ambiente de arco-vulcânico. As concentrações dos ETR apresentam nenhuma a moderadas anomalias negativas de Eu com razões  $Eu/Eu^*$  entre 0,56 e 1,03. Nas rochas efusivas, alteradas hidrotermalmente, os valores dos elementos traço são sempre mais baixos que os das rochas piroclásticas diferenciando-se pela ausência de anomalia de Eu.

Considerando-se a compartimentação e evolução tectônica do Terreno Rio Apa as rochas estudadas retratam um evento magmático extrusivo, de natureza predominantemente explosiva, relacionado à evolução do Arco Magmático Amoguijá, de idade Orosiriana, conforme resultado Pb-Pb em zircão de  $1878 \pm 4$  Ma.

Considerando o padrão deformacional e metamórfico observado nas rochas estudadas, sugere-se que a Formação Serra da Bocaina foi tectonicamente transportada de SEE para NWW em um regime tectônico convergente, dominado por rampas frontais de baixo a médio mergulho, em um nível crustal compatível ao metamorfismo de fácies xisto-verde.

Os dados Ar-Ar e K-Ar em torno de 1.3 Ga, apresentados para as rochas plutônicas e vulcânicas do Arco Magmático Amoguijá (Cordani *et al.* 2010), sugerem que as rochas efusivas e piroclásticas estudadas, foram deformadas e metamorfizadas durante a Orogenia San Ignácio (1.4 a 1.3 Ga) observada no Terreno Paraguá, no SW do Cráton Amazônico.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a CAPES (PROCAD 096/97) e FAPEMAT (Projeto de Nº 448287/2009) pelo suporte financeiro ao desenvolvimento da pesquisa, ao Grupo de Pesquisa Evolução Crustal e Tectônica – Guaporé e ao GEOCIAM (Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia de Geociências da Amazônia) pelo apoio à pesquisa e concessão de bolsa de mestrado à primeira autora.

### **Referências**

- Almeida, F. F. M. 1964. *Geologia do centro-oeste mato-grossense*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, Boletim 215, 137 p.
- Almeida, F.F.M. 1978. Tectonic map of south america 1:5.000.000. Explanatory note, Brasília DNPM/DGMW/UNESCO, 23p.
- Amaral, G. 1974. Geologia Pré Cambriana da Região Amazônica. Tese de Doutorado, IGC, Universidade de São Paulo, 212 p.
- Amaral, G. 1984. Províncias Tapajós e Rio Branco. *In*: Almeida, F.F.M & Hasui, Y. 1984. O Pré-cambriano do Brasil, São Paulo, Edgard Blücher, p.6 – 35.
- Araújo H. J. T., Santos Neto A., Trindade C. A. H., Pinto J. C. A., Montalvão R. M. G., Dourado T. D. C.; Palmeira R. C. B., Tassinari C. C. G. 1982. *Folha SF. 21 – Campo Grande*. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia-Secretaria Geral, Projeto RADAMBRASIL – Geologia, **28**:23-124.
- Barrett T.J. & MacLean W.H. 1999. Volcanic Sequences, Lithochemistry, and Hydrothermal Alteration in Some Bimodal Volcanic-Associated Massive Sulfide Systems. *Reviews in Economic Geology*, **8**:101-131.
- Brittes, A. F. N. & Plens, D. P. 2010. Caracterização Geológica da Serra da Bocaina, com Ênfase na Formação Serra da Bocaina – Terreno Rio Apa – Sul do Craton Amazônico – Porto Murtinho – MS. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, 20-50 p.
- Brittes A. F. N., Plens D. P., Ruiz A. S., Sousa M. Z. A., Batata M. E. F. 2010. Caracterização Geológica e Petrográfica da Formação Serra da Bocaina - Terreno Rio Apa - Sul do Cráton Amazônico – Porto Murtinho – MS. *In*: 45º Congresso Brasileiro de Geologia.
- Brittes A. F. N., Plens D. P., Ruiz A. S., Sousa M. Z. A., Batata M. E. F. 2011. Caracterização Estrutural e Metamórfica da Formação Serra da Bocaina e do Granito Carandá – Terreno Rio Apa –

- Sul do Cráton Amazônico – Porto Murtinho (MS). *In: XIII Simp. Nac. de Estudos Tectônicos*, 1, p. 33-36.
- Brittes A. F. N., Sousa M. Z. A., Ruiz A. S., Batata M. E. F., Plens D. P. 2011. Petrografia e Geoquímica da Formação Serra da Bocaina – Terreno Rio Apa – Sul do Cráton Amazônico – Porto Murtinho – MS. *In: V Simp. Vulcanismo e Ambientes Associados*.
- Brittes A. F. N., Sousa M. Z. A., Ruiz A. S., Batata M. E. F., Plens D. P. 2011. Petrografia, Estrutural e Geoquímica da Formação Serra da Bocaina do Arco Magmático Amongujá – Terreno Rio Apa (MS). *In: 12° Simpósio de Geologia da Amazônia*.
- Cordani, U.G., Tassinari C.C.G., Teixeira W., Basei M.A.S., Kawasita K. 1979. Evolução Tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *In: Congresso Geológico Chileno*, 2, Chile. *Atas*, p.137-48.
- Cordani, U. G.; Tassinari, C. C. G.; Rolim, D. R. 2005. The basement of the Rio Apa Craton in Mato Grosso do Sul (Brazil) and northern Paraguay: a geochronological correlation with the tectonic provinces of the south-western Amazonian Craton. *In: Gondwana*, 12, p. 112.
- Cordani, U. G.; Teixeira, W.; Tassinari, C. C. G.; and Ruiz, A. S.; 2010, The Rio Apa Craton in Mato Grosso do Sul (Brazil) and Northern Paraguay: Geochronological Evolution, Correlations and Tectonic Implications for Rodinia and Gondwana. *American Journal of Science*, **310**:1-43.
- Gaudette, H.E., Lafon, J.M., Macambira, M.J.B., Moura, C.A.V., Scheller, T., 1998. Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon ages with conventional U-Pb results: Examples from the Precambrian of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **11**(4), 351-363.
- Godoi, H.O.; Martins, E.G.; Mello, C.R.; Scislewski, G. 2001. Geologia. MME/SG. Projeto Radam - Brasil. 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), Mato Grosso do Sul, escala 1: 250.000.
- Godoy, A.M; Manzano, J.C; Araújo, L.M.B; Silva, J.A. 2010. Suíte Vulcânica Serra da Bocaina, Grupo Amongujá, Maciço Rio Apa – MS. *São Paulo, UNESP, Geociências*, **29**:571-587.
- Harris, N. B. W.; Pearce, J. A. & Tindle, A. G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *Geological Society, London, Special Publications*, **19**:67-81.
- Hasui, Y. & Almeida, F.F.M., 1970. *Geocronologia do centro-oeste brasileiro*. São Paulo. Sociedade Brasileira de Geologia, Boletim 19, 1-26 p.
- Irvine, I. N. & Baragar, W. R. A. 1971. A Guide To The Chemical Classification Of The Common Volcanics Rocks. *Canadian Journal Earth Science*, **8**:523-548.
- Kober, B., 1986. Whole-grain evaporation for  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **93**, 482-490.
- Kober, B., 1987. Single grain evaporation combined with Pb emitter bedding  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  investigations using thermal ion mass spectrometry and implications to zirconology. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **96**, 63-71.



- Lacerda Filho, J.W.; Brito, R.S.C.; Silva, M.G.; Oliveira, C.C. De, 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. de, Leterrier J., GrandClaude P., Marchal M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses. Its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, **29**(2):183-210.
- 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.
- Le Maitre R.W. 2002. *Igneous Rocks: a Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge, Cambridge University Press, 236 p.
- Litherland M. & Bloomfield K. 1981. The Proterozoic History of Eastern Bolivia. *Prec. Res.*, **2**:157-179.
- Litherland, M., Annells, R.N., Appleton, J.D., Berrangé, J.P., Bloomfield, K., Burton, C.C.J., Darbyshire, D.P.F., Fletcher, C.J.N., Hawkins, M.P., Klinck, B.A., Llanos, A., Mithcell, W.I., O Connor, E.A., Pitfield, P.E.J., Power, G. E Webb, B.C. (Eds.) 1986. *The Geology and Mineral Resources of the Bolivian Precambrian Shield*. Her Majesty's Stationery Office, London, 140 p.
- Ludwig, K.R., 2001. Isoplot/Ex. rev., 2.49. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center, Special Publication 1A, 59p.
- Maniar P. D. & Piccoli P. M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **101**:635-643.
- Petri, S., Coimbra, A.M., Amaral, G., Ojeda, H.O., Fúlfaro, V.J., Ponçano, V.L. 1986. Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, **4**:370-415.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**(4):956-983.
- Pearce J.A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, **19**:120-125.
- Ramos V. A., Vujovich G.I. 1993. The Pampia craton within western Gondwanaland. *Proc. Circum-Pacific & Circum-Atlantic Terrane Conf., 1st*, Guanajuato, Mexico: Univ. Nac. Autón. pp. 113-16.
- Ramos, V. A. 2008. The Basement of the Central Andes: the Arequipa and related terranes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 36, p. 289-324.
- Ruiz, A. S. 2005. Evolução Geológica do Sudoeste do Cráton Amazônico Região Limítrofe Brasil-Bolívia – Mato Grosso. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 14-245p.
- Ruiz, A.S., Simões, L.S.A., Brito Neves, B.B. 2005. Maciço Rio Apa: extremo meridional do Cráton Amazônico. *In: SBG: Simp. Estudos Tectônicos*, 10, Curitiba, Anais, p. 301 – 304.

- Stacey, J.S., Kramers, J.D., 1975. Approximation of terrestrial lead isotopic evolution by a two stage model. *Earth and Planetary Sciences Letters* 26, 207-221.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F. 1989. Chemical And Isotopic Systematics Of Oceanic Basalts: Implications For Mantle Composition And Process. *In: Saunders, A. D.; Norry, M. J. (eds). Magmatism In The Ocean Basins. Geological Society Special Publication, 42, p.:313-345.*
- Suszczynski, E.F. 1970. La geologie et La tectonique de la plateforme Amazonienne. *Geol. Rundschau, Stuttgart*, **59**(3):1232-1253.
- 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.

## ANEXO II

<b>TABELA DE PONTOS DE AFLORAMENTOS DESCRITOS</b>			
<b>Pontos</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Litologia</b>
AD01	435598	7598398	Reoignimbrito
AD02	435857	7598200	Brecha Ignimbrítica/Tufo Co-ignimbrítico
AD03	441895	7595082	Ponto Controle
AD08	440376	7588440	Ponto Controle
AD09	436467	7597501	Brecha Ignimbrítica/Tufo-Co-ignimbrítico
AD10	439530	7595520	Brecha Ignimbrítica/Tufo-Co-ignimbrítico
AD11	442032	7600924	Ponto Controle
AD12	441614	7600637	Ignimbrito Rico em Cristais
AD13	441547	7600631	Ignimbrito Rico em Cristais
AD14	441317	7600642	Ignimbrito Rico em Cristais
AD15	441166	7600645	Ponto Controle
AD16	440971	7600653	Brecha Ignimbrítica
AD17	440820	7600655	Brecha Ignimbrítica
AD18	440633	7600664	Brecha Ignimbrítica
AD19	440563	7600664	Ponto Controle
AD20	440531	7600676	Brecha Ignimbrítica
AD21	441764	7600632	Ponto Controle
AD22	442093	7600625	Brecha Ignimbrítica
AD23	441951	7596732	Brecha Ignimbrítica
AD24	441589	7596870	Ponto Controle
AD25	441507	7597033	Ignimbrito Rico em Cristais
AD26	441444	7597288	Ignimbrito Rico em Cristais
AD27	441604	7597669	Ignimbrito Rico em Cristais
AD28	441504	7597895	Riolito
AD29	441282	7597938	Brecha Ignimbrítica
AD30	441031	7598055	Ponto Controle
AD31	440996	7598099	Brecha Ignimbrítica
AD32	440977	7598207	Brecha Ignimbrítica
AD33	441426	7597790	Ponto Controle
AD34	431972	7598890	Formação Pantanal
AD35	433755	7601804	Ponto Controle
AD36	436466	7605434	Brecha Ignimbrítica
AD37	436812	7604835	Reoignimbrito
AD38	437231	7603977	Ponto Controle
AD39	437120	7603470	Brecha Ignimbrítica
AD40	436992	7603165	Brecha Ignimbrítica
AD41	436955	7597219	Brecha Ignimbrítica
AD42	437743	7596779	Brecha Ignimbrítica
AD43	438403	7596404	Brecha Ignimbrítica/Tufo Co-ignimbrítico
AD44	440364	7595329	Brecha Ignimbrítica
AD49	434844	7598862	Brecha Ignimbrítica
AD50	434756	7598643	Brecha Ignimbrítica
AD51	434940	7598172	Brecha Ignimbrítica
AD52	435948	7597972	Brecha Ignimbrítica
AD53	435025	7597417	Brecha Ignimbrítica
AD54	435764	7597162	Ponto Controle
AD55	434792	7598558	Brecha Ignimbrítica
AD56	433805	7601848	Ponto Controle
AD57	436115	7605196	Brecha Ignimbrítica

<b>TABELA DE PONTOS DE AFLORAMENTOS DESCRITOS</b>			
<b>Pontos</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Litologia</b>
AD58	437177	7603615	Brecha Ignimbrítica
AD59	437160	7602772	Brecha Ignimbrítica
AD60	437605	7601873	Brecha Ignimbrítica
AD61	437655	7601222	Brecha Ignimbrítica
AD62	437176	7601059	Ponto Controle
AD63	437296	7600643	Brecha Ignimbrítica
AD64	437377	7600358	Brecha Ignimbrítica
AD65	437762	7600231	Brecha Ignimbrítica
AD66	437856	7600227	Ponto Controle
AD67	437888	7600202	Brecha Ignimbrítica
AD68	437972	7600136	Brecha Ignimbrítica
AD69	438076	7600071	Brecha Ignimbrítica
AD70	438454	7600026	Ponto Controle
AD71	438986	7600111	Brecha Ignimbrítica
AD72	436406	7601128	Brecha Ignimbrítica
AD73	434353	7601245	Ponto Controle
AD74	435018	7600415	Brecha Ignimbrítica
AD75	435640	4599759	Reoignimbrito
AD76	435891	7599420	Brecha Ignimbrítica
AD77	436280	7599625	Brecha Ignimbrítica
AD78	436214	7598536	Ponto Controle
AD79	440320	7588386	Ponto Controle
AD80	436741	7589251	Andesito
AD81	435781	5789490	Ignimbrito Rico em Cristais
AD82	435702	7589505	Ponto Controle
AD83	435975	7589784	Ponto Controle
AD84	435894	7590119	Brecha Ignimbrítica/Ignimbrito Rico em Cristais
AD85	435834	7590166	Brecha Ignimbrítica
AD86	435612	7590225	Brecha Ignimbrítica
AD87	435190	7590305	Brecha Ignimbrítica
AD88	434892	7590353	Brecha Ignimbrítica
AD89	434670	7590399	Brecha Ignimbrítica
AD90	434280	7590478	Andesito
AD91	434074	7590515	Brecha Ignimbrítica
AD92	433871	7590551	Brecha Ignimbrítica
AD93	433716	7590582	Brecha Ignimbrítica
AD94	436947	7589213	Ponto Controle
AD95	438250	7588902	Ponto Controle
AD96	439441	7588604	Granito Carandá
AD97	439629	7588502	Granito Carandá
AD98	440455	7589469	Ponto Controle
AD99	441112	7591745	Ponto Controle
AD100	441952	7595079	Ponto Controle
AB01	441466	7593326	Granito Carandá
AB02	441199	7593460	Brecha Ignimbrítica
AB03	440687	7593741	Brecha Ignimbrítica
AB04	438752	7591196	Ponto Controle
AB05	438906	7592294	Brecha Ignimbrítica
AB06	439846	7593155	Ignimbrito Rico em Cristais
AB07	439780	7593325	Ignimbrito Rico em Cristais
AB08	439811	7593462	Ignimbrito Rico em Cristais
AB09	439829	7593583	Brecha Ignimbrítica/Ignimbrito Rico em Cristais

<b>TABELA DE PONTOS DE AFLORAMENTOS DESCRITOS</b>			
<b>Pontos</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Litologia</b>
AB10	439949	7593657	Brecha Ignimbrítica/Ignimbrito Rico em Cristais
AB11	439975	7593757	Ignimbrito Rico em Cristais
AB12	440073	7593870	Ignimbrito Rico em Cristais
AB13	441952	7596757	Brecha Ignimbrítica
AB14	442104	7597258	Brecha Ignimbrítica/Granito Carandá
AB15	442363	7598230	Granito Carandá
AB16	442350	7598592	Brecha Ignimbrítica
AB17	442358	7598715	Granito Carandá
AB18	442327	7598752	Granito Carandá/Brecha Ignimbrítica
AB19	441867	7602013	Brecha Ignimbrítica/Granito Carandá
AB20	442161	7598861	Brecha Ignimbrítica
AB21	441993	7596858	Brecha Ignimbrítica
AB22	441993	7596856	Brecha Ignimbrítica
AB23	440446	7588523	Granito Carandá
AB24	440457	7589191	Granito Carandá
AB25	435775	7589442	Ignimbrito Rico em Cristais
AB26	436023	7589377	Andesito
AB27	444825	7605584	Ponto Controle
AB28	444418	7605723	Brecha Ignimbrítica
AB29	444298	7605773	Brecha Ignimbrítica
AB30	444221	7605793	Brecha Ignimbrítica
AB31	444486	7606015	Brecha Ignimbrítica
AB34	439677	7582884	Ponto Controle
AB 35	440067	75844171	Ignimbrito Rico em Cristais/Andesito
AB36	443344	7588184	Ponto Controle
AB37	442112	7587195	Brecha Ignimbrítica
AB38	442634	7587681	Brecha Ignimbrítica
AB39	442960	7589092	Granito Carandá
AB40	442891	7589719	Granito Carandá
AB41	442973	7590261	Granito Carandá
AB42	442977	7591632	Granito Carandá
AB43	442947	7591884	Granito Carandá
AB44	443488	7594093	Granito Carandá
AB45	431750	7598800	Formação Pantanal
AB46	432056	7591236	Brecha Ignimbrítica
AB47	432416	7591357	Ponto Controle
AB48	432182	7591486	Brecha Ignimbrítica
AB49	432093	7591445	Brecha Ignimbrítica
AB50	433204	7595681	Brecha Ignimbrítica
AB51	434360	7595299	Brecha Ignimbrítica
AB52	433759	7595496	Brecha Ignimbrítica