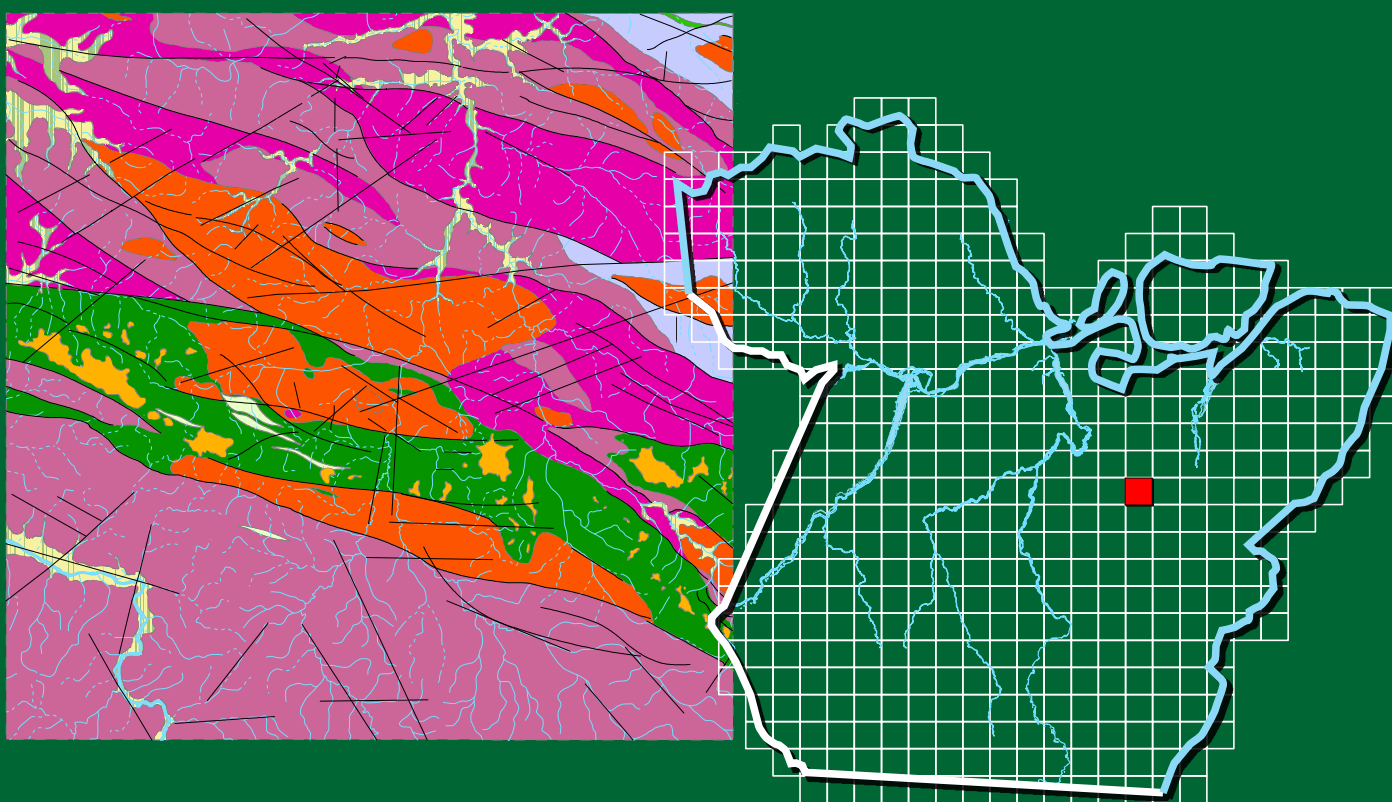


# Programa Geologia do Brasil

## Levantamentos Geológicos Básicos

# GEOLOGIA DA FOLHA RIO BACAJÁ\* SA.22-Y-D-VI

Sistema de Informações Geográficas - SIG



Escala: 1:100.000  
2015

\* PARCERIA COM A UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ - UFPR

 **CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil



**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELÉM

**Programa Geologia do Brasil**

**GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA**  
**FOLHA RIO BACAJÁ - SA.22-Y-D-VI**  
**ESTADO DO PARÁ,**  
**ESCALA 1:100.000**

**Contrato CPRM-UFPR Nº 071/PR/2009**

**AUTORES**

Marcell Leonard Besser  
Carlos Eduardo de Mesquita Barros



BELÉM, 2016

# **GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA FOLHA RIO BACAJÁ - SA.22-Y-D-VI ESTADO DO PARÁ, ESCALA 1:100.000**

Programa Geologia do Brasil (PGB)  
Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
CPRM - Serviço Geológico do Brasil  
Biblioteca Regional de Belém**

---

BESSER, Marcell Leonard.

Geologia e Recursos Minerais da Folha Rio Bacajá Pará - SA.22-Y-D-VI, Estado do Pará, Escala 1:100.000 / Marcel Leonard Besser, Carlos Eduardo de Mesquita Barros. - Belém: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2016. 100 p.: il. Color + 1 CD-ROM.

Programa Geologia do Brasil (PGB). Integração e Difusão de Dados da Geologia do Brasil.

ISBN

1. Geologia Regional - Pará. 2. Recursos Minerais - Pará. I. Barros, Carlos Eduardo de Mesquita. II. Título

CDD 558.115

---

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

**Programa Geologia do Brasil**

**GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA  
FOLHA RIO BACAJÁ - SA.22-Y-D-VI  
ESTADO DO PARÁ,  
ESCALA 1:100.000**

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

CARLOS EDUARDO DE SOUZA BRAGA  
*Ministro de Estado*

### **SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

CARLOS NOGUEIRA DA COSTA JUNIOR  
*Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral*

#### **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

MANOEL BARRETTO DA ROCHA NETO  
*Diretor Presidente*

ROBERTO VENTURA DOS SANTOS  
*Diretor de Geologia e Recursos Minerais*

REGINALDO ALVES DOS SANTOS  
*Chefe do Departamento de Geologia*

FRANCISCO VALDIR DA SILVEIRA  
*Chefe do Departamento de Recursos Minerais*

EDILTON JOSÉ DOS SANTOS  
*Chefe da Divisão de Geologia Básica*

STÊNIO PETROVICH PEREIRA  
*Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial*

ANTÔNIO CARLOS BACELAR NUNES  
*Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento*

EDUARDO SANTA HELENA  
*Diretor de Administração e Finanças*

## **SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELÉM**

MANFREDO XIMENES PONTE  
*Superintendente*

LÚCIA TRAVASSOS DA ROSA COSTA  
*Gerente de Geologia e Recursos Minerais*

CÉSAR LISBOA CHAVES  
CÍNTIA MARIA GAIA DA SILVA  
*Supervisores de Geologia e Recursos Minerais*

TOMAZ DE AQUINO MASSOUD LOBATO  
*Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento*

CRISTIANE SILVA DE SOUSA  
MARCELO LACERDA VASQUEZ  
*Supervisores de Relações Institucionais e Desenvolvimento*

JOÃO BATISTA MARCELO DE LIMA  
*Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial*

CÍCERO VIEIRA DE MENESES  
*Gerente de Administração e Finanças*

## **CRÉDITOS DE AUTORIA**

### **NOTA EXPLICATIVA**

#### **organizadores**

Marcell Leonard Besser  
Carlos Eduardo de Mesquita Barros

### **AUTORIA POR CAPÍTULO**

#### **1. INTRODUÇÃO**

Marcell Leonard Besser  
Carlos Eduardo de Mesquita Barros

#### **2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO REGIONAL**

Marcell Leonard Besser  
Carlos Eduardo de Mesquita Barros

#### **3. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS**

Marcell Leonard Besser  
Carlos Eduardo de Mesquita Barros

#### **4. GEOLOGIA ESTRUTURAL**

Carlos Eduardo de Mesquita Barros  
Marcell Leonard Besser

#### **6. RECURSOS MINERAIS**

Carlos Eduardo de Mesquita Barros  
Marcell Leonard Besser

#### **8. CONCLUSÕES**

Carlos Eduardo de Mesquita Barros  
Marcell Leonard Besser

## **MAPAS E SIG**

### **MAPA GEOLÓGICO**

Marcell Leonard Besser  
Carlos Eduardo de Mesquita Barros

### **SIG GEOLÓGICO**

Marcell Leonard Besser  
Carlos Eduardo de Mesquita Barros

### **Revisão Final**

Carlos Eduardo Ganade  
Lúcia Travassos da Rosa-Costa

### **Revisão Bibliográfica**

Nelma Fabrícia da P. Ribeiro Botelho

### **Editoração e Diagramação**

Marcelo Henrique B. Leão  
Nelma Fabrícia da P. Ribeiro Botelho





# APRESENTAÇÃO

---

O Programa Geologia do Brasil (PGB), desenvolvido pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, empresa vinculada ao Ministério das Minas e Energia e à Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, é responsável pela retomada em larga escala dos levantamentos geológicos básicos do país. Este programa tem por objetivo a ampliação do conhecimento geológico do território brasileiro, fornecendo subsídios para investimentos em pesquisa mineral, criação de novos empreendimentos mineiros, e conseqüente geração de oportunidades de desenvolvimento econômico e social. Entre as ações do PGB destaca-se a estratégia de implementação de parcerias com grupos de pesquisa de universidades públicas brasileiras, através PRONAGEO, visando avanços na cartografia geológica básica na escala 1:100.000. Trata-se de um programa de caráter pioneiro no Brasil, que representa uma nova modalidade de interação do Serviço Geológico do Brasil com o setor acadêmico, uma vez que abre espaço para a atuação de professores/pesquisadores nacionalmente reconhecidos, em geral líderes de grupos de pesquisa nas universidades públicas, os quais respondem diretamente pela qualidade do trabalho apresentado.

A sinergia resultante da interação entre o segmento acadêmico nacional com a excelência em cartografia geológica praticada pelo Serviço Geológico do Brasil resulta em um enriquecedor processo de produção de conhecimento geológico, que beneficia toda a sociedade brasileira.

Os resultados obtidos por meio do PRONAGEO têm demonstrado um importante avanço, tanto na cartografia geológica, quanto no estudo da potencialidade mineral em amplas áreas do território nacional.

É dentro deste contexto que temos a grata satisfação de disponibilizar à comunidade técnico-científica, aos empresários do setor mineral brasileiro, aos gestores federais, estaduais e municipais e à sociedade em geral, a Nota Explicativa e o SIG-geológico do Projeto Geologia e Recursos Minerais da Folha Rio Bacajá SA.22-Y-D-VI, executado pela Universidade Federal do Paraná (Contrato CPRM-UFPR Nº 071/PR/2009), e gerenciado pela Gerência de Geologia e Recursos Minerais da Superintendência Regional de Belém.

O desenvolvimento destes produtos envolveu compilação e integração, em meio digital, de todas as informações geológicas disponíveis na região, complementadas com a interpretação de sensores remotos, aquisição sistemática de dados de campo e análises laboratoriais. Todos estes dados e produtos estão hospedados no banco de dados corporativo da CPRM (GEOBANK), que pode ser acessado pelo portal [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br).

MANOEL BARRETTO DA ROCHA NETO  
Diretor - Presidente  
Serviço Geológico do Brasil - CPRM

ROBERTO VENTURA SANTOS  
Diretor de Geologia e Recursos Minerais  
Serviço Geológico do Brasil - CPRM



# RESUMO

---

A Folha Rio Bacajá (SA.22-Y-D-VI, 1:100.000) se localiza a leste do rio Xingu e a sul da cidade de Anapu, no centro-leste do Estado do Pará, no Domínio Bacajá, da Província Transamazonas. Nesta província afloram rochas riacianas, além de remanescentes de crosta arqueana retrabalhada no Paleoproterozoico. Na Folha Rio Bacajá predominam corpos granitoides riacianos, alongados nas direções NW e WNW, em relação às sequências metavulcanossedimentares. Na porção nordeste da Folha Rio Bacajá afloram rochas arqueanas pertencentes ao Complexo Aruanã, no qual se distinguem anfibolitos, gnaisses graníticos e milonitos. Os anfibolitos arqueanos, formalizados neste trabalho sob a denominação de Anfibolito Armezinho, têm matriz de textura granoblástica de granulação fina que hospeda porfiroblastos euédricos de plagioclásio. Estas rochas foram submetidas a metamorfismo de contato de fácies hornblenda hornfels. A assinatura química destas rochas é comparável a dos toleitos oceânicos ricos em ferro. Os ortognaisses do Complexo Aruanã têm composição sienogranítica a monzogranítica, por vezes textura porfirítica, e mostram uma foliação marcante marcada pelo achatamento de cristais de quartzo e pela orientação de fenocristais de feldspato potássico e de níveis ricos em biotita. Esta foliação, provavelmente arqueana, foi afetada por zonas miloníticas de atitude N55W/70SW. Estes metagranitoides têm composição cálcio-alkalina e idade de cristalização (Pb-Pb evaporação de zircão) de  $2586 \pm 5$  Ma. Na parte centro-sul da Folha Rio Bacajá há uma faixa alongada na direção WNW formada por rochas metavulcanossedimentares do Grupo Três Palmeiras, dentre as quais predominam anfibolitos e rocha metabásicas da Formação Itatá, em relação a quartzitos e filitos da Formação Bacajá. As rochas metabásicas possuem textura blastofítica e a presença de clorita e actinolita indica condições de fácies xisto verde possivelmente resultante de metamorfismo de fundo oceânico. Nas proximidades dos contatos com rochas granitoides, as rochas metabásicas são transformadas em hornfels maciços com textura granoblástica ou foliados com textura nematoblástica, formados em condições de fácies hornblenda hornfels. A foliação destes hornfels básicos tem direção N60W a WNE e provavelmente registram esforços de expansão lateral das câmaras graníticas somado a esforços compressivos regionais. Estas rochas são cortadas localmente por veios de anfibólio ou plagioclásio e por fraturas hidráulicas cuja origem estaria relacionada a reações de desidratação e aumento da pressão de fluidos provocados pelo metamorfismo de contato. De modo localizado, as rochas metabásicas de fácies xisto verde foram afetadas por zonas de cisalhamento dúctil-rúptil, e com atitude N60E/85SW. Associada a esta superfície há lineações de estiramento 270/45. Estas estruturas têm ligação com esforços oblíquos que atuaram no final da evolução do orógeno. Estas rochas metabásicas e anfibolitos têm composições comparáveis a dos toleitos oceânicos. Na Folha Rio Bacajá, os granitoides paleoproterozoicos compõem corpos alongados na direção WNW e NW. São distinguidas três associações de rochas granitoides. O Complexo Bacajá, que engloba metagranitoides de  $2112 \pm 8$  Ma e composições quartzo diorítica, tonalítica, granodiorítica a monzogranítica; a Suíte Intrusiva Arapari, com idade de  $2072 \pm 4$  Ma, formada por quartzo dioritos, tonalitos, granodioritos e monzogranitos; e a Suíte Intrusiva João Jorge, constituída por um conjunto de granodioritos a sienogranitos e por uma associação de sienitos e monzonitos, cuja idade Pb-Pb evaporação de zircão é de  $2076 \pm 2$  Ma. Estas suítes graníticas guardam semelhanças estruturais e geoquímicas, o que pode por vezes tornar esta subdivisão não muito evidente quando as datações não são disponíveis. Os baixos teores de elementos incompatíveis, as baixas razões FeO/MgO e o padrão fracionado dos elementos terras raras evidenciam a assinatura cálcio-alkalina destes granitoides. Na grande maioria dos casos os granitoides mostram-se foliados em intensidades que variam de fraca a muito forte. Dentre as estruturas presentes nestes litotipos há acamamento ígneo, foliação magmática com componente de estado sólido, zonas miloníticas, zonas filoníticas, falhas e fraturas. O acamamento magmático é definido pela alternância rítmica de níveis ricos em quartzo e feldspatos com níveis ricos em minerais ferromagnesianos. Por vezes, este acamamento é marcado por alternâncias rítmicas de porções com granulações diferentes ou ainda pode ser exagerado quando da presença de veios aplíticos e pegmatíticos. A forma ondulada do bandamento, além da sua homogeneidade, aponta para regimes compressivos de alta plasticidade atuantes no curso da cristalização. Uma foliação magmática com componente de estado sólido é penetrativa na escala regional, possui intensidade incipiente a forte, tem direção geral N60W/90 e é definida pela orientação preferencial de minerais

ferromagnesianos e feldspatos, e pelo achatamento de quartzo. As rochas do Complexo Bacajaí foram afetadas termalmente por intrusões posteriores em condições de fácies hornblenda a piroxênio hornfels, o que resultou em rochas com textura granoblástica, biotita avermelhada e clinopiroxênio. O crescimento secundário de muscovita a partir da sericita também denota efeitos termais. Em condições sólidas, estas rochas granitoides foram submetidas a cisalhamento dúctil, de natureza transcorrente, com desenvolvimento de milonitos e ultramilonitos. Posteriormente, instalaram-se zonas filoníticas e zonas de falha de atitude EW/subvertical. Datação Pb-Pb em zircão forneceu para um metagranitoide do Complexo Bacajaí a idade de  $2112 \pm 8$  Ma. Esta rocha possui idade  $T_{DM}$  de 2310 Ma e valor de  $\epsilon Nd$  de +0,56. Para a Suíte Intrusiva Arapari, a idade obtida de  $2072 \pm 4$  Ma, fornecida por 1 cristal de zircão, deve ser considerada como idade mínima. Seus dados de isótopos de neodímio apontam idades  $T_{DM}$  de 2100 a 2170 Ma e valores de  $\epsilon Nd$  de +2,11 a +3,04. As suítes intrusivas granitoides Bacajaí e Arapari têm características petrográficas, estruturais, geoquímicas e isotópicas de ambientes de arco magmático de margens continentais ativas. A distribuição das idades destas rochas sugere longo tempo de construção do arco magmático. Os últimos pulsos magmáticos paleoproterozoicos foram marcados pela colocação de monzogranitos, sienogranitos, sienitos e monzonitos fracamente foliados da Suíte Intrusiva João Jorge, cujos corpos se situam preferencialmente próximo de zonas de cisalhamento e de contatos geológicos. Estes sienitos e rochas associadas possuem altos valores de Ba e Sr, além de padrões fracionados de elementos terras raras, similares àqueles de rochas cálcio-alcálicas de alto potássio a shoshoníticas. A idade de cristalização dos sienitos é de  $2076 \pm 2$  Ma, a idade  $T_{DM}$  é de 2210 Ma e o valor de  $\epsilon Nd$  é de +1,51. A frequência de enclaves microgranulares máficos em meio aos sienitos, juntamente às características geoquímicas e isotópicas destes últimos, sugere que os magmas teriam sido originados com a participação de componentes mantélicos. Diques de diabásio de direção N, NNE e NE são vinculados ao magmatismo mesozoico Rio Pajeú, provavelmente relacionado genética e temporalmente ao Diabásio Penatecaua e à abertura do Oceano Atlântico Central. Sobre as rochas metabásicas se formaram crostas lateríticas que são responsáveis pela sustentação da Serra das Três Palmeiras. Depósitos quaternários se restringem a planícies fluviais. Dentre os bens minerais descritos na Folha Rio Bacajá podem ser enumerados ouro, cobre, rocha ornamental, pedra brita, laterita, quartzo, areia e argila. Em termos potenciais pode-se admitir a possibilidade de depósitos de cobre, chumbo e zinco dos tipos VMS e SEDEX; depósitos apicais disseminados de cobre, molibdênio, ouro e prata; depósitos orogênicos de ouro; depósitos de ouro associados à circulação de fluidos nas auréolas de contato, e depósitos de ouro em domínios de *gossans*. Água subterrânea pode ser prospectada ao longo de descontinuidades estruturais.



# ABSTRACT

---

The Rio Bacajá sheet (1:100.000) is located to the east of the Xingu river and to the south of the Anapu village, in the center-east part of the Pará state, northern Brazil. This area belongs to the Bacajá Domain from the Paleoproterozoic Transamazonas province where Rhyacian rocks predominate over Archean remnants. Geological mapping permitted to identify the large predominance of granitoids outcropping as elongated bodies along the WNW and N60W direction. Subordinated Archean rocks belonging to the Aruanã Complex occur in the northeast and east parts of the Rio Bacajá sheet. These Archean remnants are composed of metabasites (Armezinho Amphibolite) and quartzo-feldspathic gneisses. The Armezinho Amphibolite shows fine-grained granoblastic groundmass that hosts euhedral plagioclase porphyroblasts. These metabasites have iron-rich tholeiitic signature. The quartzo-feldspathic gneisses have syenogranitic and monzogranitic compositions. Sometimes these rocks display porphyritic texture and strong foliation outlined by the preferred orientation of feldspars and biotite and by flattened quartz aggregates. This foliation, probably formed during the Archean, was affected by mylonite zones striking N55W. These granitoids have calc-alkaline composition and crystallization age of  $2586 \pm 7$  Ma. In the south-center part of the Rio Bacajá sheet there is a supracrustal belt of the Três Palmeiras Group, representing fifteen percent of the studied area. This belt strikes in WNW direction and is composed of metabasites and amphibolitic hornfels (Itatá Formation), as well as minor quartzites and phyllites (Bacajá Formation). Metabasites show blastophytic texture and mineral assemblage formed by chlorite, actinolite and epidote reflecting greenschist (chlorite zone) conditions probably in response to seawater metamorphism. Close to the granitoid massifs, metabasites underwent thermal metamorphism under hornblende hornfels conditions. In this case, massive (granoblastic) or foliated (nematoblastic) hornfels are described. The schistosity of these amphibolitic hornfels strikes N60W and WNW and may record the lateral expanding of the granitic chambers coeval with regional compressive stresses. These basic hornfels are crosscut by amphibole-bearing veins, plagioclase-bearing veinlets and erratic hydraulic fractures. These structures are attributed to dehydration reactions and increasing of fluid pressures promoted by the contact metamorphism. Locally, metabasites were deformed by ductile-brittle N60E/85SW shear zones developed under greenschist conditions. Stretching lineation has 270/45 attitude and suggest oblique strike-slip movement during the late stage of the orogenesis. Chemical signature of these metabasites is comparable to that of the tholeiites. In the Bacajá sheet Paleoproterozoic granitoids compose a set of elongated bodies disposed along the WNW and NW directions. These granitoids are divided in three lithostratigraphic unities. The Bacajaí Complex comprises  $2112 \pm 8$  Ma quartzo diorites, tonalites, granodiorites and monzogranites. Sm-Nd dating of rocks from the Bacajaí Complex furnished a TDM age of 2310 Ma and a  $\epsilon_{Nd}$  value of +0.56. The Arapari intrusive suite is composed of quartz diorites, tonalites, granodiorites and monzogranites. A preliminary dating pointed an age of  $2072 \pm 4$  Ma to the Arapari intrusive suite. Sm-Nd dating furnished TDM ages varying from 2100 to 2170 Ma. The  $\epsilon_{Nd}$  values obtained in rocks of the Arapari intrusive suite are +2.11 and +3.04. The João Jorge intrusive suite encloses monzogranites, syenogranites, syenites and monzonites. The syenites have Pb-Pb evaporation of zircon age of  $2076 \pm 2$  Ma. Sm-Nd dating of these rocks indicated a TDM age of 2210 Ma and a positive  $\epsilon_{Nd}$  value (+1.51). These granite suites present structural and geochemical similarities so that it is not evident to subdivide them, mainly when geochronological data are not available. Low contents of incompatible elements, the low FeO/MgO ratios and the fractionated rare-earth elements patterns indicate calc-alkaline signature. In general, these granitoids are weak to strongly foliated. Rhythmic alternating of quartzo-feldspathic levels and ferromagnesian mineral rich levels defines the igneous layering. Sometimes, alternating levels having different grain size draw this layering. Concordant aplite and pegmatite veins may exaggerate the magmatic banding. The undulating shape of this planar structure, beside its homogeneous and pervasive aspect, point to the effect of compressive stresses in a highly plastic material during magmatic crystallization. A magmatic foliation having solid-state components strikes along the N60W direction is penetrative in the regional scale. It is marked by the preferred orientation of feldspars, ferromagnesian minerals and flattened quartz aggregates. This foliation formed during increasing of deformation rates accompanied by decreasing of temperatures, and indicates

synchronicity between granitogenesis and compressive stresses. The metagranitoids from the Bacajaí complex were affected by thermal metamorphism of hornblende to pyroxene hornfels caused by the later granite suites. These thermally metamorphosed metagranitoids present granoblastic textures, reddish biotite and sometimes clinopyroxene. Secondary overgrowing of muscovite on sericite from plagioclase alteration occurs in several granitoids and indicates thermal effects. After crystallization, the granitoids were crosscut by WNW strike-slip ductile zones. Most of these deformed zones follow the boundary of granitic bodies or the contacts between rocks of different ages. WNW steep-dipping phyllonite zones and fault zones are late in the orogen evolution. In the center of the area, there are minor and less elongated bodies of weakly foliated syenites from the João Jorge intrusive suite. They represent the late magmatic pulses in the orogen evolution. Despite of their more potassic compositions, these rocks show rare-earth patterns characterized by relatively low heavy rare earth elements, similarly to the patterns observed in the high-K calc-alkaline and shoshonitic rocks. The granitoid suites from the Rio Bacajaí sheet have petrographic, geochemical, structural and isotopic characteristics that point to a magmatic arc of active continental margin. Diabase dykes striking in the N, NNE and NE directions are associated to the Rio Pajeú Mesozoic magmatism, which is coeval to the opening of the Middle-Atlantic Ocean. Laterites cover the metabasite domains and contribute to sustain the topographic highs there. Quaternary deposits of sand are limited to fluvial plains. In the Rio Bacajaí sheet, one can describe occurrences of gold, copper, ornamental rocks, laterites, quartz, sand and clays. One can admit several metallogenetic models: VMS and SEDEX deposits, Cu-porphyry deposits, orogenic gold deposits, gold deposits associated with circulating fluids within thermal aureoles and gossan-related gold deposits. Structural anisotropies in the Rio Bacajaí Sheet are potential places to underground water.

# SUMÁRIO

---

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 OBJETIVO E MÉTODOS .....	17
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS .....	18
1.3 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS .....	18
1.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS .....	18
1.4.1 Clima .....	18
1.4.2 Vegetação .....	18
1.4.3 Solos .....	18
1.4.4 Hidrografia .....	18
1.4.5 Geomorfologia .....	19
<b>2 CONTEXTO GEOTECTÔNICO REGIONAL</b> .....	<b>23</b>
2.1 AS PROVÍNCIAS DO CRÁTON AMAZÔNICO .....	23
2.1.1 Província Transamazonas .....	25
2.1.1.1 Domínio Bacajá .....	25
<b>3 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS</b> .....	<b>27</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	27
3.2 COMPLEXO ARUANÃ (A4ar).....	27
3.2.1 Anfibolito Armezinho (A4ara) .....	27
3.2.2 Ortognaisses e metagranitoides (A4ar) .....	28
3.3 GRUPO TRÊS PALMEIRAS (PP1tp) .....	34
3.3.1 Formação Itatá (PP1tpi) .....	35
3.3.2 Formação Bacajá (PP1tpb) .....	38
3.4 COMPLEXO BACAJAÍ (PP2bj) .....	40
3.5 SUÍTE INTRUSIVA ARAPARI (PP2γ2ar) .....	48
3.6 SUÍTE INTRUSIVA JOÃO JORGE (PP2γjj) .....	60
3.6.1 Monzogranitos e sienogranitos (PP2γjjg) .....	63
3.6.2 Sienitos e monzonitos (PP2γjjs) .....	68
3.7 DIABÁSIO RIO PAJEÚ (TJδrp) .....	72
3.8 COBERTURAS LATERÍTICAS MATURAS (E13lm) .....	72
3.9 DEPÓSITOS ALUVIONARES (Q2a) .....	73
<b>4 GEOLOGIA ESTRUTURAL</b> .....	<b>75</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	75
4.2 COMPLEXO ARUANÃ - ANFIBOLITO ARMEZINHO .....	75
4.3 COMPLEXO ARUANÃ - ORTOGNAISSES E METAGRANITOIDES .....	75
4.4 GRUPO TRÊS PALMEIRAS .....	76
4.4.1 Formação Itatá .....	77
4.4.2 Formação Bacajá .....	79
4.5 COMPLEXO BACAJAÍ .....	79
4.6 SUÍTE INTRUSIVA ARAPARI .....	80
4.7 SUÍTE INTRUSIVA JOÃO JORGE .....	82
4.8 DISCUSSÕES .....	83
4.9 ZONAS MILONÍTICAS .....	86
4.10 ZONA FILONÍTICA .....	86
4.11 ESTRUTURAS RÚPTEIS .....	87
<b>5 RECURSOS E POTENCIAL MINERAL</b> .....	<b>89</b>
5.1 RECURSOS MINERAIS .....	89

5.2 POTENCIAL MINERAL .....	90
5.2.1 Depósitos de sulfeto maciço vulcanogênico (VMS) .....	90
5.2.2 Depósitos sedimentares exalativos (SEDEX) .....	91
5.2.3 Depósitos apicais disseminados (tipo pórfiro) .....	91
5.2.4 Depósitos de Au orogenético .....	91
5.2.5 Depósitos de Au em sistemas hidrotermais associados a auréolas de contato .....	91
5.2.6 Depósitos de Au associados a <i>gossans</i> .....	92
5.2.7 Água subterrânea .....	92
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>99</b>

# **GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA FOLHA RIO BACAJÁ**

---

**ESTADO DO PARÁ**





# 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho faz parte do Programa Geologia do Brasil (PGB), contempla a cartografia geológica e o cadastramento de recursos minerais da Folha Rio Bacajá (SA.22-Y-D-VI), na escala 1:100.000, compreendendo uma área de 3.025 km<sup>2</sup>. A Folha Rio Bacajá se insere no Domínio Bacajá, o qual pertence à Província Transamazonas, de idade paleoproterozoica. São apresentados os dados da cartografia geológica, petrografia, geologia estrutural, geoquímica, geocronologia e isótopos de rochas das diferentes unidades cartografadas na Folha Rio Bacajá. Os produtos geofísicos resultaram dos aerolevamentos gamaespectrométricos e magnetométricos realizados no ano de 2004, no Projeto Anapu-Tuerê (CPRM). A integração dos dados permitiu o aprimoramento da cartografia e a proposição de um modelo tectono-termal, metalogenético e geodinâmico.

## 1.1 OBJETIVOS E MÉTODOS

Este trabalho objetiva apresentar a cartografia geológica da Folha Rio Bacajá, na escala 1:100.000, a partir da integração de dados de campo, aerogeofísicos, estruturais, petrográficos, litogeoquímicos e geocronológicos. Os resultados podem contribuir para o avanço no entendimento da estratigrafia e da evolução petrológica das rochas da Folha Rio Bacajá, especialmente das rochas plutônicas. Pretende-se contribuir para o melhor entendimento sobre a evolução das faixas móveis paleoproterozoicas.

Atividades pré-campo: pesquisa bibliográfica sobre a geologia regional; consulta da carta topográfica Rio Bacajá (1:100.000) de 1976 realizada pelo Exército Brasileiro (carta disponível no IBGE) e consulta de imagens SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*, para a confecção de mapas-base.

Interpretação de dados aerogeofísicos: A interpretação de feições estruturais a partir dos dados magnetométricos baseou-se nos lineamentos realçados pelo gradiente magnético. O traçado visual dos lineamentos foi feito a partir da distribuição ternária das diferentes ordens de diferenciação das DV's na composição ternária  $R\ 0.75$ ,  $G\ 1.00$ ,  $B\ 1.25$ . Esses lineamentos são relacionados a possíveis traços de fraturas e/ou falhas, situados em superfície ou sub-superfície. Considerando a natureza dessas feições, foram identificados dois grandes grupos de lineamentos: 1) Grupo dúctil a dúctil-rúptil, contínuo ou descontínuo, regular, espaçado e concentrado nas regiões sul e norte da área do aerolevamento geofísico. Engloba traços de estruturas planares primárias ou tectônicas. Na área, estes lineamentos possuem direção preferencial

E-W, e local inflexão para WNW-ESE. 2) Grupo de natureza rúptil a rúptil-dúctil, descontínuo, irregular, disperso por toda a área do aerolevamento geofísico, corresponde a cristas e vales magnéticos, que podem estar relacionados a traços de falhas e/ou fraturas. Na área estes lineamentos seguem as direções E-W; WNW-ESE; NNE-SSW; NW-SE e N-S. As imagens aerogeofísicas auxiliaram na delimitação de domínios litológicos ou faciológicos, sendo particularmente úteis para a cartografia de rochas metabásicas e de diques de diabásio.

Mapas aerogeofísicos (gamaespectrometria e magnetometria) foram utilizados na delimitação de domínios litológicos ou faciológicos.

Os dados aerogeofísicos gamaespectrométricos e magnéticos foram obtidos no levantamento Aerogeofísico Anapu-Tuerê (2004), no âmbito do "Programa Geologia do Brasil" (PGB), o qual foi desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil. Os perfis foram dispostos em 310 linhas de produção de direção N-S, com espaçamento de 0,5 Km, além de 30 linhas de controle de direção E-W, com espaçamento de 10 Km.

Atividades de campo: realização de uma etapa de campo com duração de 20 dias (05-25/07/2010), tendo-se como base logística a cidade de Anapu. Foram percorridos cerca de 1300 Km de estradas em veículo 4x4, e descritos 170 afloramentos em seus aspectos mineralógicos, texturais e estruturais, e 90% dos pontos foram amostrados. Foram medidas atitudes de elementos planares e lineares, cuja classificação seguiu as recomendações de Davis e Reynolds (1996). As estruturas magmáticas foram classificadas conforme Pawley e Collins (2002) e Barbey (2009). Foi feita a atualização dos dados planimétricos, incluindo nomes de estradas vicinais e de rios. Para localização dos pontos empregou-se carta topográfica, imagens de satélite e GPS.

Atividades de laboratório: confecção de 85 lâminas petrográficas e realização de 36 análises químicas, sendo 28 de granitoides e 8 de anfíbolitos. As lâminas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação da UFPR. Nas descrições petrográficas foram adotadas as seguintes classes de tamanhos de cristais (cf. COSTA, 2013): (< 0,1 mm: muito fino; > 0,1 e < 1,0 mm: fino; > 1,0 e < 5,0 mm: médio; > 5,0 e < 3,0 cm: grosso; > 3,0 cm: muito grosso). Para a classificação de texturas foi adotada a proposta de Mackenzie, Donaldson e Guilford (1982).

Análises de minerais opacos foram feitas em microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM-6010LA do Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) do Departamento de Geologia da UFPR. Para a definição dos domínios dos

diferentes granitoides foram realizadas repetidas comparações dos dados petrográficos com os dados aerogeofísicos e com descrições de afloramentos. Medidas de lineação foram obtidas no escritório a partir de amostras orientadas. Para o tratamento dos dados litogeoquímicos foram confeccionados diagramas de variação e discriminantes. As datações foram realizadas pelo método Pb-Pb evaporação em cristais de zircão, no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará (Pará-Iso). A leitura das razões de isótopos foi feita no espectrômetro de massa Finnigan MAT 262. Os dados de isótopos de Sm e Nd em rocha total foram obtidos no Laboratório de Geocronologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área da Folha Rio Bacajá é delimitada pelas coordenadas geográficas 3°30' - 4°00' de latitude sul e 51°00' - 51°30' de longitude oeste de Greenwich (Figura 1.1). A Folha Rio Bacajá insere-se na quadrícula sudeste (de número VI) da Folha Altamira (SA.22-Y-D, 1:250.000). Está localizada no centro-leste do Estado do Pará, entre os rios Xingu e Tocantins, a sul da rodovia Transamazônica (BR-230) e da cidade de Anapu. Situa-se no limite entre as terras baixas da planície amazônica e o início do planalto central do Brasil, ao norte da Serra dos Carajás. O acesso se faz através de estradas de terra, vicinais da rodovia Transamazônica, que conecta as cidades de Marabá e Altamira. Ambas possuem aeroportos nacionais. O acesso à área, a partir de Altamira, se faz pela rodovia Transamazônica, por 161 km em direção a Anapu. As estradas vicinais adjacentes a Anapu na direção sul são os acessos à área estudada. Devido ao período das chuvas o acesso pelas estradas vicinais torna-se bastante prejudicado, limitando-se, naquele período, às vicinais de tráfego mais intenso.

## 1.3 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Segundo os dados do IBGE (2015), a economia de Anapu se baseia em serviços (42,9%), em atividades agropecuárias (22,7%) e industriais (8,5%). Destacam-se o comércio, pecuária, o plantio de cacau, pimenta, urucum e hortaliças, e a coleta de frutas nativas. A indústria se limita à transformação de madeira extraída na região. A mineração é exercida atualmente de modo pouco expressivo e representada pela extração de ouro.

## 1.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

### 1.4.1 Clima

Por estar na região Amazônica, na Folha Rio Bacajá o clima é tropical úmido com temperaturas

elevadas durante todo o ano. As temperaturas têm média máxima anual de 24°C a 37°C entre junho e novembro e média mínima anual de 21°C a 32°C entre dezembro e junho. A estação chuvosa começa em novembro e atinge o máximo em março e abril (430 mm de pluviosidade). Há então um declínio abrupto em maio (230 mm) e junho (100 mm), marcando o fim da estação chuvosa. Agosto (20 mm) e setembro são os meses mais secos.

### 1.4.2 Vegetação

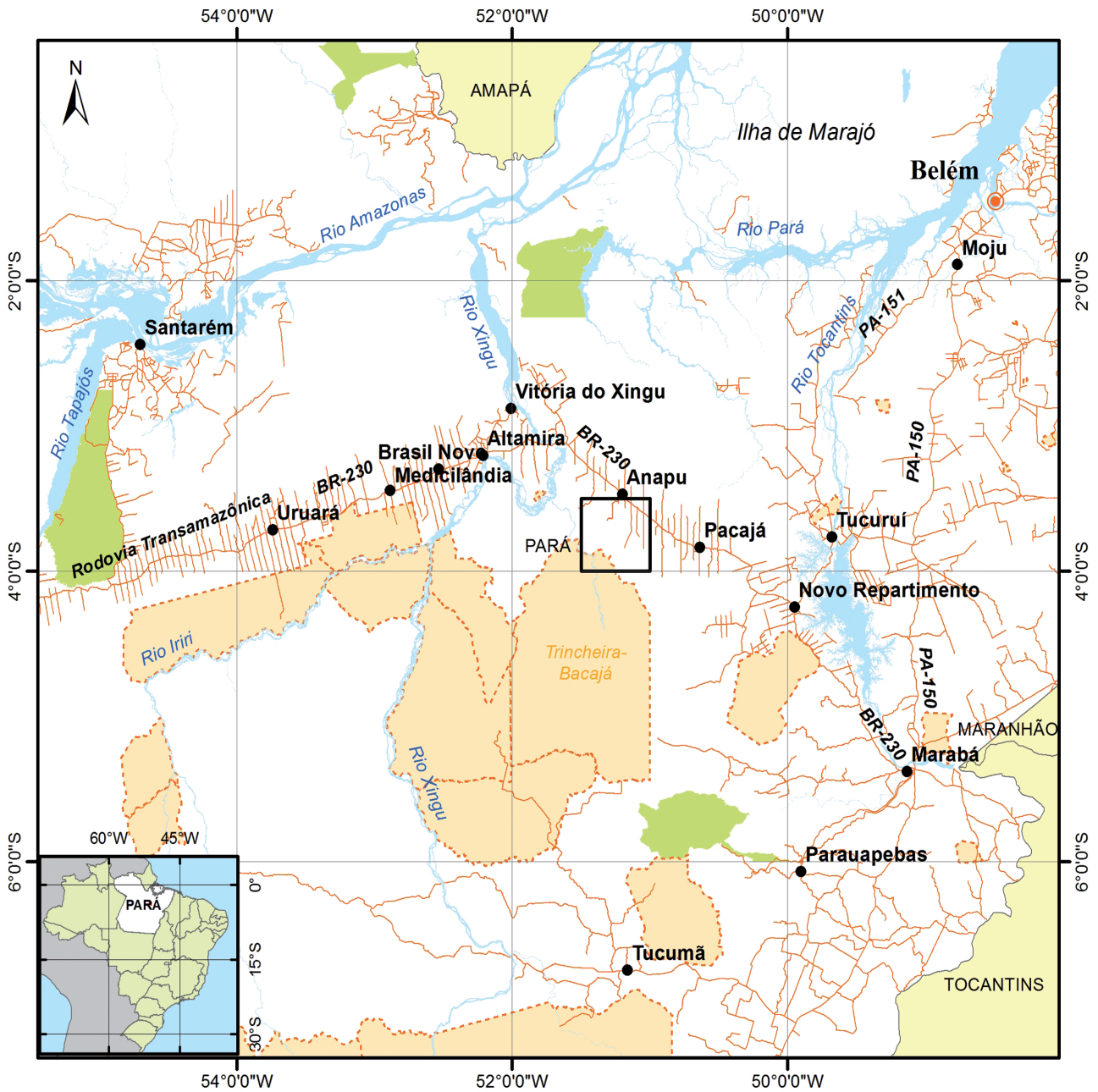
A vegetação na área da Folha Rio Bacajá é constituída por árvores de grande porte nos domínios não desmatados ou pouco modificados (Figura 1.2). Predominam açazais nas proximidades de nascentes de rios, em que a cobertura vegetal original foi parcialmente retirada. Ao longo das estradas vicinais são comuns áreas parcialmente ou completamente desmatadas e substituídas por pastagens, muitas das quais começam a ser ocupadas por babaçus (Figura 1.3). Nestas pastagens, são comuns castanheiras pretensamente preservadas do corte, porém, por conta de sucessivas queimadas e da ausência da vegetação adjacente, elas acabam se mantendo em pé já sem vida. Nos domínios de rochas básicas e metabásicas são comuns os caueiros.

### 1.4.3 Solos

Sobre as rochas metabásicas do Grupo Três Palmeiras e sobre os domínios de diques mesozóicos do Diabásio Rio Pajeú o solo tem cor castanho avermelhado e natureza argilosa, podendo ser classificado como do tipo latossolo roxo. Sobre as áreas de metapelitos da Formação Bacajá, o solo é castanho avermelhado claro e tem natureza argilosa a areno-argilosa. Nos domínios de quartzitos da Formação Bacajá o solo arenoso tem cor bege. Sobre as rochas metagranitoides do Complexo Bacajaí e sobre as rochas granitoides das suítes intrusivas Arapari e João Jorge o solo tem cor castanho claro a bege e natureza areno-argilosa (Figuras 1.4 A-D).

### 1.4.4 Hidrografia

Na área da Folha Rio Bacajá a rede de drenagem é densa e perene. Há também um conjunto de vertentes intermitentes ou temporárias, acionadas na estação chuvosa. Os rios Bacajá e Anapu são os principais elementos hidrográficos da Folha. O rio Anapu atravessa a Folha de sul a norte, possui traçado retilíneo de direção NNE e N que parece estar condicionado a estruturas rúpteis provavelmente formadas durante a intrusão dos diques de diabásio. Os cursos dos afluentes dos rios Bacajá e Anapu tendem a obedecer às orientações das estruturas geológicas, principalmente WNW-ESE,



**Legenda**

- Capital estadual
- Cidades
- Estradas
- Massa d'água
- Terras indígenas
- Unidades de conservação
- Folha Rio Bacajá (SA.22-Y-D-VI)

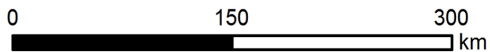


Figura 1.1 – Localização da Folha Rio Bacajá.

NE-SW e E-W (Figura 1.5). Devido à proximidade altimétrica com o nível de base nos rios Xingu e Pará, os canais possuem gradientes baixos, e não apresentam corredeiras ou quedas d'água, exceto próximo aos flancos sul e norte da Serra das Três Palmeiras.

**1.4.5 Geomorfologia**

Os elementos marcantes da paisagem são a Serra das Três Palmeiras (Figuras 1.5 e 1.6), a Serra da Merenda e as planícies de inundação dos rios Ba-

cajá e Anapu. No restante da área há colinas suaves ou morros mamelonares (150-200 m de altitude) entremeados por planícies (100-150 m). As serras alcançam cotas pouco acima de 300 m, e podem formar platôs extensos. A Serra das Três Palmeiras é uma morfoestrutura alinhada na direção WNW e que mostra leve sinuosidade em planta, seguindo a sequência metavulcanossedimentar.

Nas áreas de anfibolitos há platôs com topos planos, situados entre cotas de 250 a 300 m. Segundo Horbe et al. (2001), a duricrosta laterítica é responsável pela preservação dos platôs contra a erosão (Figuras 1.5 e 1.6).





Figura 1.2 - Vegetação primária da Folha Rio Bacajá, caracterizada por abundantes árvores de grande porte.



Figura 1.3 - Área da Folha Rio Bacajá desmatada, transformada em pastagens e ocupada por babaçus.



Figura 1.4 - Tipos de solos descritos na Folha Rio Bacajá. A) Latossolo roxo sobre rocha metabásica. B) Solo arenoso de cor castanho avermelhado sobre metapelitos. C) Solo arenoso de cor castanho claro formado sobre quartzitos. D) Solo areno-argiloso formado sobre granitos.



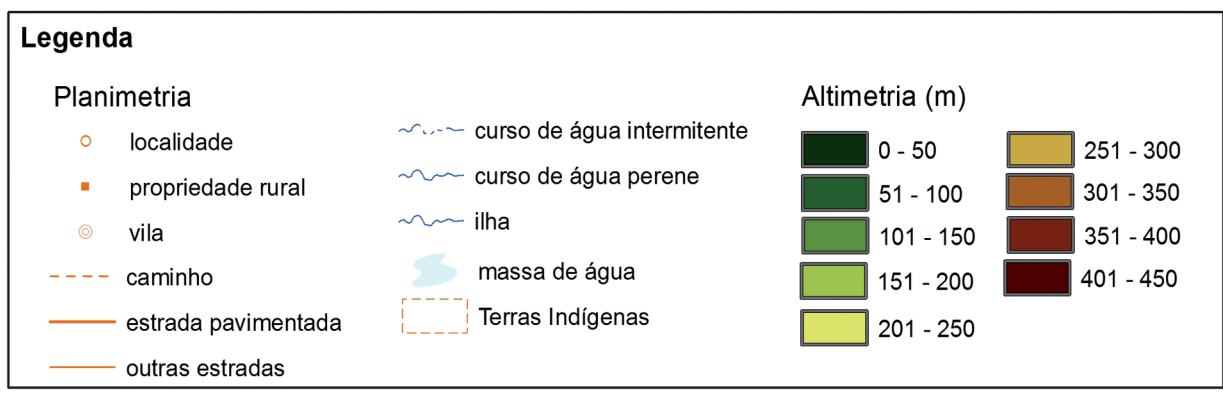
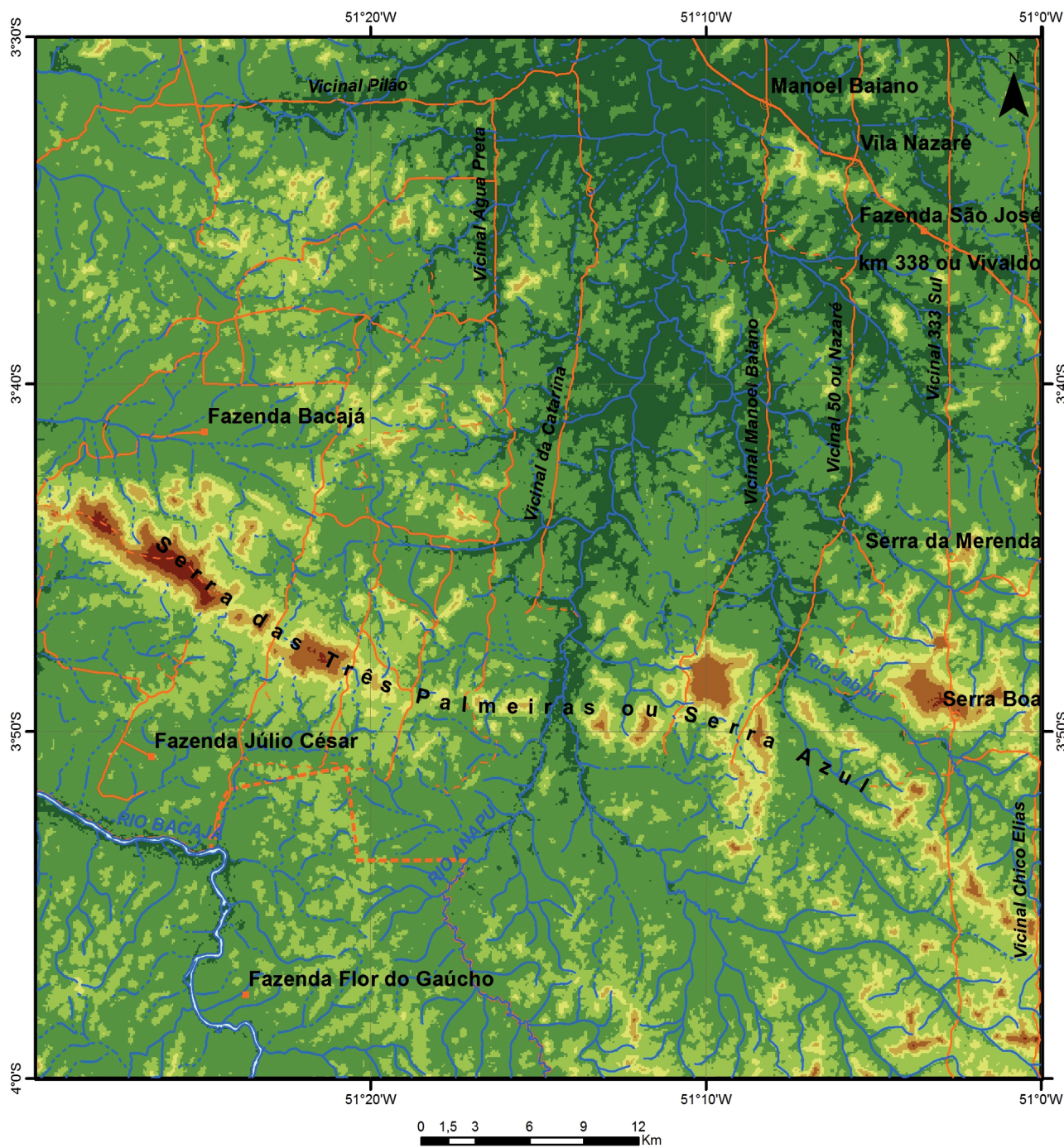


Figura 1.5 - Mapa de feições de relevo e da hidrografia da Folha Rio Bacajá. Notar indicação das principais estradas vicinais. Fonte de dados altimétricos: CPRM.



*Figura 1.6 - Aspectos da geomorfologia da Folha Rio Bacajá, mostrando relevo levemente ondulado nas áreas de granitos e ao fundo a Serra das Três Palmeiras (vista de norte para sul).*



## 2 CONTEXTO GEOTECTÔNICO REGIONAL

O Cráton Amazônico é uma das maiores unidades tectônicas do continente sul-americano, estabilizada há cerca de 1,0 Ga (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999) (Figuras 2.1, 2.2). Durante o Ciclo Brasileiro, se comportou como região cratônica, quando das colagens com os crátons São Francisco-Oeste Africano, Congo e Paranapanema, na gênese do supercontinente Gondwana (CORDANI, 2000). As faixas móveis neoproterozoicas Paraguai-Araguaia-Tocantins representam os cinturões de amalgamação entre as regiões cratônicas e margeiam o Cráton Amazônico a leste e a sul.

O Cráton Amazônico é parcialmente coberto pelas bacias fanerozoicas do Solimões e Amazonas, que se distribuem em uma faixa WSW-ENE que, por sua vez, divide o cráton nos escudos das Guianas, a norte, e Brasil Central ou Guaporé, a sul. Adicional-

mente, as bacias cenozoicas de antepaís subandinas encobrem a porção ocidental do cráton, enquanto sedimentos fluviais, transicionais e costeiros recentes depositam-se em planícies aluvionares no interior e no litoral setentrional.

### 2.1 AS PROVÍNCIAS DO CRÁTON AMAZÔNICO

Tassinari e Macambira (1999, 2004) definiram seis províncias geocronológicas para o Cráton Amazônico (Figura 2.1). Segundo os autores, a Província Amazônica Central corresponde ao núcleo arqueano, mais antigo que 2,3 Ga. As outras províncias são paleoproterozoicas a mesoproterozoicas, assim denominadas: Maroni-Itacaiúnas (2,2-1,95 Ga), Ventuari-Tapajós (1,95-1,80 Ga), Rio Negro-Juruena (1,80-

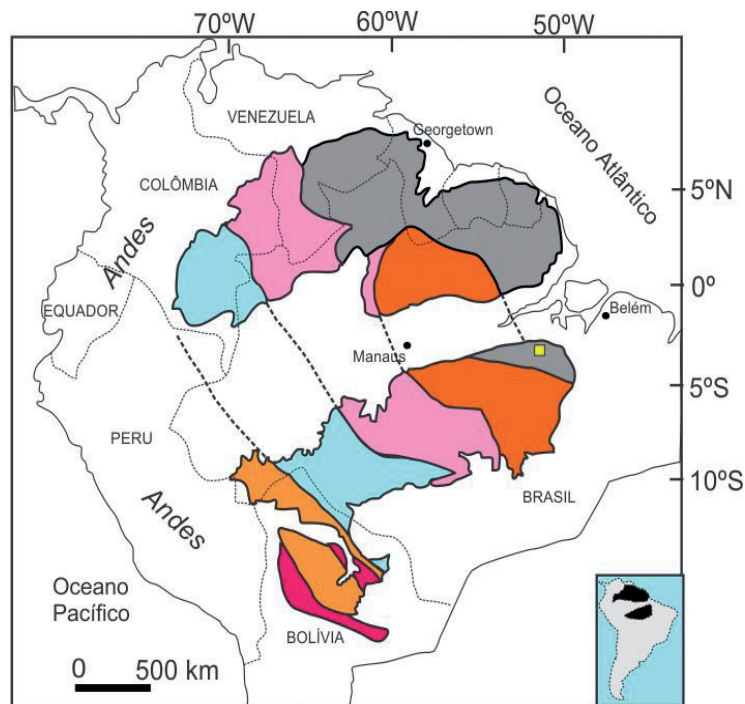


Figura 2.1 - Mapa de províncias geocronológicas do Cráton Amazônico, segundo Tassinari e Macambira (2004).

1,55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1,55-1,30 Ga) e Sunsás (1,30-1,0 Ga).

Santos et al. (2000) subdividiram o cráton em sete províncias tectônicas ou geocronológicas. São elas: Carajás (3,0-2,5 Ga), Transamazonas (2,26-1,99 Ga), Tapajós-Parima (2,03-1,86 Ga), Amazônia Central (1,9-1,86 Ga), Rondônia-Juruena (1,85-1,54 Ga), Rio Negro (1,82-1,52 Ga) e Sunsás (1,45-1,0 Ga) (Figura 4).

Neste trabalho prefere-se o uso da proposta de Santos et al. (2000), atualizada por Santos (2003) e Vasquez e Rosa-Costa (2008) (Figura 4). Embora se admita que em ambas as propostas há problemas de nomenclatura das unidades do cráton que ainda precisam de ajustes, conforme os próprios autores apontam, mas a nomenclatura usada por Santos e colaboradores possui um apoio

cartográfico maior, com limites geográficos mais bem definidos. Por exemplo, a nomenclatura Maroni-Itacaiúnas pode ser confusa, visto que o rio e a serra denominados Itacaiúnas estão inseridos no terreno Carajás, de idade arqueana. A designação Transamazonas para esta província é considerado mais adequado, pois remete ao ciclo proposto em por Hurley et al. (1967), como *Transamazonian Orogenic Cycle*, desenvolvido entre 2,2 e 1,99 Ga em áreas da Amazônia, Guianas e África Ocidental. Contudo, é necessário cautela para não confundir o objetivo e abrangência primários dos nomes propostos, com o seu objetivo e abrangência atuais, conduzindo a incongruências. Embora o termo Transamazonas seja válido, pois referencia rochas geradas ou retrabalhadas durante o Ciclo Transamazônico (2,26-1,99 Ga), que na literatura é en-

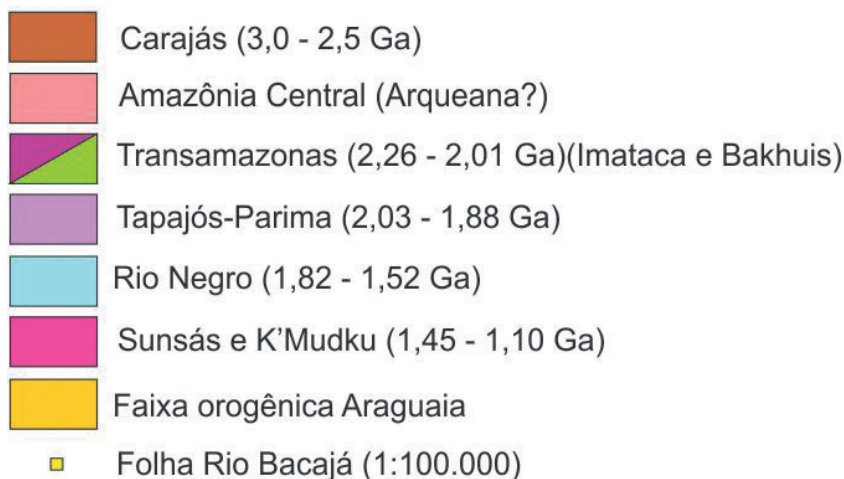
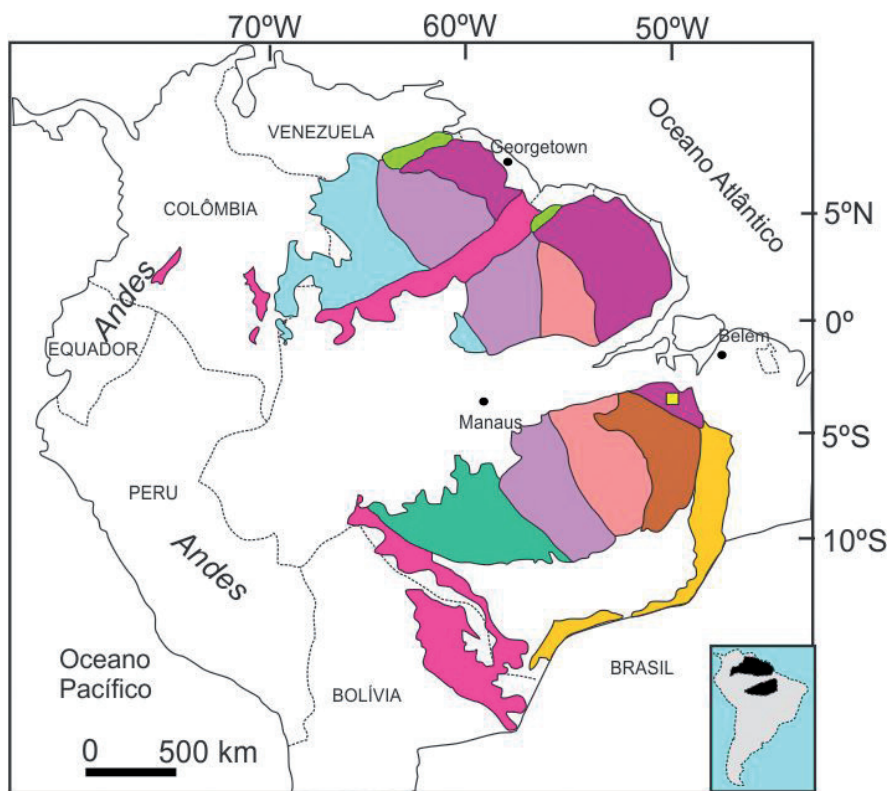


Figura 2.2 - Mapa de províncias geocronológicas do Cráton Amazônico, segundo Santos et al. (2000).

contrado como sinônimo de Paleoproterozoico, ou como referência ao Riáciano Superior-Orosiriano (SANTOS et al., 2000).

A Folha Rio Bacajá está situada na região central da Província Transamazonas/Maroni-Itacaiúnas, que perfaz uma das regiões mais antigas do continente sul-americano, estabilizada há cerca de 1,99 Ga (TASSINARI; MACAMBIRA, 2004; SANTOS et al., 2000). Esta região corresponde ao Domínio Bacajá, da Província Transamazonas (SANTOS, 2003; VASQUEZ; MACAMBIRA; ARMSTRONG, 2008).

### 2.1.1 Província Transamazonas

No território brasileiro, a Província Transamazonas (SANTOS, 2003; VASQUEZ; MACAMBIRA; ARMSTRONG, 2008) ocorre nos escudos das Guianas e Brasil Central. De acordo com Santos (2003), a Província Transamazonas resulta de uma orogenia relacionada ao Ciclo Transamazônico (2,26-1,95 Ga). Comparada à proposta de Tassinari e Macambira (1999, 2004), esta faixa móvel paleoproterozoica corresponde, em linhas gerais, à Província Maroni-Itacaiúnas. Conforme Vasquez, Macambira e Armstrong (2008), a província é formada por extensas áreas paleoproterozoicas e terrenos arqueanos retrabalhados durante a orogenia, dentre os quais se destacam os blocos Amapá e Imataca (Venezuela). O Domínio Bacajá é limitado a sul pela Província Carajás, a oeste pelo Domínio Iriri-Xingu da Província Amazônia Central, a leste pelo Cinturão Araguaia, e a norte é encoberto pela Bacia Sedimentar do Amazonas.

#### 2.1.1.1 Domínio Bacajá

João, Vale e Lobato (1987) e Vasquez, Macambira e Armstrong (2008) agrupam as unidades deste domínio de acordo com sua gênese, que pode estar relacionada ao retrabalhamento de fragmentos mais antigos no Riáciano, ou diretamente à evolução do orógeno riáciano (arcos de ilha, arcos continentais e colisão continental). Macambira et al. (2009), com base em dados geocronológicos, mostram que a evolução crustal do Domínio Bacajá resultou de diferentes episódios tectono-magmáticos.

#### Rochas do embasamento arqueano

Gnaisses tonalíticos do Domínio Bacajá, atribuídos ao Complexo Xingu (SOUZA; MACAMBIRA; KOTSHOUBEY, 2003; SOUZA, KOTSCHOUBEY, 2005), foram datados por Macambira et al. (2009) pelo método Pb-Pb evaporação de zircão, sendo obtida a idade de idade de 2671 ± 3 Ma.

Vasquez, Macambira e Armstrong (2008) incluíram unidades de alto grau do Domínio Bacajá na Associação Granulítica Arqueana-Paleoproterozoica, que engloba as rochas metassedimentares pertencentes ao Granulito Novolândia e Paragnaisse

Ipiaçava, o Ortogranulito Máfico Rio Preto e o complexo granulítico ortoderivado Cajazeiras. As fontes detríticas para o Paragnaisse Ipiaçava (oeste do domínio) são mesoarqueanas a siderianas e as idades de metamorfismo estão em torno de 2,10 e 2,07 Ga. A primeira idade é interpretada por Macambira et al. (2009) como reflexo do metamorfismo de alto grau relacionado ao pico da colisão. A segunda idade é atribuída ao metamorfismo granulítico de baixa pressão da extensão crustal pós-colisional.

De acordo com Macambira et al. (2009), os granulitos ortoderivados forneceram idades para os protólitos entre 3009 ± 27 Ma e 2606 ± 6 Ma e idades metamórficas preferencialmente próximas de 2,07 Ga. Os mesmos autores obtiveram uma idade metamórfica de 2064 ± 4 Ma para o Granulito Novolândia (leste do domínio).

Segundo Macambira et al. (2009), outra unidade igualmente antiga corresponde aos granitoides siderianos, cristalizados há cerca de 2,44 Ga, que representam crosta continental retrabalhada, provavelmente em um arco continental. Nas proximidades da localidade de Brasil Novo e Belo Monte há gnaisses quartzo dioríticos e quartzo monzodioríticos considerados como porções remanescentes crustais siderianas.

Os ortognaisses de fácies anfibolito (ortognaisses Pacajá e Uruará) e o Metatonalito Rio Bacajá foram agrupados por Vasquez, Macambira e Armstrong (2008) na Associação Granito-Gnáissico-Migmatítica Arqueana-Paleoproterozoica. Segundo os autores, os protólitos ígneos remetem idades entre 2671 ± 3 Ma e 2313 ± 9 Ma e uma idade de 2195 ± 3 Ma, obtida no Ortognaisse Pacajá, pode traduzir um episódio de migmatização. Os isótopos de Nd destas unidades apontam para fontes juvenis ( $T_{DM}$  de 2,67 Ga e  $\epsilon Nd$  de +2,7) e crustais ( $T_{DM}$  de 3,10 Ga e  $\epsilon Nd$  de -10,8).

#### Arcos oceânicos remanescentes

De acordo com Macambira et al. (2009), o *greenstone belt* Três Palmeiras engloba as primeiras rochas supracrustais siderianas formadas no cráton, representadas por uma associação vulcano-plutônica com idade de 2,36 a 2,34 Ga, relacionada a porções de arcos de ilhas ou de assoalho oceânico, que colidiram contra a margem continental ativa e, por isso, a unidade se cerca de rochas continentais mais jovens. Segundo aqueles autores, há metatonalitos, metadioritos e meta-andesitos siderianos (2,36 a 2,31 Ga) associados ao *greenstone belt* Três Palmeiras e ao Metatonalito Rio Bacajá (Complexo Jacaré). Os dados de isótopos de Nd obtidos no Grupo Três Palmeiras ( $\epsilon Nd$  de +1,73 a +1,64 e  $T_{DM}$  de 2,47 e 2,49 Ga) sugerem relação com acreção juvenil, iniciada há cerca de 2,36 Ga (Vasquez, 2006).

Outras unidades metavulcanos-sedimentares correspondem ao Grupo Vila União e à Sequência de Rochas Supracrustais. De acordo com Vasquez, Macambira e Armstrong (2008), a presença de *greenstone-belts* siderianos (Grupo Três Palmeiras) e até arqueanos (Vila União) no Domínio Bacajá, o



distingue de outros domínios da Província Transamazonas, onde estas sequências estão relacionadas a bacias de arcos magmáticos riacianos.

João, Vale e Lobato (1987) atribuíram a porção superior do *greensonte-belt* Três Palmeiras ao Mica-xisto Bacajá enquanto a porção basal é descrita como Anfibolito Itatá. Faraco et al. (2005) também identificaram estas rochas no Domínio Bacajá. A unidade de topo é formada por metadacitos transformados em micaxistos, quartzo-sericita xistos, associados a meta-tufos, filitos, quartzitos e formações ferríferas bandadas, pouco foliados e metamorfisados nas fácies xisto-verde e anfibolito. A unidade basal, o Anfibolito Itatá, é formada por anfibolitos e actinolita xistos de textura nematoblástica e com assinatura subalcalina toleítica.

Segundo Faraco et al. (2005), importantes falhas balizam e cortam a unidade Três Palmeiras, originando cataclastos, milonitos e sequências dobradas. A xistosidade tem mergulhos superiores a 60° (JOÃO; VALE; LOBATO, 1987). De acordo com Faraco et al. (2005), a serra onde afloram estas rochas metavulcânicas é alongada segundo a direção E-W, com cristas assimétricas paralelas a raros platôs remanescentes de espessa crosta laterítica responsável pela sua preservação. Ainda segundo os autores, na década de 1980 foram cadastrados 20 garimpos, 2 depósitos primários e 17 indícios de ouro na região da sequência metavulcano-sedimentar. O ouro está comumente associado à scheelita e ocorre em veios de quartzo encaixados em xistos máficos e anfibolitos, que se estendem para os granitos nas zonas de contato. Um dos depósitos tem reserva de cerca de 19 toneladas de ouro. Cassiterita ocorre em rios que drenam a área do Anfibolito Itatá (FARACO et al., 2005).

## Granitoides Riacianos

Macambira et al. (2009) identificaram diferentes períodos de intrusão de granitoides riacianos, entre 2,22 e 2,08 Ga, evidenciando três estágios orogênicos.

O primeiro estágio teria ocorrido em ambiente de arco continental, entre 2,22 e 2,18 Ga, quando parte da crosta arqueana fundiu e gerou os magmas. O segundo estágio envolveu magmas com componentes juvenis cristalizados entre 2,16 e 2,13 Ga. O terceiro estágio se processou entre 2,09 e 2,07 Ga, com a intrusão de granodioritos, monzogranitos e charnockitos gerados pela fusão de crosta juvenil re-trabalhada. Os granitoides mais jovens são mais evoluídos quimicamente e menos deformados.

Vasquez, Macambira e Armstrong (2008) descrevem três unidades litotectônicas atribuídas aos três estágios orogenéticos. As Suítes Plutônicas Pré-Colisionais abrangem granitoides com idades entre  $2215 \pm 2$  Ma e  $2133 \pm 10$  Ma. Para Vasquez (2006) estas rochas se relacionam a arcos magmáticos riacianos, instalados nas bordas de um continente no Sideriano. Os granitoides incluídos são: Tonalito Brasil Novo, granodioritos Oca e Belo Monte, Monzogranito Piranhaquara e Metatonalito Tapiranga. Os dados isotópicos de Nd apontam fontes variadas para esses granitoides pré-colisionais, com pouca ( $\epsilon Nd$  de -1,59 e -0,71 e  $T_{DM}$  de

2,47 e 2,49 Ga) a significativa contribuição crustal ( $\epsilon Nd$  de -4,29 a -6,36 e  $T_{DM}$  de 2,74 a 2,93 Ga).

Os charnockitos do Complexo Bacajá, o Granodiorito Babaquara e o Granito Canaã não apresentam composições típicas de granitoides sin-colisionais, e suas idades em torno de 2,1 Ga são contemporâneas ao clímax da colisão continental e por isso foram agrupados nas Suítes Plutônicas Sin- a Tardi-Colisionais (VASQUEZ et al., 2008a). Os dados de isótopos de Nd indicam contribuições crustais ( $\epsilon Nd$  de -3,40 e -3,45 e TDM de 2,59 e 2,54 Ga) (VASQUEZ, 2006).

Charnockitos e granitos das suítes Arapari e João Jorge, intensamente controlados pelas transcorrências de direção NW-SE e WNW-ESE e datados entre  $2086 \pm 5$  Ma e  $2096 \pm 6$  Ma, intrudiram após a colisão continental de ca. 2,1 Ga e são reunidos nas Suítes Plutônicas Tardi- a Pós-Colisionais. Ainda de acordo com Vasquez, Macambira e Armstrong (2008), os isótopos de Nd indicam que suas fontes são crustais e que a componente de crosta arqueana é mais significativa nos granitos ( $\epsilon Nd$  de -4,12 a -6,49 e  $T_{DM}$  de 2,57 e 2,73 Ga) que nos charnockitos ( $\epsilon Nd$  de -2,40 e -3,12 e  $T_{DM}$  de 2,46 e 2,47 Ga). Localmente afloram granitos com componente sideriana e restrita participação crustal ( $\epsilon Nd$  de -0,60 e  $T_{DM}$  de 2,33 Ga).

Os estudos de Barros et al. (2007) nas imediações da rodovia Transamazônica, entre as localidades de Novo Repartimento e Belo Monte, indicam a presença de granitoides paleoproterozoicos provavelmente associados aos estágios finais de orogênia riaciana-orosiriana da Província Transamazonas, frente a idade de  $2076 \pm 6$  Ma, obtida por meio do método de evaporação de Pb em zircão.

Na área de estudo são descritos monzogranitos, granodioritos, tonalitos, sienogranitos e quartzo dioritos, relacionados às Suítes Plutônicas Sin- a Tardi-Colisionais e Tardi- a Pós-Colisionais propostas por Vasquez, Macambira e Armstrong (2008). Barros et al. (op. cit.) observaram nestes granitoides acamamentos magmáticos primários ( $S_0$ ), foliações magmáticas secundárias ( $S_1$ ), zonas de cisalhamento ( $S_{1m}$ ) de alta temperatura e também dobras e ondulações de fluxo. De acordo com estes autores, o padrão de estruturas presentes nos granitos paleoproterozoicos do Domínio Bacajá refletem contemporaneidade entre a deformação regional e a colocação de volumosos magmas intermediários a ácidos. Os autores sugerem que a transição de estruturas precoces ( $S_0$  e  $S_1$ ) de alta temperatura para feições de temperaturas moderadas e relativamente baixas reflete aumento da deformação e diminuição da temperatura. Milonitos com espessura métrica têm direção concordante às estruturas regionais. Os granitos do Domínio Bacajá nas imediações da rodovia Transamazônica formam um cinturão plutônico de arcos magmáticos.

Além dos três estágios de granitogênese sugeridos por Macambira et al. (2009), Vasquez, Macambira e Armstrong (2008) propõem ainda a Suíte Plutônica Pós-Orogênica, formada pelo Granodiorito Sant'Ana, de  $1986 \pm 5$  Ma, cuja origem tem significativa contribuição crustal neoarqueana ( $\epsilon Nd$  de -8,89 e  $T_{DM}$  de 2,83 Ga) (VASQUEZ, 2006).

## 3 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

### 3.1 INTRODUÇÃO

Na Folha Rio Bacajá foram identificadas nove unidades litoestratigráficas com base nas características petrográficas, geoquímicas e estruturais, nas relações de contato, nas datações Pb-Pb evaporação de zircão e nos padrões aerogeofísicos.

Dentre as unidades descritas, uma tem idade arqueana (Complexo Aruanã), quatro são paleoproterozoicas (Grupo Três Palmeiras, Complexo Bacajaí, Suíte Intrusiva Arapari e Suíte Intrusiva João Jorge), uma unidade é mesozoica (Diabásio Rio Pajeú), e duas unidades são cenozoicas (Coberturas Lateríticas Maturas e Depósitos Aluvionares). Dentre estas predominam amplamente na Folha as unidades paleoproterozoicas (Figura 3.1).

Algumas unidades litoestratigráficas possuem rochas muito semelhantes, a exemplo de rochas da Suíte Intrusiva Arapari com algumas variedades da Suíte Intrusiva João Jorge. Nestes casos a cartografia pode ser ambígua, sendo feita neste trabalho apenas de forma tentativa.

### 3.2 COMPLEXO ARUANÃ (A4ar)

O Complexo Aruanã engloba rochas neoarqueanas que se limitam a cerca de 3% da Folha Rio Bacajá, localizadas na sua parte nordeste e leste. Este complexo é constituído de anfibolitos, metagranitoides e ortognaisses. Os anfibolitos foram descritos pela primeira vez neste trabalho, e foram individualizados na unidade Anfibolito Armezinho.

#### 3.2.1 Anfibolito Armezinho (A4ara)

##### Distribuição, relações de contato e assinatura geofísica

O Anfibolito Armezinho, definido neste projeto, perfaz menos de 1% da Folha Rio Bacajá, limitando-se à sua parte nordeste sob a forma de faixas estreitas (6 km x 0,5 km) orientadas na direção WNW. Estas rochas estão em contato com gnaisses monzograníticos ou granitos milonitizados também pertencentes ao Complexo Aruanã. Os efeitos de metamorfismo de contato observados nos anfibolitos permitiram posicioná-los abaixo dos gnaisses monzograníticos. A assinatura magnética nos domínios desta unidade é marcada por altos magnéticos. Lineamentos magnéticos de direção NE refletem a presença de uma zona de cisalhamento sinistral de atitude N40-55E/85SE que afeta ortognaisses do Complexo Aruanã e desloca o Anfibolito Armezinho.

Os padrões gamaespectrométricos não são distintivos para esta unidade, talvez pelo tamanho reduzido das faixas de anfibolitos em relação às rochas ácidas predominantes.

##### Aspectos de campo e características petrográficas

Na Folha Rio Bacajá, o Anfibolito Armezinho ocorre sob a forma de raros lajedos de dimensões métricas. São rochas de matriz fina, cor cinza escuro, e que apresentam numerosos porfiroblastos/poiquiloblastos de plagioclásio de cor branca acinzentada (Figuras 3.2 A-B). Estes grandes cristais de plagioclásio se destacam pela forma hexagonal. A matriz possui incipiente orientação preferencial ao passo que os porfiroblastos de plagioclásio têm disposição aleatória. Na escala microscópica, os cristais da matriz mostram contatos poligonais e arranjo granoblástico levemente orientado, e os cristais maiores de plagioclásio possuem arranjo poiquiloblástico (Figura 3.2 C). A matriz é constituída por anfibólio castanho avermelhado e cristais límpidos de plagioclásio, e o quartzo ocorre de modo subordinado. As características mineralógicas e texturais, além da proximidade com intrusões graníticas, permitem concluir que estas rochas anfibolíticas foram submetidas a metamorfismo de contato, podendo ser classificadas como hornfels.

##### Geoquímica

Apenas uma amostra (FB 98) de anfibolito arqueano foi analisada (Tabela 3.1). Entre os elementos maiores ressaltam-se seus valores de SiO<sub>2</sub> de 50,55%, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 12,45%, e seus elevados teores de TiO<sub>2</sub> (2,29%) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (17,95%). No que diz respeito aos elementos-traço observam-se valores consideravelmente elevados de Zr (157 ppm), Y (42 ppm), Cu (118 ppm) e V (534 ppm). A concentração de elementos terras raras (ETR) é cerca de sessenta vezes os valores do condrito de Sun e McDonough (1989). O padrão de ETR é marcado por arranjo fracamente enriquecido em ETR leves e moderado fracionamento [(La/Lu)<sub>N</sub> = 7] (Figura 3.3).

Esta rocha tem composição basáltica, subalcalina, de assinatura toleítica quando comparada aos exemplos de Irvine e Baragar (1971). Quando comparados com os tipos de basaltos discriminados por Müllen (1983), Pearce e Cann (1973) e Pearce e Norry (1979), a amostra do Anfibolito Armezinho se assemelha com os basaltos do tipo MORB. Esta assinatura, associada aos teores elevados de ferro, é

comparável àquela dos toleítos ricos em ferro descritos em basaltos de fundo oceânico (WILSON, 1989) e em *greenstones* arqueanos (CATTEL; TAYLOR, 1990).

As concentrações de Sr, Zr e Y da amostra são elevadas e comparáveis àquelas de basaltos do tipo E-MORB. As diferenças mais importantes em relação a este tipo são os valores mais elevados de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Nb, Rb e Ba do anfibolito analisado. Entretanto, o comportamento dos ETR, caracterizado por enriquecimento em ETR leves, permite atribuir esta assinatura à fusão parcial de peridotitos enriquecidos (KAMENETSKY et al., 2000; DONNELLY et al. 2004; WALTERS et al., 2011).

Quando analisadas as razões Th/Yb e Nb/Yb, consideradas por Pearce (2008) como traçadores da natureza de manto, percebe-se que o anfibolito estudado se aproxima de rochas transicionais entre os basaltos do tipo E-MORB e os basaltos cujos magmas experimentaram interação crustal.

### 3.2.2 Ortognaisses e metagranitoides (A4ar)

#### Dados históricos, distribuição, relações de contato e assinatura geofísica

Vários trabalhos anteriores fazem menção à presença de rochas arqueanas atribuídas ao Complexo Xingu ao norte do município de Anapu (JOÃO; VALE; LOBATO, 1987; VASQUEZ; MACAMBIRA; GALARZA, 2005; FARACO et al., 2005). Vasquez, Macambira e Armstrong (2008) denominam de Complexo Aruanã esta associação de rochas.

Os ortognaisses do Complexo Aruanã perfazem aproximadamente 2% da Folha Rio Bacajá, na sua parte nordeste e leste. No leste da Folha Rio Bacajá há dois domínios restritos de metagranitoides atribuídos a esta unidade arqueana. Estes domínios possuem formas alongadas nas direções EW e WNW. Os contatos entre os ortognaisses do Complexo Aruanã e as rochas do Complexo Bacajá são inferidos. Porém, o paralelismo do traçado do contato com as orientações magnéticas e com zonas de cisalhamento adjacentes sugerem que este contato seja tectônico. Entre os ortognaisses do Complexo Aruanã e as rochas das suítes intrusivas Arapari e João Jorge os contatos são inferidos ou podem ser controlados por zonas miloníticas.

Como mencionado acima, os efeitos de metamorfismo de contato, observados no Anfibolito Armezinho e causados por estes granitoides, permitem posicionar os anfibolitos estratigraficamente abaixo dos metagranitoides. Na parte nordeste da Folha Rio Bacajá, os dados aeromagnéticos mostram lineamentos com duas orientações preferenciais, uma de direção WNW e a outra com orientação NE. A primeira reflete zonas miloníticas e a segunda é coincidente com a atitude de uma falha sinistral de atitude N40-55E/85SE.

Em imagens obtidas pelos levantamentos aerogamespectrométricos, os metagranitoides e or-

tognaisses do Complexo Aruanã mostram valores intermediários a altos no canal do potássio e valores baixos nos canais do tório e urânio.

#### Aspectos de campo e características petrográficas

No nordeste da Folha Rio Bacajá afloram metagranitoides de composições tonalíticas, monzograníticas e sienograníticas que apresentam foliação incipiente, bandamento gnáissico, e foliação milonítica. Os monzogranitos e sienogranitos miloníticos têm cor cinza rosado e podem mostrar porfiroclastos de microclínio em meio à matriz milonítica de granulação fina a média (Figura 3.4 A).

Os ortognaisses monzograníticos têm granulação média e cor cinza claro (Figura 3.4 B). São compostos por microclínio (40%), plagioclásio (25%), quartzo (25%), biotita (8%), anfibólio (1%) e acessórios (1%), dentre os quais epidoto, opacos e titanita. Por vezes há um bandamento composicional milimétrico marcado por níveis leucocráticos e mesocráticos. Estas rochas possuem textura granular orientada definida pela orientação preferencial moderada dos cristais.

Os cristais de microclínio são finos a grossos e geralmente anédricos a subédricos. Alguns fenocristais são euédricos. Os contatos são retilíneos, curvilíneos a irregulares. Há orientação preferencial forte de fenocristais paralela ao bandamento composicional. Os cristais finos têm orientação preferencial fraca e pertitas. Feições deformacionais são ausentes.

Os cristais de plagioclásio são geralmente finos, por vezes médios, e geralmente subédricos. Seus contatos são curvilíneos, irregulares e retos. A orientação preferencial é fraca, e seus cristais formam níveis junto a microclínio e quartzo. A alteração para epidoto é fraca.

Os cristais de quartzo são finos a grossos, anédricos e geralmente com forte orientação preferencial. Os contatos entre os grãos são curvilíneos. Entre os novos grãos, os contatos são denteados e lobados. Há extinção ondulante, subgrãos e, por vezes novos grãos.

A biotita se concentra em níveis preferenciais de espessura milimétrica (1 a 2 mm) sob a forma de cristais finos e anédricos e que mostram contatos retilíneos a irregulares. Há orientação preferencial muito forte da biotita. Não são observadas feições de deformação intracristalina. Anfibólio ocorre raramente e em níveis máficos, seus cristais são finos, subédricos e têm forte orientação preferencial. Os contatos são retos a irregulares. Não há feições de deformação intracristalina.

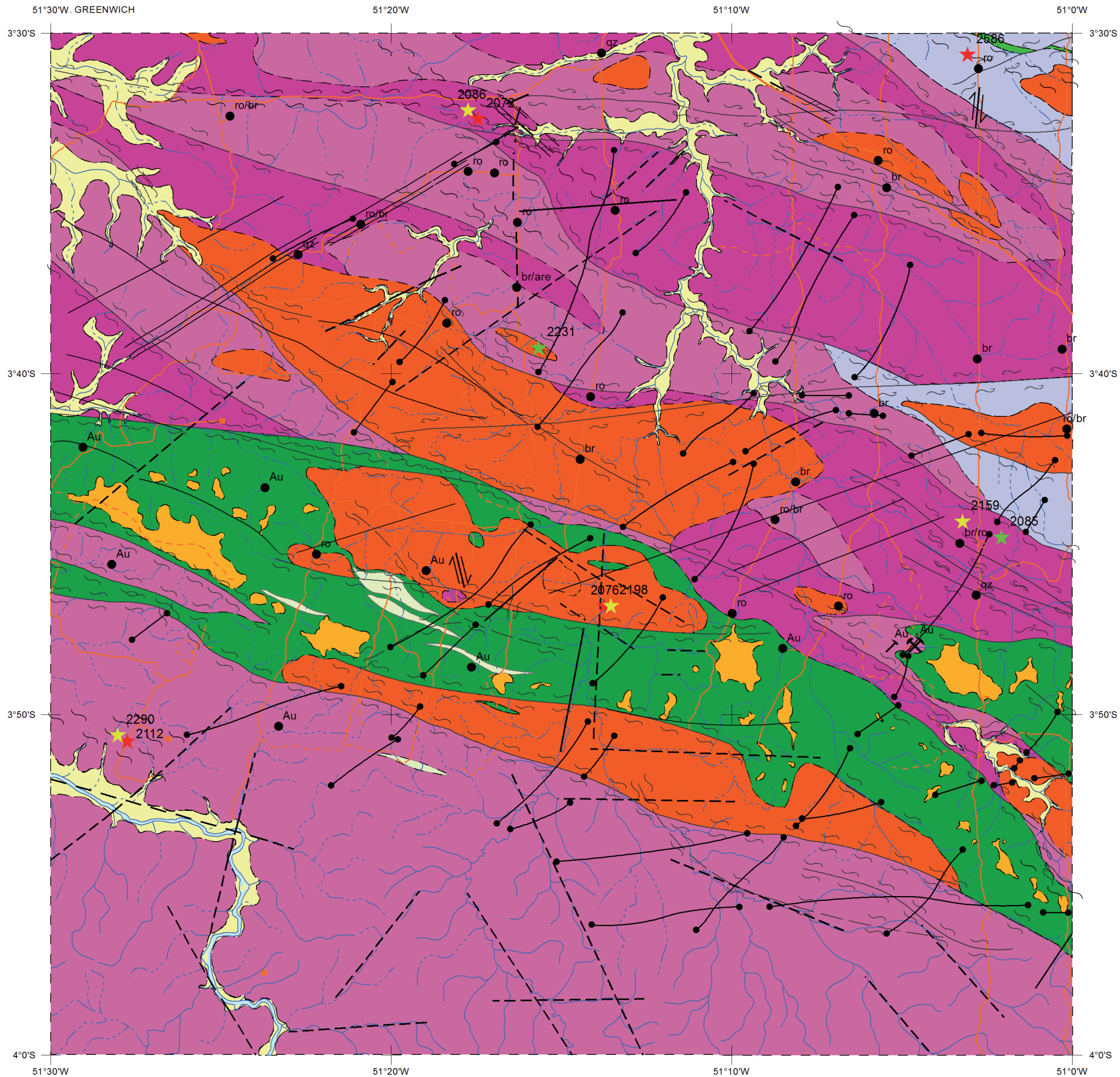
Os opacos são finos, anédricos a subédricos e geralmente estão orientados ao longo da foliação e associados aos níveis ricos em minerais ferromagnesianos. Epidoto é fino, anédrico e tem orientação preferencial moderada.

Nos monzogranitos milonitizados (estações FB-99 e FB-30) há muscovita em sobrecrescimento da



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

FOLHA RIO BACAJÁ  
SA.22-Y-D-VI



**CONVENÇÕES GEOLÓGICAS**

- Contato
- - - Contato aproximado
- · - Contato obtido pela geofísica
- Lineamento interpretado por geofísica
- Fratura ou falha
- - - Falha ou fratura aproximada
- · - Falha ou fratura encoberta
- ↔ Falha transcorrente dextral
- ↔ Zona de cisalhamento indiscriminada
- ↔ Zona de cisalhamento transcorrente aproximada
- ↔ Zona de cisalhamento transcorrente encoberta
- ↔ Zona de cisalhamento
- ↔ Zona de cisalhamento transcorrente sinistral
- ↔ Zona milonítica
- Zona de falha

**RECURSOS MINERAIS**

- ↗ Garimpo
- ⚡ Mina

**Substâncias Minerais**

- Au Ouro
- ro Rocha ornamental
- br Brita
- are Areia
- qz Quartzo

**DADOS GEOCRONOLÓGICOS**

- ★ 2586 Idade Pb-Pb (zircão)
- ★ 2083 Idade isocrônica Rb-Sr (rocha total)
- ★ 2159 Idade Modelo (rocha total) Sm-Nd (TDM)

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Vila
- Localidade propriedade rural
- Linha de transmissão de energia
- - - Caminho
- Estradas não pavimentadas
- Rodovia Transamazônica (BR-230)
- · - Curso d'água intermitente
- Curso d'água perene
- ☁ Massa d'água

ESCALA: 1:250,000



Secretaria de  
Geologia, Mineração e  
Transformação Mineral

Ministério de  
Minas e Energia



Figura 3.1 - Mapa Geológico da Folha Rio Bacajá (SA.22-Y-D-VI).



ERA	PERÍODO	IDADE (Ma)	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZOICO	Quaternário	2,58	Q2a Depósitos Aluvionares
		23,03	
	Paleógeno		E13lm Coberturas Lateríticas Maturas
MESOZOICO		66	
	Jurássico Inferior	174	TJδrp Diabásio Rio Pajeú
	Triássico Superior	200	
		237	
PALEOPROTEROZOICO	Riaciano	2050	
		2069	Suíte Intrusiva Arapari (PP2yar)      Suíte Intrusiva João Jorge (PP2yjs, PP2yjjg)
		2094	Complexo Bacajá (PP2bj)
	Sideriano	2300	Grupo Três Palmeiras (Formação Itatá (PP1tpi), Formação Bacajá (PP1tpb))
NEOARQUEANO		2500	
		2586	Complexo Aruanã (A4ar)      Anfibolito Armezinho (a)
		2800	

CENOZOICO  
Quaternário (Q)

**Depósitos Aluvionares**

Q2a Sedimentos de canais fluviais e planícies de inundação, arenosos e silto-argilosos.

Paleógeno (E)

**Coberturas Lateríticas Maturas**

E13lm Perfis lateríticos desenvolvidos sobre o Grupo Três Palmeiras.

MESOZOICO

**Diabásio Rio Pajeú**

Triássico (T) - Jurássico (J)

TJδrp Diques de diabásios, cinza escuros, de granulação fina, com textura ofítica, subofítica a intergranular.

PALEOPROTEROZOICO

Riaciano (PP2)

**Suíte Intrusiva João Jorge**

PP2yjs Sienitos e monzonitos branco acinzentados ou rosados, de granulação média a muito grossa, com textura granular ou granular orientada. Apresentam foliação magmática incipiente a fraca, ou são isotrópicos. Assinatura é shoshonítica. 2076 Ma (Pb-Pb em zircão), 2,21 (TDM Sm-Nd).

PP2yjjg Monzogranitos, sienogranitos e, subordinadamente, granodioritos. São cinza rosados a amarelados, equigranulares a porfíricos, finos a médios. Por vezes apresentam acamamentos ígneos ou foliação definida pela fraca orientação preferencial de minerais. Assinatura cálcio-alcálica alto-K a shoshonítica.

**Suíte Intrusiva Arapari**

PP2yar Monzodioritos, tonalitos, granodioritos e monzogranitos, acinzentados, equigranulares a porfíricos, finos a médios, comumente foliados e deformados. Acamamento magmático e foliação magmática com componente de estado sólido. Assinatura cálcio-alcálica de médio-K. Idades de cristalização entre 2069 e 2086 Ma.

**Complexo Bacajá**

PP2bj Quartzo dioritos, quartzo monzodioritos, metatonalitos, metagranodioritos, acinzentados, além de monzogranitos e sienogranitos. Apresentam foliação magmática com importante componente de deformação em estado sólido. A assinatura é cálcio-alcálica de baixo a médio K. Idades de cristalização de 2114 Ma a 2094 Ma. TDM (Sm-Nd) de 2,31 Ga.

Sideriano (PP1)

**Grupo Três Palmeiras (PP1tp)**

**Formação Bacajá**

PP1tpb Filitos cinza e quartzitos esbranquiçados, foliados, de fácies xisto-verde a anfibolito. São descritas na literatura formações ferríferas bandadas.

**Formação Itatá**

PP1tpi Na área predominam hornfels anfibolíticos nematoblásticos a granoblásticos, além de metabásicas com textura blastofítica. Assinatura química predominantemente toleítica. 2359 Ma (Pb-Pb zr).

NEOARQUEANO (A4)

**Complexo Aruanã**

A4ar Metagranitoides tonalíticos, monzograníticos e sienograníticos, com foliação incipiente, bandamento gnáissico ou foliação milonítica. Ortognaisses metamorfisados na fácies anfibolito inferior. Idade de cristalização em 2586 Ma (Pb-Pb zr).

**Anfibolito Armezinho** - Anfibolitos porfiroblásticos/poiquiloblásticos com matriz fina, cinza escuros, metamorfisados na fácies anfibolito inferior.



Figura 3.2 - A e B) Aspectos mesoscópicos do Anfibolito Armezinho. Notar matriz fina com porfiroblastos de plagioclásio; C) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) mostra textura granoblástica do anfibolito (Pl = plagioclásio, Qz = quartzo, Hb = hornblenda). (Estação FB 98, UTM 490084/9606346).

sericita da saussuritização. A muscovita é fina, anédrica a subédrica. Sua formação estaria relacionada a efeitos termais causados pelas intrusões graníticas paleoproterozoicas posteriores.

No leste da área estudada há metatonalitos de cor cinza médio, e textura inequigranular marcada pela presença de matriz de granulação fina a média e de cristais médios a grossos de plagioclásio (Figura 3.4 C). Possuem cerca de 20% de minerais ferromagnesianos cujos cristais mostram incipiente a moderada orientação preferencial. A textura da rocha é granular orientada, por vezes porfirítica.

Os cristais de quartzo, inequigranulares, finos a médios, anédricos, em geral possuem foram alongada e muitas vezes constituem agregados de subgrãos e novos grãos. Estes agregados alongados mostram boa orientação preferencial. Em agregados de subgrãos é comum o aspecto em tabuleiro de xadrez. Os limites de novos grãos variam de curvo, denteado a serrilhado. Por vezes se notam feições localizadas de interdigitação entre dois subgrãos ou dois novos grãos.

O feldspato potássico ocorre em quantidades subordinadas, sob a forma de cristais grossos, subédricos, com contatos retos a levemente curvos. Possuem pertitas em chama e localmente mirmequitas. Há finas inclusões de plagioclásio. A extinção ondulante é moderada.

O plagioclásio é médio a grosso, subédrico a anédrico, mostra limites retos e levemente curvos. A orientação preferencial é incipiente. Seu zoneamento é moderado, não oscilatório e a maior saussuriti-

zação do núcleo do cristal sugere que o zoneamento é normal. Por vezes, nota-se leve encurvamento das maclas e *kink* em fase inicial. Há raros domínios pequenos de microclina no plagioclásio (antiperitita). Inclusões finas de biotita, quartzo, zircão e opacos são pouco comuns.

Os cristais de anfibólio (7%) são finos a médios, anédricos a subédricos, mostram limites retílineos, curvos a denteados. Há moderada orientação preferencial e podem mostrar novos grãos dispostos ao longo da foliação. Ao anfibólio se associam cristais de biotita, opacos, apatita, titanita, epidoto, allanita e zircão, algumas vezes estes minerais estão inclusos no anfibólio.

Os cristais de biotita (12%) são inequigranulares, muito finos a finos, subédricos a anédricos, possuem limites retos a irregulares, levemente curvos ou parcialmente corroídos. Bordas corroídas representam feição simplectítica localizada. A biotita apresenta moderada orientação preferencial e, em geral, forma pequenos agregados e se associa a anfibólio, titanita, allanita, opacos, apatita, zircão, epidoto e allanita. Inclusões de cristais muito finos de zircão são relativamente comuns. Extinção ondulante moderada pode ser observada, assim como raras trilhas de novos grãos. Há substituição parcial da biotita para clorita e para cristais muito finos e anédricos de titanita.

Os minerais opacos e os cristais de titanita são muito finos a finos, subédricos a euédricos, mostram fraca orientação preferencial e em geral se associam aos minerais ferromagnesianos, muitas vezes inclusos no anfibólio.



Tabela 3.1 - Dados químicos de elementos maiores (% em peso) e elementos-traço (ppm) do Anfibolito Armezinho e de metagranitoides arqueanos do Complexo Aruanã.

(continuação)

Elementos	Anfibolito Armezinho	Complexo Aruanã	
	anfibolito	metatonalito	metamon-zogranito
	FB 98	FB 25	FB 100
SiO <sub>2</sub>	50,55	62,03	65,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,45	16,40	14,38
TiO <sub>2</sub>	2,29	0,59	0,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,95	6,31	5,41
MgO	4,69	2,35	1,25
MnO	0,24	0,10	0,08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,012	0,004	0,003
CaO	8,45	4,92	3,49
Na <sub>2</sub> O	2,21	3,93	3,35
K <sub>2</sub> O	0,56	2,39	4,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,23	0,20	0,38
PF	0,15	0,5	0,4
<b>Soma</b>	<b>99,75</b>	<b>99,73</b>	<b>99,61</b>
Ba	104	998	1711
Ga	16,6	20,6	17,2
Nb	11,4	7,9	16,3
Rb	12,2	98,7	138,1
Sr	134,2	542,7	512,8
Ta	0,8	0,6	1,4
Th	3,5	11,1	32,2
U	0,7	2,7	2,4
Cs	0,2	4,1	0,3
Zr	156,8	150,5	374,6
Y	41,6	16,2	38,4
Be	1	2	2
Sn	2	2	3
W	<0,5	<0,5	<0,5
Mo	0,6	0,7	1,1
Zn	40	62	57
Ag	40	<0,1	<0,1
As	<0,1	0,5	0,5
Au	<0,5	1,8	<0,5
Bi	<0,5	<0,1	<0,1
Cd	<0,1	<0,1	<0,1
Hg	<0,01	<0,1	<0,01
Ni	71	4,4	4,8
Pb	1,9	4,1	12,7
Sb	<0,1	0,5	<0,1
Se	0,8	<0,5	<0,5
Tl	<0,1	0,4	0,3
Cu	118,1	15,2	6,5

Elementos	Anfibolito Armezinho	Complexo Aruanã	
	anfibolito	metatonalito	metamon-zogranito
	FB 98	FB 25	FB 100
Ni	45,5	<20	<20
Co	58,6	16,1	10,1
V	534	122	90
Hf	4,4	4,1	8,5
Sc	43	13	11
La	23,6	47,6	103,9
Ce	48,7	85,7	208,1
Pr	6,34	9,50	21,94
Nd	27,6	33,5	77,9
Sm	6,27	4,63	11,99
Eu	1,92	1,25	2,58
Gd	7,10	3,57	9,03
Tb	1,24	0,51	1,32
Dy	7,50	2,66	7,16
Ho	1,59	0,55	1,35
Er	4,47	1,57	3,81
Tm	0,70	0,22	0,57
Yb	4,54	1,43	3,70
Lu	0,69	0,23	0,54
<b>ΣETR</b>	<b>142</b>	<b>193</b>	<b>454</b>
<b>(La/Sm)<sub>N</sub></b>	<b>16</b>	<b>6,4</b>	<b>5,4</b>
<b>(Gd/Lu)<sub>N</sub></b>	<b>0,2</b>	<b>1,9</b>	<b>2,1</b>
<b>(La/Lu)<sub>N</sub></b>	<b>7</b>	<b>21,5</b>	<b>20,0</b>

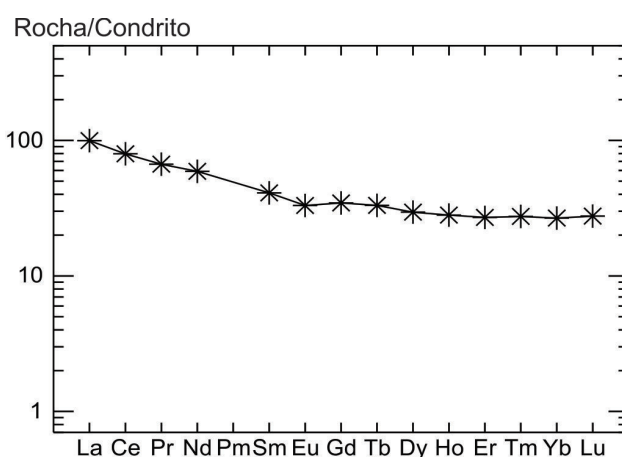


Figura 3.3 - Padrão de elementos terras raras de Anfibolito Armezinho.

### Geoquímica

Dois amostras do Complexo Aruanã foram analisadas, uma de composição tonalítica e uma monzogranítica (Tabela 3.1). O metatonalito possui

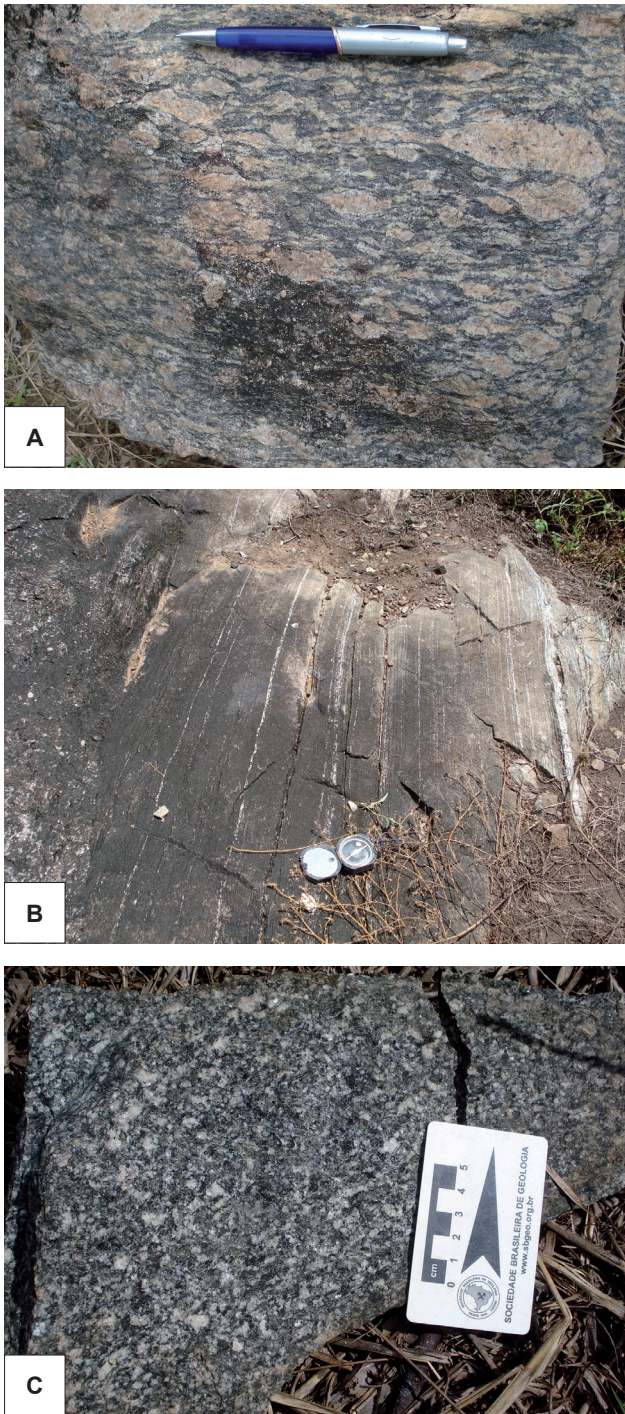


Figura 3.4 - Afloramentos de gnaisses e metagranitoides arqueanos do Complexo Aruanã, nordeste da Folha Rio Bacajá. A) Sienogranito milonítico (Estação FB 100, UTM 494916/9611258); B) Gnaiss monzogranítico com bandamento homogêneo (Estação FB 101, UTM 494861/9609116); C) Metatonalito com foliação incipiente e textura inequigranular (Estação FB 25, UTM 499748/9591496).

teores de CaO (4,92%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (16,40%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,31%) e MgO (2,35%), refletindo a sua proporção modal de plagioclásio e de minerais ferromagnesianos. Esta rocha possui baixos teores de Nb, Rb, Zr e Y. Os teores elevados de Ba e Sr refletem a quantidade modal de plagioclásio. Seu padrão de elementos terras raras é marcado por baixas concentrações de ETR ( $\Sigma = 193$  ppm), com valores mais elevados de ETR leves em relação aos ETR pesados, o que resulta em forte fra-

cionamento [(La/Lu)<sub>N</sub> = 21]. Não há anomalia de Eu nestas rochas (Figura 3.5).

O ortognaisse monzogranítico possui teor relativamente baixo de SiO<sub>2</sub> (65,98%) e moderado de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,41%). Suas concentrações de Ba (1711 ppm) e de Sr (513 ppm) são elevadas (Tabela 3.1). Os teores de Zr (375 ppm), Nb (17 ppm) e Y (38 ppm) são maiores quando comparados com os dos tonalitos, e traduz o caráter mais evoluído do monzogranito. O padrão de ETR do monzogranito é marcado por valores moderados a altos de ETR leves e teores baixos de ETR pesados (Figura 3.5; Tabela 3.1), os quais controlam padrão fracionado, sobretudo, dos terras raras leves, traduzido pela alta razão [(La/Lu)<sub>N</sub> = 20].

Nos diagramas classificatórios de Le Maitre et al. (2004) e de Frost et al. (2001), o metatonalito tem afinidade cálcio-alcálica de médio potássio e se situa no campo das rochas magnesianas (Figuras 3.6 A-C). O ortognaisse monzogranítico tem assinatura cálcio-alcálica de alto potássio e se localiza no campo das rochas ferrosas. Nos diagramas de Pearce, Harris e Tindle (1984), o tonalito se situa no campo dos granitos de arco magmático, ao passo que o ortognaisse monzogranítico está em posição transicional entre o campo dos granitos de intraplaca e de arco magmático (Figuras 3.7 A-B).

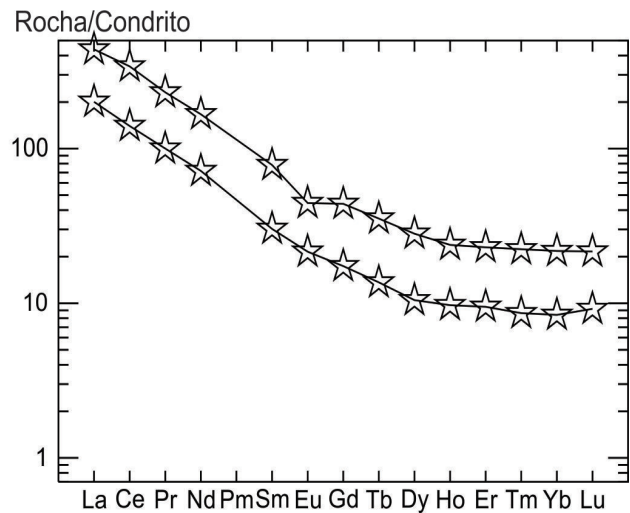


Figura 3.5 - Padrões de elementos terras raras de ortognaises tonalítico e monzogranítico do Complexo Aruanã.

### Geocronologia

Foi selecionada uma amostra de monzogranito porfírico protomilonítico para a datação pelo método Pb-Pb em zircão, coletado no nordeste da área (amostra FB 99, UTM 494836/9611830). Esta rocha tem foliação forte e se situa nas proximidades do contato com o Anfibolito Armezinho. A datação deste monzogranito forneceu idade neoarqueana de 2585,9 ± 4,6 Ma, obtida em quatro cristais de zircão (Figura 3.8, Tabela 3.2). O valor obtido é considerado como a idade média de cristalização desta rocha.



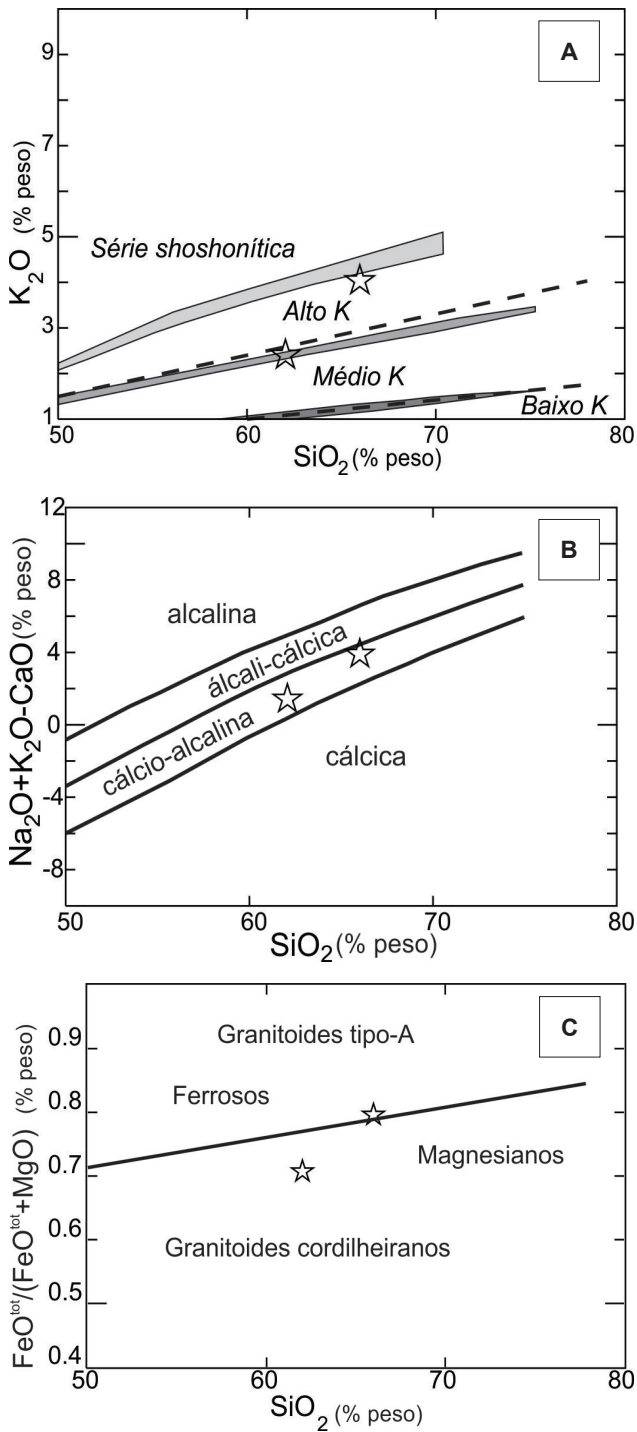


Figura 3.6 - A) Diagrama  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{K}_2\text{O}$  (LE MAITRE et al., 2004); B-C) Diagramas de Frost et al. (2001) com dados de metagranitoides do Complexo Aruanã.

### 3.3 GRUPO TRÊS PALMEIRAS (PP1tp)

As rochas supracrustais metamorfasadas presentes na Folha Rio Bacajá foram identificadas inicialmente em trabalhos de cunho regional por Silva et al. (1974). Esta sequência recebeu o nome de Suíte Metamórfica Três Palmeiras (JOÃO; VALE; LOBATO, 1987), composta pelo Anfibolito Itatá e pelo Micaxisto Bacajá. Segundo estes autores, o Anfibolito Itatá estaria posicionado estratigraficamente abaixo do Micaxisto Bacajá. Estes trabalhos prévios já distinguem a disposição destas em rochas ao longo de faixas alongadas na direção WNW a NW-SE.

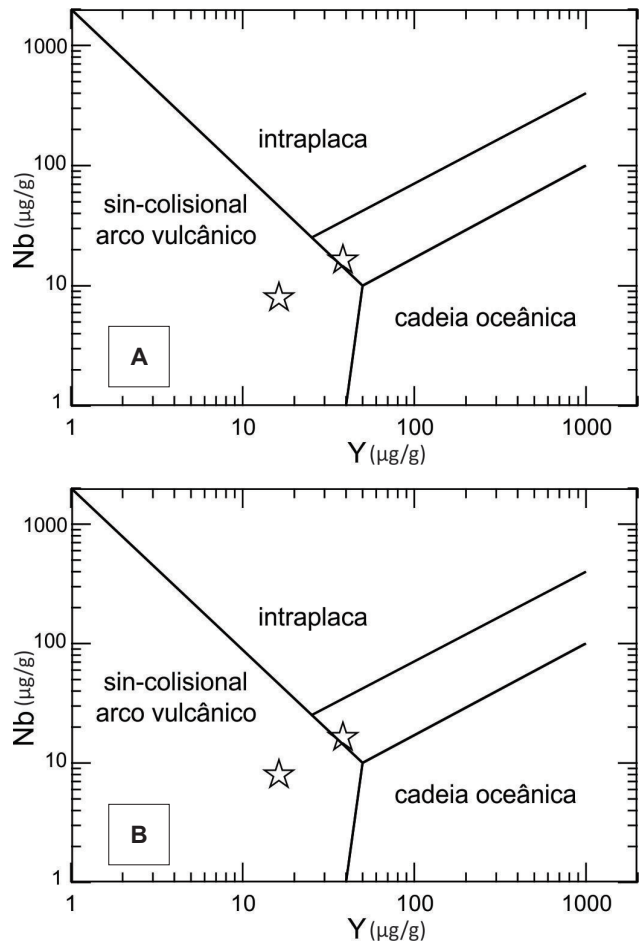


Figura 3.7 - Diagramas discriminantes  $Y$  vs.  $Nb$  (A) e  $Y+Nb$  vs.  $Rb$  (B) (PEARCE; HARRIS; TINDLE, 1984) para as rochas analisadas do Complexo Aruanã.

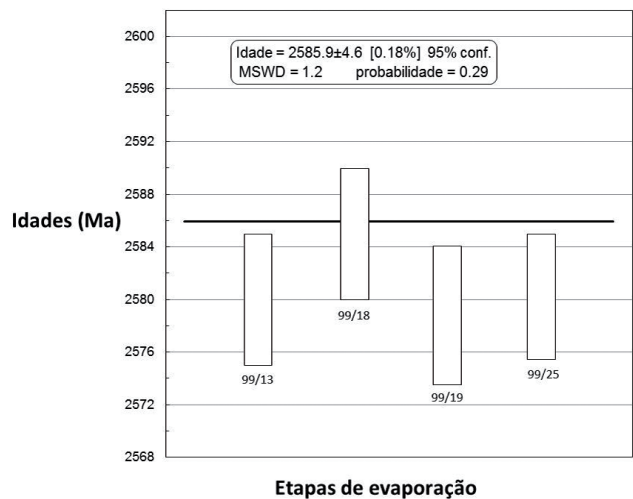


Figura 3.8- Diagrama idade vs. etapas de evaporação de zircão de metagranito do Complexo Aruanã (Estação FB-99, UTM 494836/9611830).

Santos et al. (1988) apresentaram uma proposta de empilhamento estratigráfico com base em estudos ao longo da Volta Grande do Rio Xingu, em que foram contempladas rochas supracrustais adjacentes a rochas graníticas e a migmatitos. Naquela ocasião não foi dado um nome ao conjunto de rochas supracrustais, porém, é bem provável que correspondam à extensão para oeste das mesmas faixas pertencentes ao Grupo Três Palmeiras.

Tabela 3.2 - Dados isotópicos de análises por evaporação de Pb em zircão de granitoide (Estação FB-99) do Complexo Aruanã.

Zircão	Temp.	Razões	$\frac{^{204}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2 $\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
A99/13	1550	36	6289	0,21154	0,00091	0,17457
A99/18	1500	32	9709	0,18129	0,00075	0,17465
A99/19	1500	16	9804	0,20367	0,00084	0,17389
A99/25	1500	14	12658	0,20077	0,00412	0,17367

2 $\sigma$	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2 $\sigma$	Idade (etapa)	2 $\sigma$	Idade (grão)	2 $\sigma$
0,00034	0,17282	0,00050	2585	5	2585	5
0,0006	0,1733	0,00053	2590	5	2590	5
0,00032	0,17263	0,00036	2584	4	2584	4
0,00101	0,17273	0,00138	2585	13	2585	13
Média (4 grãos, MSWD = 1,2)					2585,9 $\pm$ 4,6	7

### 3.3.1 Formação Itatá (PP1tpi)

#### Dados históricos, distribuição, relações de contato e assinatura geofísica

A Formação Itatá foi designada inicialmente de Anfibolito Itatá por João, Vale e Lobato (1987) para abrigar xistos e anfibolitos ortoderivados, metatufos, e metavulcânicas ácidas a intermediárias metamorfizadas em condições de fácies xisto verde e anfibolito. A assinatura geoquímica destas rochas seria comparável àquela de basaltos toleíticos de fundo oceânico e de arcos de ilha (JOÃO; VALE; LOBATO, op. cit.).

A intrusão do Granodiorito Oca e do Granito João Jorge provocou efeitos de metamorfismo termal nestas rochas supracrustais, nas quais foram descritas também zonas cataclásticas, zonas miloníticas e dobras sinclinais (JOÃO; VALE; LOBATO, 1987; FARACO et al., 2005).

Datações em cristais de zircão (método Pb-Pb evaporação) de meta-andesitos da Formação Itatá forneceram a idade de  $2359 \pm 3$  Ma (MACAMBIRA et al., 2004). Com base nas idades Sm-Nd de 2,47 a 2,49 Ga e dos valores positivos de  $\epsilon\text{Nd}$  (1,73 a 1,64), a origem destas rochas vulcânicas foi interpretada como relacionada à acreção juvenil (VASQUEZ, 2006).

Na Folha Rio Bacajá, estas rochas afloram ao longo de uma faixa de direção NW-SE a WNW, concordante às estruturas regionais. Esta faixa tem aproximadamente 37 quilômetros de comprimento e largura que varia de 2 a 8 quilômetros. Estas faixas de rochas supracrustais constituem altos topográficos que se destacam em relação aos domínios de ortognaisses e de rochas granitoides. Para Horbe et al. (2001) e Faraco et al. (2005), a presença de lateritas desenvolvidas em platôs sobre as rochas metavulcânicas seria responsável pela sustentação da Serra das Três Palmeiras.

Os contatos geológicos entre as rochas da Formação Itatá e as demais unidades são aproximados

e inferidos. Durante o desenvolvimento deste trabalho, não foram identificadas relações de contato entre as rochas do Grupo Três Palmeiras e seu embasamento gnáissico. Por outro lado, foram descritas feições atribuídas a efeitos de metamorfismo de contato causados provavelmente pelas rochas do Complexo Bacajá, e/ou pelas suítes intrusivas Arapari e João Jorge. O limite norte da Formação Itatá teria sido em partes controlado por zonas de cisalhamento dúctil de direção N60E. A identificação de efeitos de metamorfismo de contato sobre as rochas da Formação Itatá confirma sua posição estratigráfica inferior em relação aos granitoides adjacentes pertencentes às suítes Bacajá, Arapari e João Jorge. Para João, Vale e Lobato (1987) alguns contornos curvilíneos, observados em planta, nos domínios de destas sequên-

cias supracrustais seriam causados pelas intrusões graníticas, o que se confirma neste trabalho pela presença de hornfels anfibolíticos.

A cartografia destas rochas é auxiliada pelos padrões geofísicos marcados por altos magnetométricos e baixos valores de U, K, Th e contagem total, similarmente ao mostrado por Faraco et al. op. cit., Carneiro (2010) e Carneiro et al. (2012).

#### Aspectos de campo e características petrográficas

Na Folha Rio Bacajá foram reconhecidas rochas metabásicas e anfibolitos na Formação Itatá, que afloram sob a forma de lajedos e blocos. Exposições de melhor qualidade se encontram em alguns rios. Estas rochas têm cor cinza escuro e granulação muito fina a média, e podem exibir ou não foliação (Figura 3.9 A).

Os metabasaltos possuem textura blastofítica, que se caracteriza pela presença de ripas de plagioclásio dispostas aleatoriamente e pseudomorfo de anfibólio. Nestas rochas os cristais de piroxênio originais foram transformados para actinolita, e os cristais de plagioclásio estão fortemente saussuritizados. A disposição e concentração dos cristais de anfibólio sugerem que a textura original era intergranular ou subofítica. Os cristais de anfibólio, de cor verde clara, com bordas de cor verde oliva, são provavelmente actinolita, (Figura 3.9 B-C).

Os anfibolitos podem mostrar texturas nematoblástica e granoblástica. No primeiro caso há uma foliação forte definida pela orientação preferencial de cristais alongados de anfibólio e de plagioclásio. A textura granoblástica, geralmente presente em hornfels anfibolíticos isotrópicos, é definida pelos cristais com contatos retilíneos e dispostos em arranjos equigranulares e poligonais (Figura 3.9 D). De modo localizado, sobretudo próximo aos granitoides, os hornfels anfibolíticos são cortados por vênulas e



veios de anfibólio ou de plagioclásio, por vezes com porções quartzosas associadas.

A foliação forte de anfibolitos pode ser contínua ou mostrar espaçamento submilimétrico, e é marcada pela orientação preferencial de anfibólio e plagioclásio. Esta foliação é localmente parcial ou totalmente obliterada pelo arranjo granoblástico resultante do metamorfismo termal (Figura 3.9 D).

## Geoquímica

As rochas metabásicas e os hornfels anfibolíticos da Formação Itatá (Tabela 3.3) possuem teores de  $\text{SiO}_2$  variando de 47,77 a 55,14% e de  $\text{MgO}$  entre 4,69% e 11,20% (Figura 3.10 B). Os valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  variam de 11,06 a 17,57%, mas são geralmente elevados. Em uma amostra a concentração  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é consideravelmente inferior (7,99%). Os maiores valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são observados em rochas com menores valores concentrações de  $\text{MgO}$  (Figura 3.10 C). Os teores de  $\text{TiO}_2$  variam de 0,59 a 2,93% sem mostrar clara correlação com ferro ou magnésio (Figura 3.10 D). As concentrações de  $\text{K}_2\text{O}$  são geralmente baixas, variam de 0,06 a 0,76%, e em uma amostra alcança 1,56% (Figura 3.10 G).

Estas rochas metabásicas possuem teores baixos a moderados de alguns elementos incompatíveis (Tabela 3.3, Figuras 3.11 A-F). As concentrações de Y variam de 12 a 24 ppm e apenas em uma amostra alcança 57 ppm. Os teores de Rb são em geral baixos (1 a 79 ppm). O Zr exibe correção negativa com o  $\text{MgO}$ , as concentrações de Zr variam de 44 a 144 ppm, e em uma amostra alcança 204 ppm. As concentrações de Nb são baixas (2 a 13 ppm). Os teores de Ni variam de 12 a 161 ppm e mostram correlação positiva com  $\text{MgO}$ .

As concentrações de elementos terras raras (ETR) das rochas da Formação Itatá são relativamente baixas ( $\Sigma = 29$  a 53 ppm) e apresentam dez a quarenta vezes o condrito de Sun e McDonough (1989), podendo em três rochas alcançar somas de ETR maiores ( $\Sigma = 69$  a 128 ppm). Em geral o padrão de ETR é horizontalizado [ $(\text{La/Lu})_N = 0,77$  a 1,65], semelhante aos dos toleitos (Figura 3.11). Em duas rochas mais ricas em ETR leves do que em ETR pesados notam-se maiores razões  $(\text{La/Sm})_N$  (1,82 a 3,57) e  $(\text{La/Lu})_N$  (4,79 a 7,38), cujo padrão se assemelha aos dos toleitos enriquecidos e associados a plumas (Figura 3.12).

No diagrama que compara as concentrações de álcalis com as de sílica (TAS), conforme as divisões de Le Maitre et al. (2004) e de Irvine e Baragar (1971), estas rochas mostram, respectivamente, composições basál-

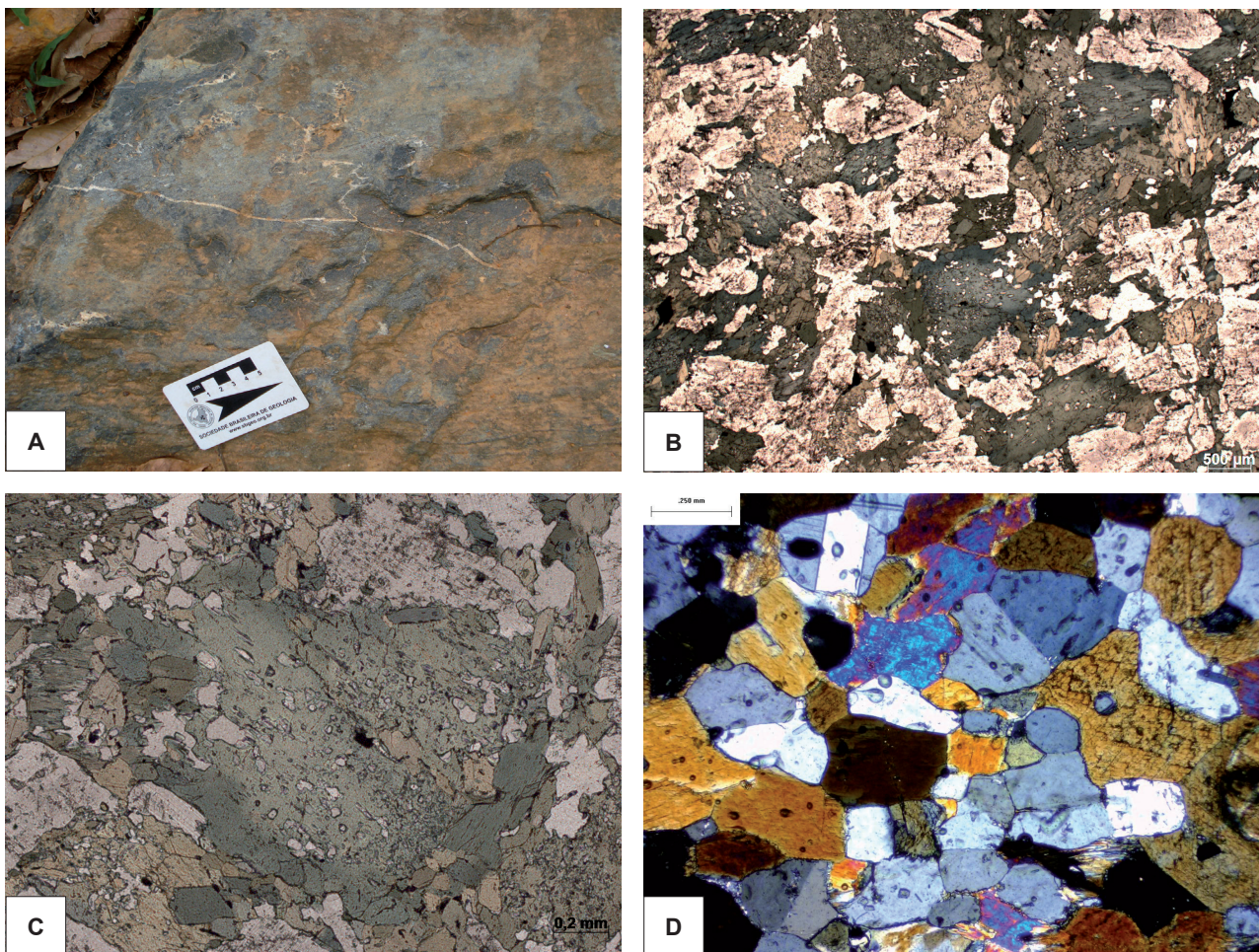


Figura 3.9 - A) Afloramento de anfibolito da Formação Itatá. (Estação FB 81, UTM 491881/9573556). B) Fotomicrografia (polarizadores paralelos) de rocha metabásica da Formação Itatá mostrando textura blastofítica (Estação CCA 60, UTM 479682/9576487). C) Detalhe da figura anterior mostrando zoneamento de anfibólio. D) Fotomicrografia (com polarizadores cruzados) de anfibolito afetado por metamorfismo de contato. Notar textura granoblástica (Estação FB 89, UTM 499813/9558490).



Tabela 3.3 - Dados de elementos maiores (% em peso) e traço (ppm) de rochas da Formação Itatá.

Elementos	FB 36	FB 52	FB 60	FB 76	FB 87	FB 110	FB 132	FB 153
SiO <sub>2</sub>	49,67	54,10	55,14	48,70	47,48	48,50	47,77	50,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,37	13,10	13,99	14,64	15,24	13,69	13,13	14,26
TiO <sub>2</sub>	0,84	0,76	0,59	0,96	1,97	1,25	2,93	1,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,85	11,36	7,99	12,77	14,35	14,92	17,57	14,18
MgO	7,83	6,65	8,04	8,75	5,99	7,18	4,72	6,91
MnO	0,20	0,16	0,13	0,23	0,20	0,22	0,26	0,20
CaO	11,80	12,40	9,17	10,54	10,01	10,67	9,86	11,14
Na <sub>2</sub> O	1,28	0,70	2,63	2,40	2,75	2,25	2,56	1,15
K <sub>2</sub> O	0,10	0,06	0,76	0,16	0,49	0,14	0,49	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,06	0,12	0,07	0,47	0,10	0,29	0,09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,041	0,038	0,078	0,041	0,010	0,031	0,008	0,029
PF	0,7	0,4	1,1	0,5	0,8	0,8	0,1	0,3
TOT/C	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
TOT/S	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	0,10	<0,02	0,06	<0,02
<b>Soma</b>	<b>99,78</b>	<b>99,81</b>	<b>99,77</b>	<b>99,77</b>	<b>99,75</b>	<b>99,78</b>	<b>99,70</b>	<b>99,78</b>
Ba	21	15	261	39	148	56	170	14
Ga	14,8	15,4	15,1	16,1	18,6	19,6	22,0	18,0
Nb	1,9	1,5	3,4	2,3	13,2	3,3	10,3	2,6
Rb	3,1	2,0	38,7	3,7	19,5	2,7	17,3	1,2
Sr	107,7	170,9	286,1	149,2	309,5	112,5	178,6	124,1
Ta	0,1	0,1	0,3	0,2	0,8	0,2	0,6	0,2
Th	0,6	0,2	3,3	0,2	0,4	0,5	1,7	0,5
U	0,2	<0,1	0,8	<0,1	0,1	0,1	0,4	<0,1
Zr	44,6	39,6	76,2	48,1	131,6	71,0	203,9	64,4
Y	20,8	18,2	12,1	20,8	24,4	28,3	56,9	23,5
V	310	280	160	309	296	346	504	332
W	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,1	<0,5	<0,5	<0,5
Cu	162,5	120,9	53,8	102,9	80,9	51,3	406,0	226,0
Ni	151	136	172	145	71	125	45	131
Co	55,1	46,0	36,1	54,7	50,5	58,2	51,9	52,6
Pb	1,3	0,6	4,3	0,3	1,4	0,3	2,1	2,0
Sb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tl	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Zn	17	4	15	12	33	18	96	22
Cs	0,2	0,1	3,5	0,3	1,2	0,2	2,4	0,2
Sn	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	<1
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
As	1,8	2,0	8,5	1,6	0,9	0,8	0,6	<0,5
Au	4,0	1,4	<0,5	<0,5	<0,5	1,6	4,5	6,0
Sc	45	41	30	40	36	44	45	41
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06
Mo	0,2	0,2	1,2	0,2	0,6	0,3	0,5	0,2
Ni	32,5	12,6	66,7	41,6	33,5	21,6	23,0	40,7

Tabela 3.3 - Dados de elementos maiores (% em peso) e traço (ppm) de rochas da Formação Itatá.

(continuação)

Elementos	FB 36	FB 52	FB 60	FB 76	FB 87	FB 110	FB 132	FB 153
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
La	2,9	2,3	13,5	2,8	15,7	5,2	13,7	3,4
Ce	7,4	6,0	26,8	7,9	40,6	13,1	36,0	9,7
Pr	1,13	0,95	3,10	1,24	5,39	1,91	4,96	1,43
Nd	6,2	5,1	12,8	6,1	24,4	9,8	23,7	7,1
Sm	1,90	1,62	2,36	2,11	5,38	2,98	6,74	2,40
Eu	0,68	0,66	0,77	0,81	1,76	1,03	2,15	0,88
Gd	2,75	2,32	2,27	2,88	5,23	4,04	8,73	3,45
Tb	0,54	0,47	0,37	0,58	0,84	0,76	1,57	0,66
Dy	3,40	3,01	2,05	3,51	4,53	4,52	9,56	4,02
Ho	0,79	0,72	0,47	0,80	0,94	1,04	2,09	0,87
Er	2,21	2,06	1,30	2,26	2,58	3,02	6,00	2,63
Tm	0,35	0,29	0,20	0,36	0,38	0,43	0,90	0,39
Hf	1,3	1,3	2,0	1,5	2,8	2,2	5,3	1,7
Yb	2,29	2,00	1,19	2,28	2,17	2,79	5,82	2,52
Lu	0,36	0,31	0,19	0,35	0,34	0,44	0,86	0,39
<b>ΣETR</b>	<b>34,2</b>	<b>29,1</b>	<b>69,4</b>	<b>35,5</b>	<b>113,0</b>	<b>53,3</b>	<b>128,1</b>	<b>41,4</b>
<b>(La/Sm)N</b>	<b>0,95</b>	<b>0,89</b>	<b>3,57</b>	<b>0,83</b>	<b>1,82</b>	<b>1,09</b>	<b>1,27</b>	<b>0,88</b>
<b>(Gd/Lu)N</b>	<b>0,94</b>	<b>0,93</b>	<b>1,48</b>	<b>1,02</b>	<b>1,90</b>	<b>1,14</b>	<b>1,25</b>	<b>1,09</b>
<b>(La/Lu)N</b>	<b>0,84</b>	<b>0,77</b>	<b>7,38</b>	<b>0,83</b>	<b>4,79</b>	<b>1,23</b>	<b>1,65</b>	<b>0,90</b>

ticas e subordinadamente andesito basálticas (Figura 3.13 A), e subalcalinas (Figura 3.13 B). No diagrama  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  (MIYASHIRO, 1974) a maioria das rochas se situa no campo das rochas toleíticas e duas rochas se situam no campo das rochas cálcio-alcalinas (Figura 3.13 C). No diagrama AFM ( $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{FeO} - \text{MgO}$ ) de Irvine e Baragar (1971) as rochas da Formação Itatá se comparam aos toleítos (Figura 3.14 A).

No diagrama discriminante de Pearce e Norry (1979), nota-se uma tendência em direção às rochas de cadeias meso-oceânicas (Figura 3.14 B). O mesmo comportamento é mostrado no diagrama de Pearce e Cann (1973) (Figura 3.14 C). No diagrama de Müllen (1983), as rochas da Formação Itará se assemelham aos toleítos de arco de ilhas e aos basaltos de cadeias meso-oceânicas (Figura 3.14 D).

As rochas metabásicas e anfibolíticas da Formação Itatá possuem teores elevados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , baixas razões Zr/Y, padrões geralmente horizontalizados de ETR. Estas características geoquímicas permitem comparar as rochas da Formação Itatá com os metabasaltos paleoproterozoicos da Venezuela, os quais têm sido interpretados como representantes de platóis oceânicos originados por plumas mantélicas (VELÁSQUEZ et al., 2011).

### 3.3.2 Formação Bacajá (PP1tpb)

#### Dados históricos, distribuição, relações de contato e assinatura geofísica

Rochas metassedimentares, metavulcânicas ácidas e metavulcânicas intermediárias foram inicialmente descritas por João et al. (1987) e denominadas de Micaxisto Bacajá, as quais neste trabalho são elevadas à categoria de Formação. Esta unidade engloba também filitos, quartzitos e formações feríferas bandadas. Segundo os autores citados, estas rochas foram submetidas a metamorfismo em condições de fácies xisto verde a anfibolito.

Faraco et al. (2005) fazem menção ao Micaxisto Bacajá em trabalhos de escala regional.

Na Folha Rio Bacajá foram identificados filitos e quartzitos pertencentes à Formação Bacajá, que ocorrem sob a forma de lentes com alguns quilômetros de comprimento e dezenas de metros de largura, adjacentes às rochas da Formação Itatá.

Os filitos têm cor cinza escuro e apresentam intercalações rítmicas de bandas claras ricas em quartzo e bandas escuras compostas por sericita e grafita. Os quartzitos são comumente brancos a branco-amarelados (Figuras 3.15 A-B), compostos por quartzo (90-95%) e muscovita (5-10%). Os cristais de quartzo são anédricos, podem mostrar incipiente orientação preferencial e estar circundados por finos agregados de sericita, definindo uma foliação incipiente e uma textura granular orientada (Figura 3.15 C).

Em razão de suas larguras decamétricas, as faixas de filitos e quartzitos não são muito claras nas imagens magnetométricas e gamaespectrométricas.

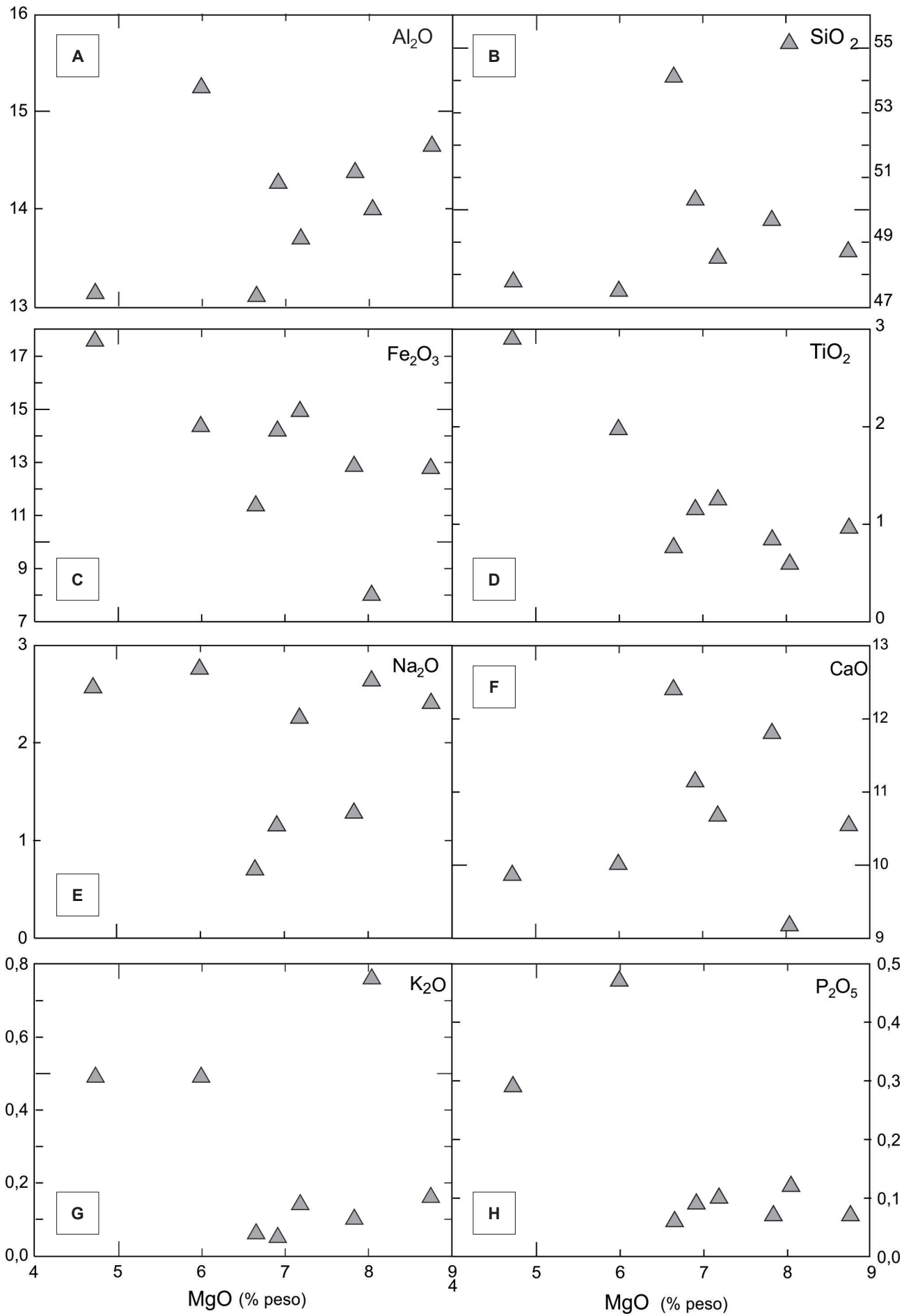


Figura 3.10 - A-H) Diagramas de variação de elementos maiores para os anfibólitos e rochas metabásicas da Formação Itatá. Teores em % em peso.

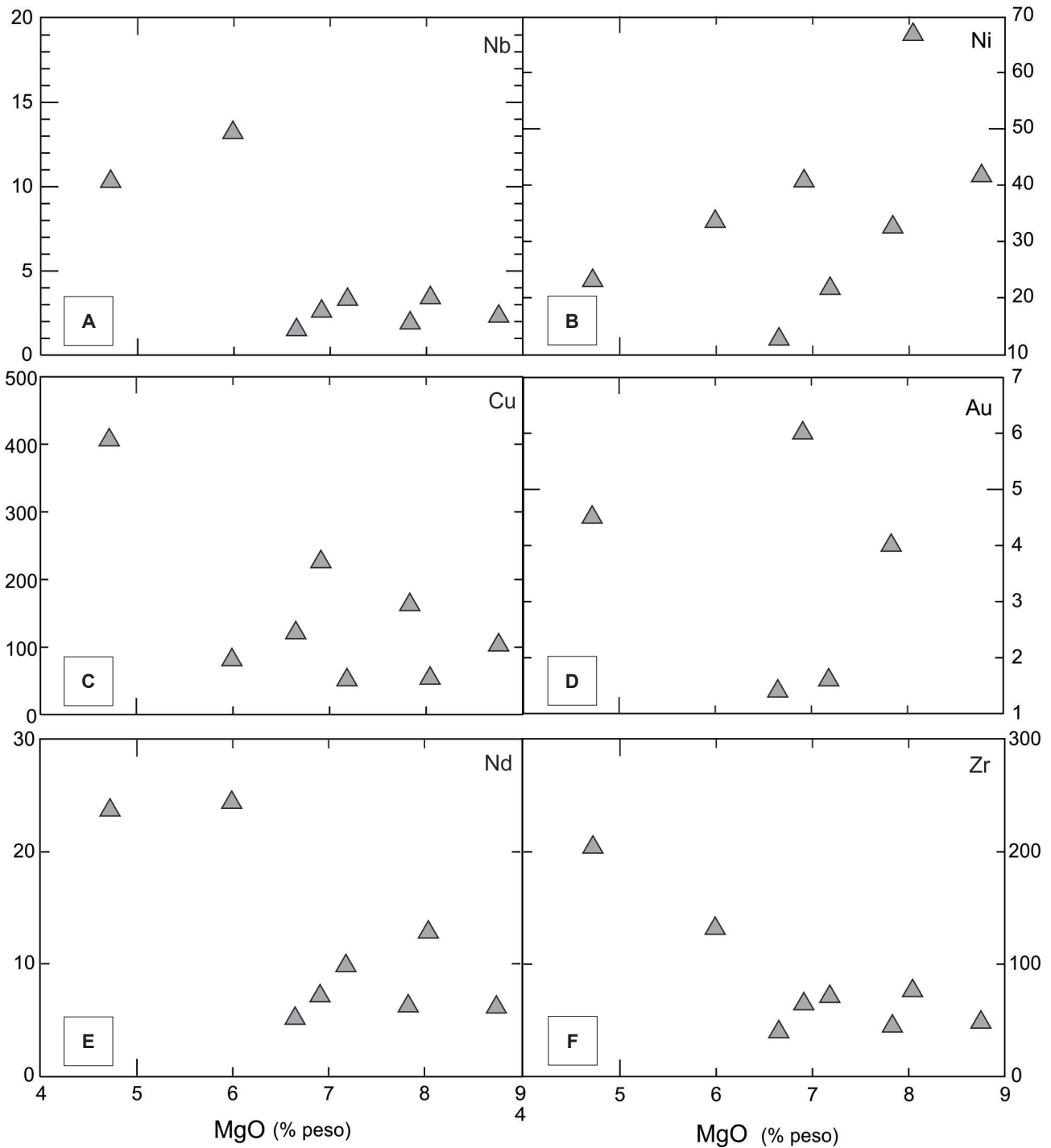


Figura 3.11 - A-F) Diagramas de variação de elementos-traço de anfibolitos e rochas metabásicas da Formação Itatá. Teores de elementos-traço em  $\mu\text{g/g}$  (ppm).

### 3.4 COMPLEXO BACAJAÍ (PP2bj)

#### Dados históricos, distribuição, relações de contato e assinatura geofísica

O Complexo Bacajaí foi definido por João et al. (1987) na Folha Altamira (SA.22-Y-D, 1:250.000) como Granulito Bacajaí, como sendo constituído de granulitos enderbíticos e charnockíticos com ortopiroxênio e de assinatura cálcio-alkalina. Ricci e Costa (2004), em estudos realizados entre os rios Iriri e Tocantins, mencionam a presença de granitoides charnockíticos submetidos a processos de descharnocki-

tização. No texto explicativo do Mapa Geológico do Estado Pará, Vasquez e Rosa-Costa (2008) mantiveram esta denominação.

Em afloramentos, as rochas do Complexo Bacajaí podem em certa medida se assemelhar às rochas das suítes intrusivas Arapari e João Jorge. No entanto, os dados geocronológicos do Complexo Bacajaí confirmam a sua posição estratigráfica acima do Grupo Três Palmeiras e abaixo daquelas suítes.

Na Folha Rio Bacajá os domínios do Complexo Bacajaí mostram assinaturas magnéticas definidas por baixos valores. Nas imagens dos canais de Th, U e K apresentam valores que variam de baixos a médios (FARACO et al., 2005; CARNEIRO, 2010; CARNEIRO

et al., 2012). O comportamento radiométrico desta unidade é relativamente homogêneo por toda Folha. Quando comparado com outras unidades, nota-se que os valores de K, U e Th do Complexo Bacajá são mais altos que os do Anfibolito Itatá e mais baixos do que os das suítes intrusivas Arapari e João Jorge. Estas diferenças foram fundamentais para a cartografia do Complexo Bacajá, considerando a cobertura vegetal e a escassez de acesso na região.

Tanto as imagens magnéticas (amplitude do sinal analítico) como as gamaespectrométricas mostram fortes orientações WNW e NW, que indicam as formas dos corpos do Complexo Bacajá e as suas estruturas. Na imagem da amplitude do sinal analítico há lineamentos WNW e NW que indicam a presença de corpos litológicos alongados e zonas de cisalhamento dúcteis. Lineamentos de direção NE verificados na imagem da amplitude do sinal analítico refletem zonas de falha.

**Aspectos de campo e características petrográficas**

No presente trabalho foram identificados no Complexo Bacajá metaquartzo dioritos, metaquartzo monzodioritos, metatonalitos, metagranodioritos e rochas de composições monzogranítica e sienogranítica. Este complexo perfaz cerca 43% da Folha Rio Bacajá, e ocorre sob a forma de corpos alongados na direção WNW, situados nas partes sul, central e norte.

As feições mais marcantes que permitiram individualizar estas rochas dos granitoides mais jovens (das suítes intrusivas Arapari e João Jorge) são a textura granoblástica, e a presença de clinopiroxênio, biotita castanho avermelhada e principalmente muscovita, formada pelo crescimento da sericita de alteração do plagioclásio. Estas características são mais marcantes na proximidade com as suítes intrusivas Arapari e João Jorge, onde as rochas do Complexo Bacajá foram afetadas por metamorfismo de contato.

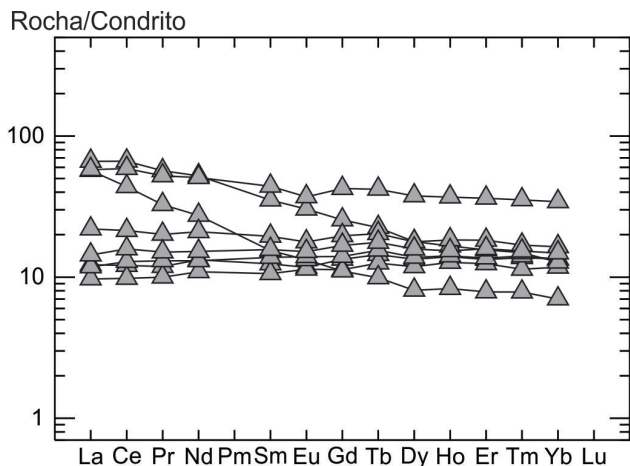


Figura 3.12 - Padrões de elementos terras raras normalizados pelo condrito de Sun e McDonough (1989) de anfibolitos e rochas metabásicas da Formação Itatá.

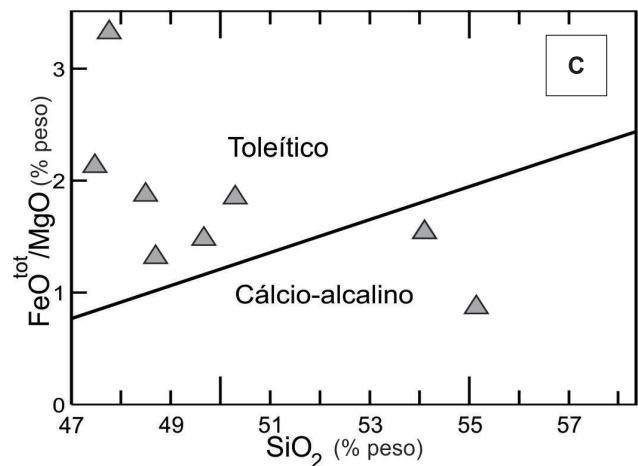
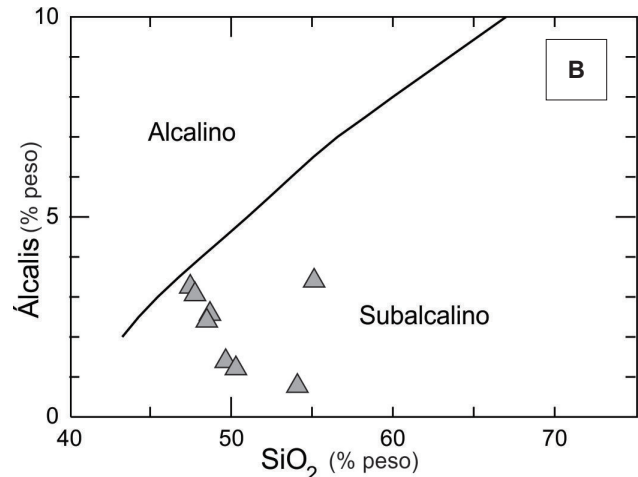
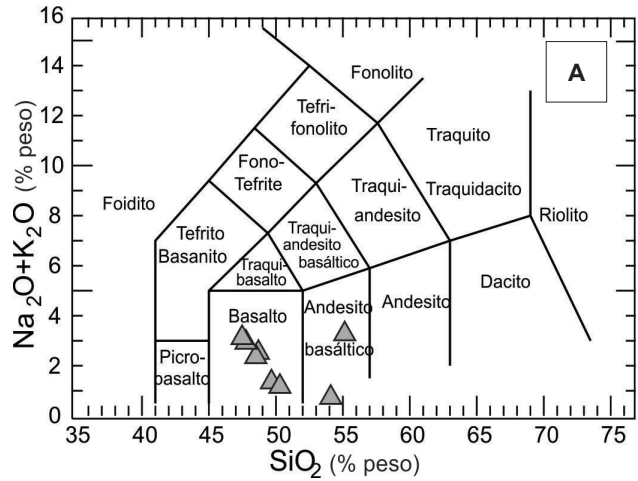


Figura 3.13 – Diagramas com dados de anfibolitos, rochas metabásicas e hornfels anfibolíticos da Formação Itatá. A) Diagrama total de álcalis versus sílica (Le Maitre et al., 2004) mostra o predomínio de rochas de composições basálticas sobre as andesito basálticas. B) Diagrama total de álcalis vs. SiO<sub>2</sub> (cf. Irvine e Baragar, 1971) indicando assinatura subalcalina. C) Diagrama SiO<sub>2</sub> vs. FeO\*/MgO (cf. Miyashiro, 1974) mostrando predomínio toleíticos sobre rochas cálcio-alkalinas.

Os metaquartzo monzodioritos e metaquartzo dioritos afloram como blocos situados próximos a sienogranitos, e sob a forma de xenólitos nestes últimos. Estes metagranitoides têm cor cinza médio, granulação fina a média, e podem mostrar foliação moderada a fraca (Figura 3.16 A e C). Os minerais ferromagnesianos perfazem 70% a 75% da rocha, sendo

que anfíbólio predomina sobre a biotita. Aproximadamente 20% correspondem a plagioclásio, ao passo que o quartzo representa cerca de 5% da rocha.

Geralmente estas rochas têm textura granoblástica, com biotita castanha avermelhada, anfíbólio verde oliva, clinopiroxênio e plagioclásio geralmente límpido (Figuras 3.16 B, C). Rochas com textura granular orientada ou com feições de recristalização dinâmica podem ocorrer localmente.

Os cristais de quartzo são finos, subordinadamente grossos, anédricos a subédricos, possuem contatos retos ou ondulados. São comuns agregados de novos grãos de quartzo sem orientação preferencial.

Os cristais de anfíbólio são finos a médios, anédricos a subédricos. Os contatos entre os cristais são curvilíneos a irregulares. Observa-se forte orientação preferencial do anfíbólio. Os cristais estão deformados e intensamente alterados, com formação de minerais opacos.

Os cristais de clinopiroxênio são finos, euédricos a anédricos, possuem geralmente contatos retos em junções triplíceis, sem orientação preferencial

evidente. Formam agregados junto à biotita e opacos. Apresentam alteração parcial para actinolita, sobretudo nas proximidades de vênulas de anfíbólio actinolítico.

Em rochas com biotita, este mineral pode mostrar cor castanha avermelhada e constituir arranjos decussados com boa orientação preferencial contribuindo para a definição da foliação da rocha (Figura 3.16 C).

Os opacos são muito finos, anédricos a subédricos, e estão dispostos ao longo da foliação, nas proximidades do anfíbólio. Os contatos são retilíneos a irregulares. Os cristais de titanita são muito finos e subédricos. Os contatos são retilíneos a irregulares. Nota-se forte orientação preferencial da titanita. Sericita e epidoto são muito finos, anédricos, e em geral são produtos de alteração de porfiroclastos de plagioclásio.

Os metatonalitos têm cor cinza clara a escura, granulação fina a média, textura equigranular e são anisotrópicos. Os metatonalitos situados a leste são compostos por plagioclásio (40-70%), quartzo (30-

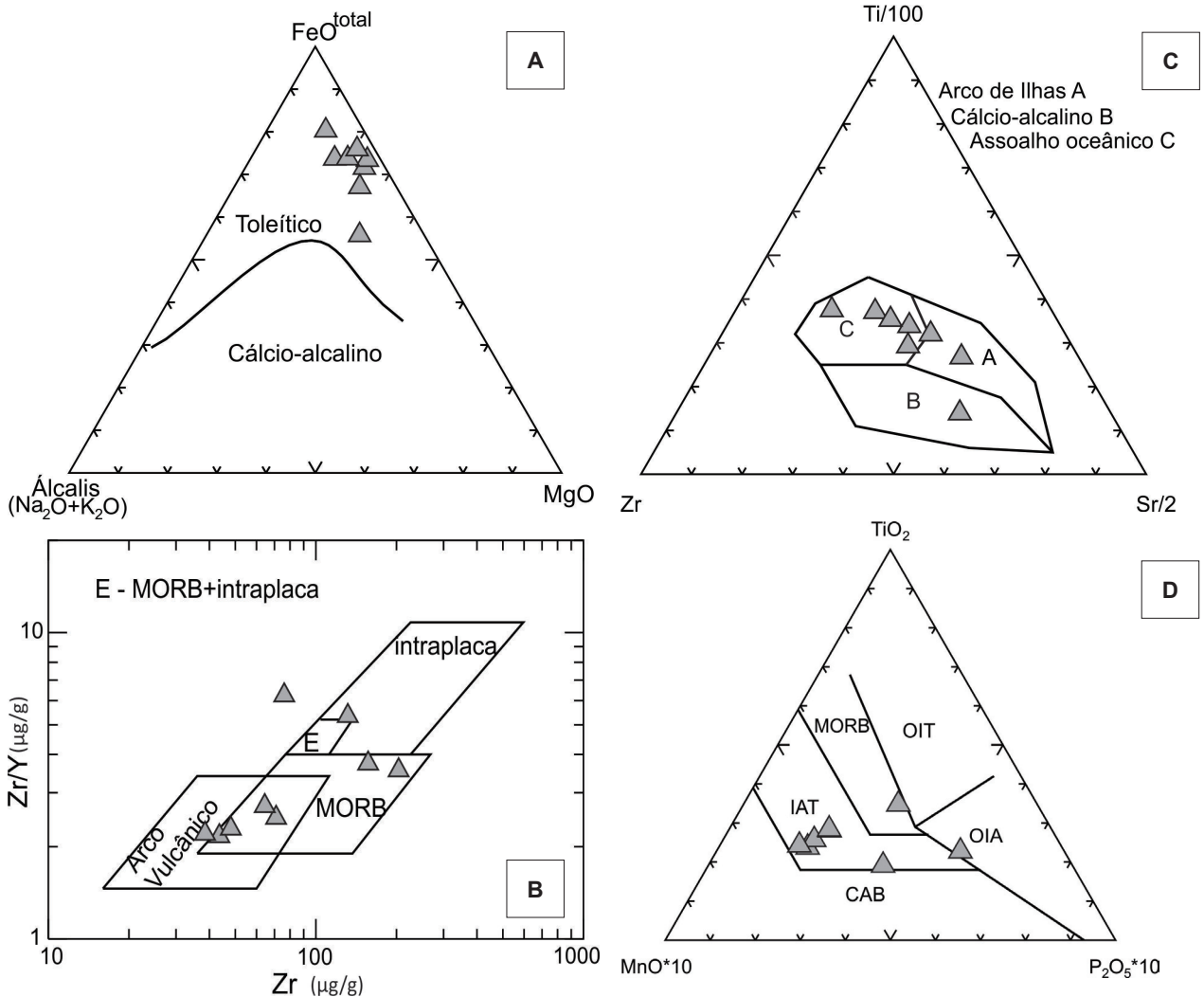


Figura 3.14 - A) Diagrama AFM mostrando afinidade toleítica de anfibolitos e de rochas metabásicas da Formação Itatá. B) Diagrama discriminante de Pearce e Norry (1979) mostrando afinidades com ambiente de fundo oceânico. C) Diagrama de Pearce e Cann (1973) mostrando afinidade com assoalho oceânico para as rochas estudadas. D) No diagrama de Müllen (1983) nota-se afinidades com basaltos de fundo oceânico e de arcos de ilha (OIT: toleitos de ilha oceânica; MORB: basaltos de cordilheira meso-oceânica; IAT: toleitos de arco de ilha; OIA: arco de ilha oceânico; CAO: basaltos cálcio-alcinos).



45%), feldspato alcalino (~10%), biotita (10%), anfíbólio (5%) e opacos (<1%). Os cristais de quartzo ocorrem sob a forma de agregados de novos grãos e subgrãos. Os agregados são alongados, mostram aspecto anastomosado e forte orientação preferencial. Por vezes nota-se a passagem de domínios de subgrãos para domínios de novos grãos. Os novos grãos também possuem

boa orientação preferencial. Os limites dos novos grãos são curvos, retilíneos ou denteados. Há rochas com textura granoblástica em que os cristais de quartzo possuem contatos retilíneos e formais poligonais.

Os cristais de plagioclásio são finos, subédricos a anédricos. Os contatos são retilíneos a irregulares e a orientação preferencial é incipiente. A saussuritização é forte e a sericita sofreu sobrecrecimento para cristais finos de muscovita. Há microfaturas preenchidas por quartzo.

Os cristais de biotita são muito finos a finos e subédricos. Os contatos são retos e curvos. A orientação preferencial da biotita é muito forte. Os cristais de opacos são muito finos, subédricos e orientados segundo uma direção preferencial. Por vezes cristais com boa orientação preferencial formam agregados em arranjo decussado que também acompanham a foliação da rocha.

Os metagranodioritos do sudeste da área têm cor cinza claro rosado, granulação média e foliação moderada (Figuras 3.17 A-B). Estas rochas são compostas por plagioclásio (65%), quartzo (20%), feldspato alcalino (~10%), anfíbólio (~10%) e acessórios, como opacos (~4%) e titanita (~1%). Por vezes biotita está presente.

Os cristais de plagioclásio, do tipo andesina, são muito finos a médios e subédricos a euédricos. Seus contatos são irregulares e a orientação preferencial é fraca. Podem mostrar extinção ondulante, subgrãos e novos grãos. Os novos grãos são finos e seus contatos retilíneos resultam em arranjos poligonais. A saussuritização é generalizada, porém, há novos grãos límpidos de andesina com cristais de muscovita secundária (Figuras 3.17 C-D) resultantes do sobrecrecimento da sericita.

Os cristais de quartzo são finos, subédricos a anédricos e ocorrem em arranjos poligonais. Embora os níveis de quartzo estejam orientados preferencialmente, os cristais de quartzo raramente possuem orientação preferencial, extinção ondulante, subgrãos e novos grãos.

Rochas de composição monzogranítica e sienogranítica pertencentes ao Complexo Bacajá afloram nos domínios central e setentrional da Folha Rio Bacajá. Estes litotipos se distinguem pela cor cinza rosado a cinza claro, granulação média, por vezes fina (Figuras 3.18 A e B) e localmente porfirítica.

Os aspectos estruturais destas rochas, na grande maioria de natureza magmática, são representados por acamamentos magmáticos e foliação magmática com componente no estado sólido. Estas estruturas se assemelham àquelas descritas em outros litotipos do Complexo Bacajá e das suítes Arapari e João Jorge. As rochas sienograníticas e monzograníticas do Complexo Bacajá podem mostrar acamamentos ígneos de natureza rítmica, por vezes exagerados por mobilizados quartzo-feldspáticos. Estas rochas possuem foliação geralmente fraca a moderada (Figuras 3.18 A-D), entretanto, rochas com foliação forte e marcada pelo achatamento de cristais de quartzo também são descritas.

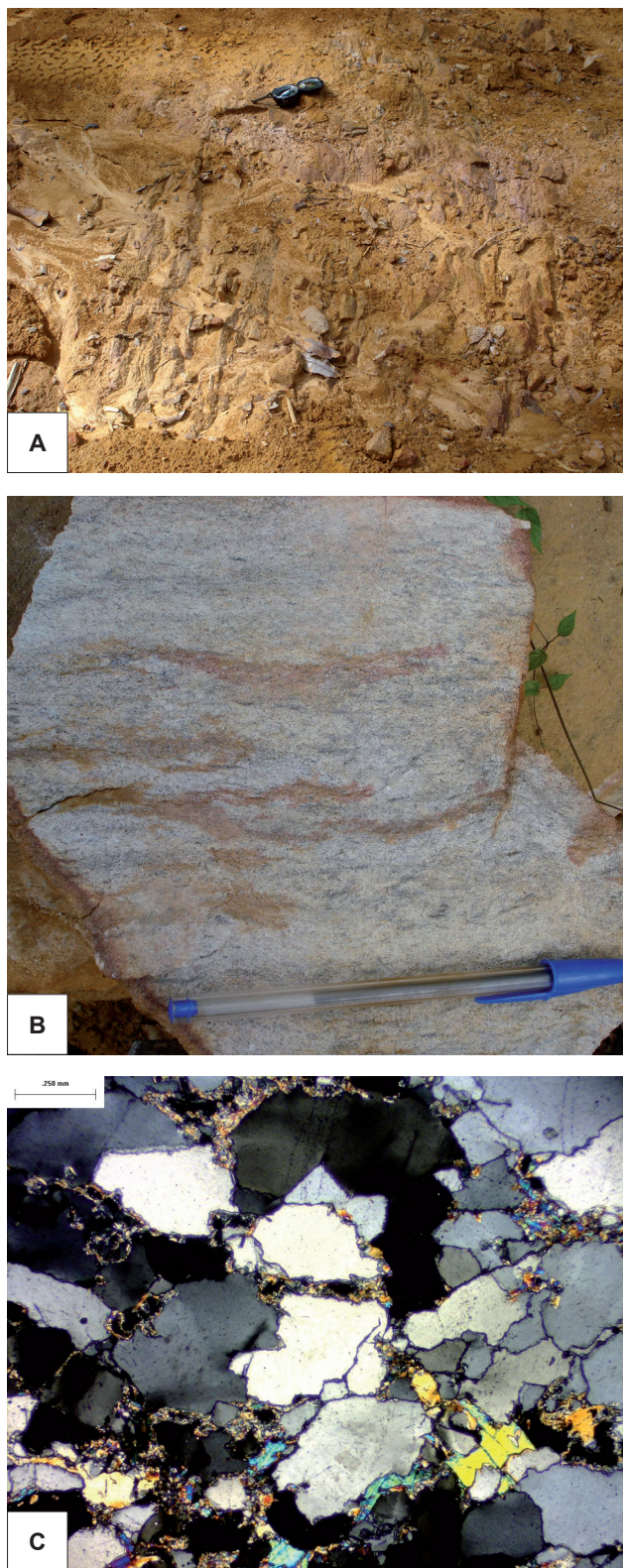


Figura 3.15 - Quartzito da Formação Bacajá mostrando foliação em afloramento (A) e em amostra de mão (B); C) Fotomicrografia (polarizadores cruzados), onde se nota a textura granular orientada (Estação FB 50, UTM 463137/9583706).



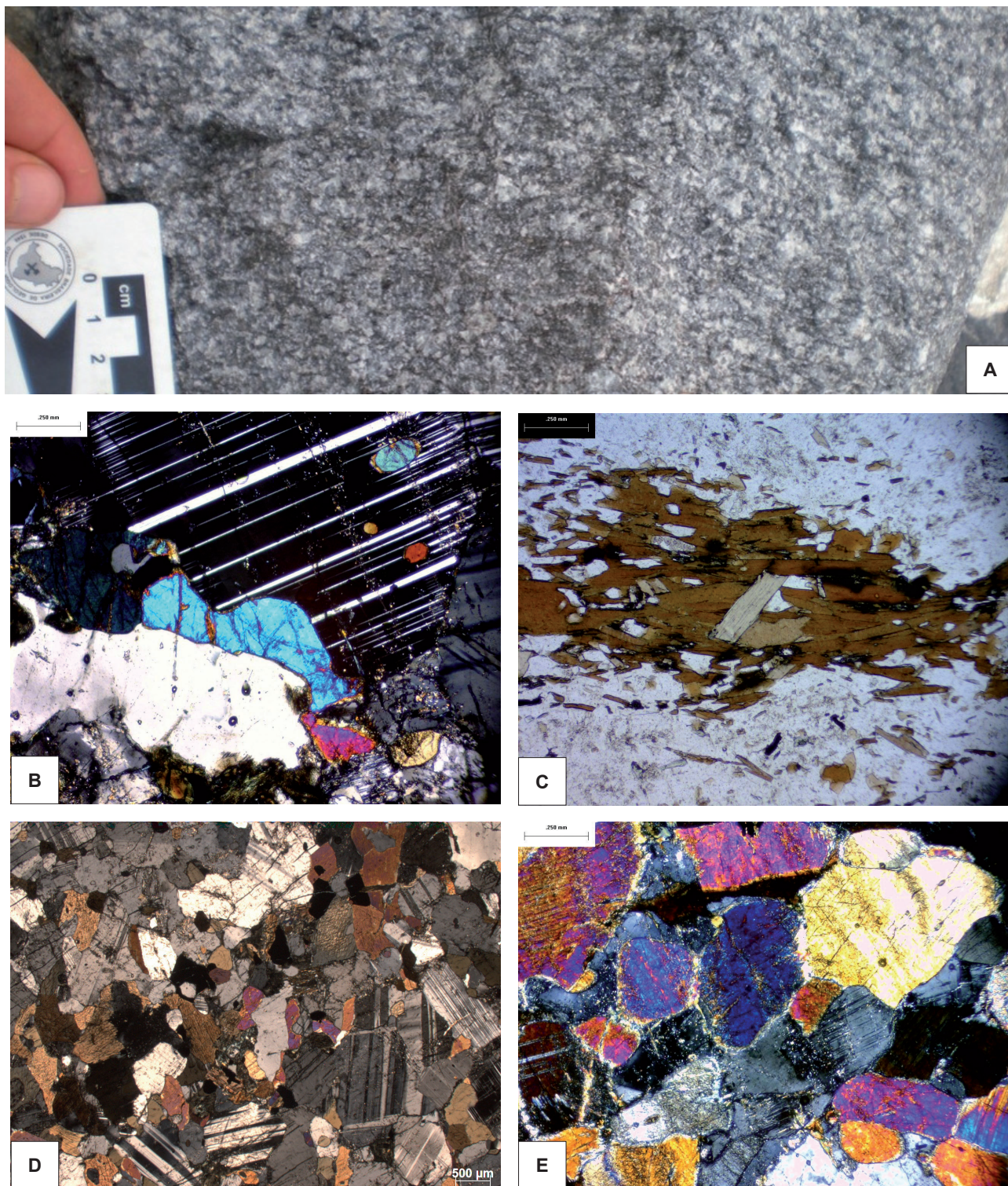


Figura 3.16 - A) Metaquartzo monzodiorito hornfels (Estação FB-130, UTM 489048/9599834) com fraca foliação; B) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) de metaquartzo monzodiorito hornfels mostrando textura granoblástica; C) Fotomicrografia (polarizadores paralelos) de metatonalito (Estação FB-116 UTM 491151/9580022). Notar biotita em arranjo decussado; D, E) Fotomicrografias (polarizadores cruzados) de metaquartzo monzodiorito hornfels (Estação FB-93, UTM 495129/9602260) mostrando plagioclásio límpido, anfibólio e piroxênio em arranjo granoblástico.

Em alguns afloramentos há veios quartzo-feldspáticos de espessura centimétrica, normalmente dispostos paralelamente à foliação. Localmente ocorrem enclaves microgranulares ricos em biotita (Figura 3.18 A), com formas elípticas concordantes à foliação do monzogranito hospedeiro. Estes enclaves podem estar parcialmente ou completamente digeridos pelo granito hospedeiro, e no segundo caso, desenvolvem bandas de espessura milimétrica que desenham um acama-

mento magmático. Em alguns casos, os monzogranitos e sienogranitos do Complexo Bacajá têm textura grossa ou porfírica, denotada pela presença de fenocristais de microclina com boa orientação preferencial.

Sienogranitos podem englobar localmente xenólitos alongados (elípticos) e angulosos de anfibólitos (Figuras 3.18 E-F). Em alguns casos nota-se inicial assimilação do xenólito pelo granito, o que pode dar início à formação de acamamentos localizados.



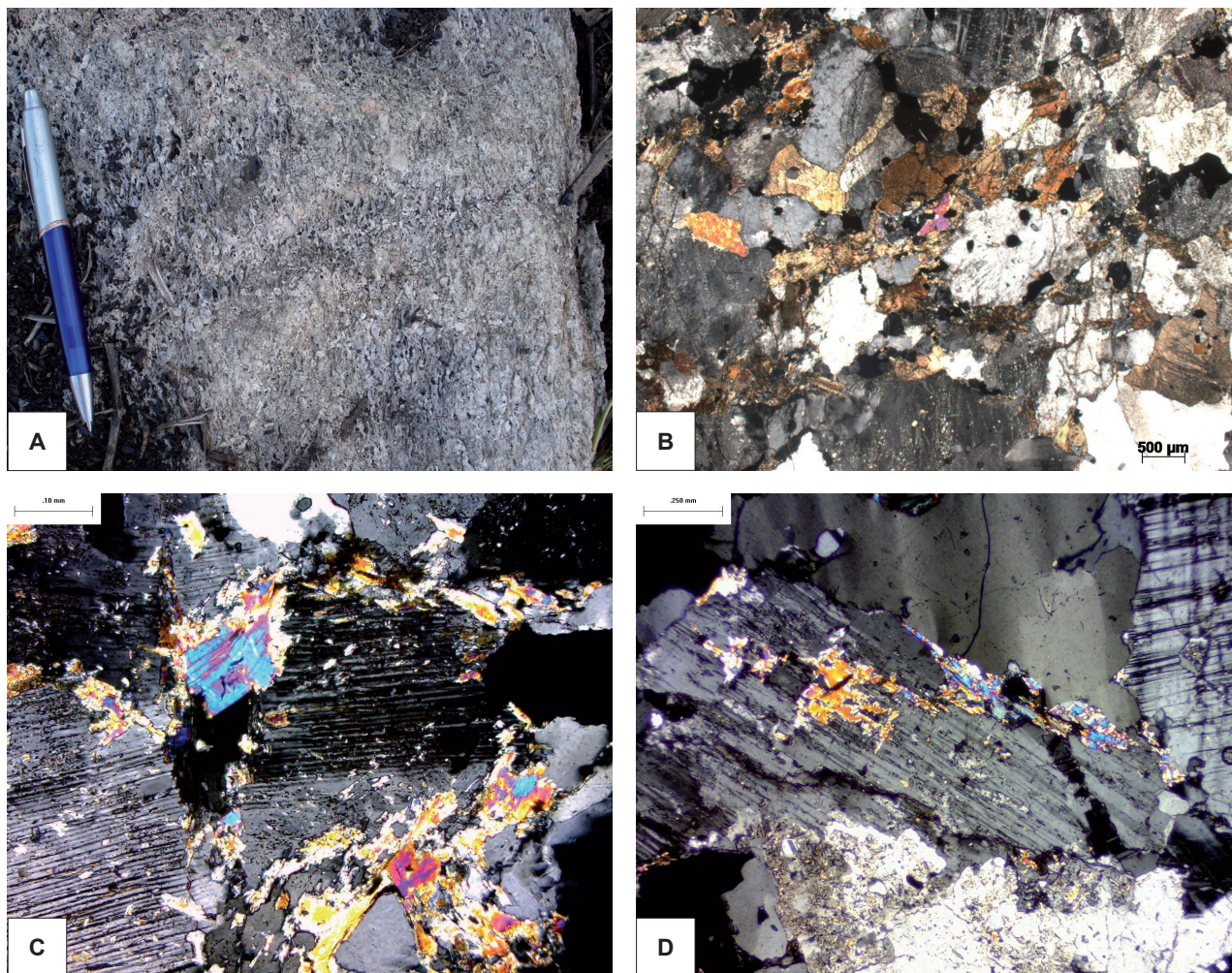


Figura 3.17 - A) Aspecto mesoscópico de metagranodiorito do Complexo Bacajá; B) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) de metagranodiorito hornfels mostrando clinopiroxênio e textura de tendência granoblástica; C, D) Fotomicrografias (polarizadores cruzados) mostrando cristais de muscovita secundária sobre plagioclásio. Estação FB-124 (UTM 474336/9607742).

## Geoquímica

Cinco amostras de metatonalitos e uma de metamonzogranito do Complexo Bacajá foram analisadas (Tabela 3.4). Entre as amostras de metatonalitos, quatro possuem teores pouco variáveis de  $\text{SiO}_2$  (70,54 a 71,77%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2,46 a 2,99%),  $\text{MgO}$  (0,40 a 0,87%) e de  $\text{CaO}$  (2,46 a 3,26%) (Figuras 3.19 A-H). Uma amostra de metatonalito (FB-150) se distingue das demais pelos valores menores de  $\text{SiO}_2$  (50,20%) e mais elevados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (8,83%),  $\text{MgO}$  (2,33%) e  $\text{CaO}$  (5,81%).

O comportamento de elementos-traço (Figuras 3.20 A-F) é marcado por baixas concentrações de Nb (3 a 10 ppm), Rb (33 a 118 ppm) e Y (4 a 18 ppm), por moderados valores de Zr (90 a 164 ppm), Ga (16 a 21 ppm), e moderadas a altas concentrações de Ba (301 a 550 ppm) e Sr (220 a 482 ppm). No metatonalito pobre em sílica (FB-150) notam-se teores de elementos-traço mais elevados de Nb (28 ppm), Y (54 ppm), Zr (214 ppm) e Ba (734 ppm).

As concentrações de ETR são moderadas ( $\Sigma\text{ETR} = 56$  a 229 ppm), sendo relativamente maiores nos ETR leves comparativamente aos ETR pesados [ $(\text{La}/\text{Lu})_N = 4$  a 36]. Observa-se fracionamento moderado

a forte dos ETR leves [ $(\text{La}/\text{Sm})_N = 2,2$  a 8,2], o que resulta em um padrão moderado a fortemente inclinado. Os ETR pesados [ $(\text{Gd}/\text{Lu})_N = 1,2$  a 4,0] possuem arranjo horizontalizado (Figura 3.21) na maioria das amostras, e levemente inclinado em uma delas. Em duas amostras se nota a presença de moderadas anomalias negativas de Eu.

Uma amostra de monzogranito do Complexo Bacajá (Figuras 3.19 A-G) tem valor de  $\text{SiO}_2$  de 70,85% e teores moderados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3,63%) e  $\text{MgO}$  (0,80%). A proporção de feldspato potássico nesta rocha é refletida no aumento de  $\text{K}_2\text{O}$  (4,10%). Em termos de elementos-traço (Figuras 3.20 A-H) notam-se altos valores de Ba (1164 ppm) e concentrações moderadas de Sr (229 ppm), Rb (145 ppm), Zr (179 ppm) e Y (35 ppm). O comportamento dos ETR é marcado por moderado fracionamento dos ETR leves e baixas concentrações de ETR pesados, com padrão quase horizontal, com fraca anomalia de Eu (Figura 3.21 A).

As rochas do Complexo Bacajá são cálcio-alcalinas de baixo a médio potássio (Figura 3.21 B), embora o monzogranito seja cálcio-alcalino de alto potássio. De acordo com a classificação de Frost et al. (2001), estas rochas são magnesianas a ferrosas e cálcicas a cálcio-alcalinas (Figuras 3.21 C-D), metaluminosas a fracamente peraluminosas (Figura



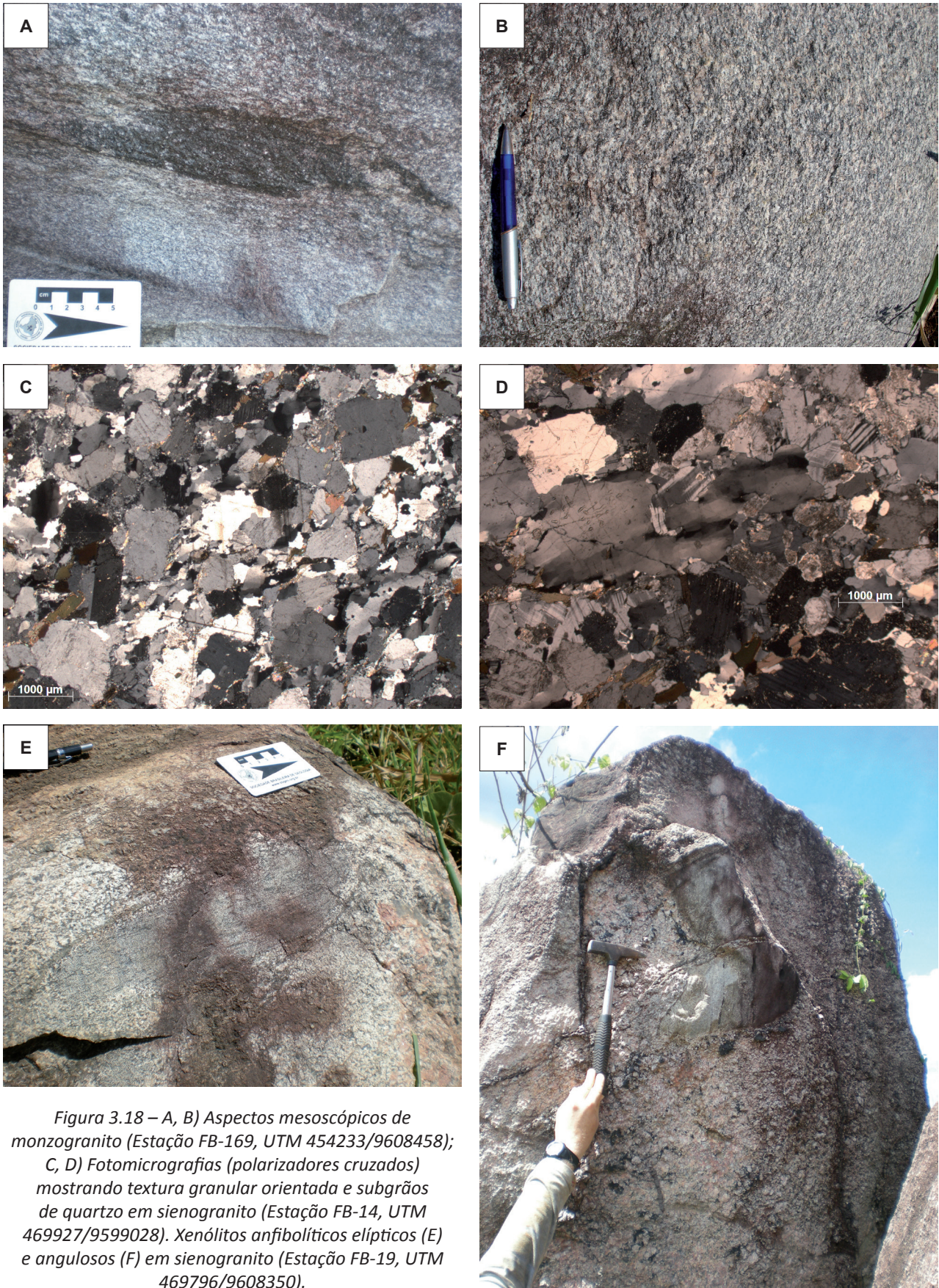


Figura 3.18 – A, B) Aspectos mesoscópicos de monzogranito (Estação FB-169, UTM 454233/9608458); C, D) Fotomicrografias (polarizadores cruzados) mostrando textura granular orientada e subgrãos de quartzo em sienogranito (Estação FB-14, UTM 469927/9599028). Xenólitos anfibolíticos elípticos (E) e angulosos (F) em sienogranito (Estação FB-19, UTM 469796/9608350).

ra 3.22 A). No diagrama  $K_2O-Na_2O-CaO$  (cf. Arth e Barker, 1976), estas rochas mostram tendência não muito nítida no sentido da associação trondhjémítica (Figura 3.22 B).

Em diagramas discriminantes de ambientes tectônicos a maioria das rochas analisadas do Complexo Bacajaí se compara às rochas de arcos mag-

máticos de margem continental ativa (Figuras 3.22 C-D). Uma das amostras se situa nos campos de rochas de ambiente intraplaca. A origem profunda dos líquidos dos protólitos das rochas do Complexo Bacajaí poderia explicar o forte fracionamento de ETR de suas rochas. Fusões parciais de fontes crustais e mantélicas, em condições de altas pressões,



Tabela 3.4 - Dados químicos de elementos maiores (% em peso) e elementos-traço (ppm) de metagranitoides do Complexo Bacajá.

Elementos	Metatonalitos					Metamonzogranito
	FB 150	FB 169	FB 116	FB 136	FB 17	FB 148
SiO <sub>2</sub>	59,20	70,54	70,84	70,99	71,77	70,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,74	15,85	15,28	15,53	14,72	13,85
TiO <sub>2</sub>	1,17	0,21	0,22	0,23	0,23	0,41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,83	2,46	2,69	2,38	2,99	3,63
MgO	2,33	0,4	0,87	0,51	0,43	0,8
MnO	0,13	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002
CaO	5,81	2,85	3,26	2,68	2,46	2,47
Na <sub>2</sub> O	3,94	5,18	4,85	4,99	4,48	3,14
K <sub>2</sub> O	1,80	1,54	1,10	2,15	2,33	4,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,33	0,05	0,06	0,07	0,07	0,09
PF	0,5	0,8	0,7	0,3	0,4	0,4
<b>Soma</b>	<b>99,76</b>	<b>99,9</b>	<b>99,91</b>	<b>99,89</b>	<b>99,9</b>	<b>99,79</b>
Ba	734	370	301	467	550	1164
Ga	22,6	19,8	16,4	20,5	20	16,2
Nb	27,8	3,3	4,6	10,1	8	10,8
Rb	83,4	65,8	33,2	118	102,9	145
Sr	266,8	481,6	253,6	415,5	220,4	229,4
Ta	1,8	0,4	0,5	1,2	0,6	0,7
Th	5,7	3,3	8,2	7,3	7,5	12,6
U	0,9	0,7	2,3	1,8	1	1,9
Cs	1,1	2,3	1,5	2,2	2,7	1,4
Zr	213,7	89,5	115,5	103,7	164,4	178,7
Y	53,8	6	4,4	17,7	5,8	34,9
Be	2	<1	<1	2	2	1
Sn	5	2	<1	2	1	2
W	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6
Mo	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	1,1
Zn	70	42	43	46	45	50
Ag	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
As	0,7	<0,5	915,4	0,7	<0,5	0,6
Au	1,3	1	296,1	3,1	<0,5	0,8
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ni	8,4	1,5	10,2	2,6	2,2	5,3
Pb	2,9	2,6	7,6	3,3	3	7,2
Sb	<0,1	0,8	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tl	0,3	0,2	0,1	0,4	0,3	0,4
Cu	41,5	3,6	50,9	2,7	6,4	9,9
Co	18,3	2,2	5,5	3,4	3,4	7,7
V	139	12	26	20	17	40
Hf	5,2	2,5	3,3	2,9	4,6	4,6
Sc	20	2	4	3	3	5

Tabela 3.4 - Dados químicos de elementos maiores (% em peso) e elementos-traço (ppm) de metagranitoides do Complexo Bacajá.

(continuação)

Elementos	Metatonalitos					Metamonzogranito
	FB 150	FB 169	FB 116	FB 136	FB 17	FB 148
La	33,7	12,7	21,3	15,1	20,9	51,9
Ce	86,2	24,2	39,3	33,4	40,2	103,6
Pr	11,28	2,66	3,69	3,77	4,16	10,47
Nd	47,9	10	11,9	14,4	14,9	36,8
Sm	9,63	1,64	1,62	3,09	2,5	6,13
Eu	1,71	0,57	0,43	0,56	0,64	0,81
Gd	8,46	1,28	1,07	2,98	1,92	5,51
Tb	1,43	0,18	0,15	0,5	0,28	0,90
Dy	8,21	0,98	0,76	2,74	1,17	5,11
Ho	1,67	0,2	0,14	0,58	0,2	1,06
Er	4,96	0,55	0,41	1,67	0,48	3,18
Tm	0,85	0,09	0,06	0,25	0,07	0,47
Yb	5,54	0,6	0,43	1,51	0,42	2,94
Lu	0,85	0,09	0,08	0,21	0,06	0,43
<b>ΣETR</b>	222	56	81	81		229
<b>(La/Lu)N</b>	4,1	14,5	27,4	7,4	35,9	12,4
<b>(La/Sm)N</b>	2,2	4,8	8,1	3,0	5,2	5,2
<b>(Gd/Lu)N</b>	1,2	1,7	1,6	1,7	3,9	1,6

poderiam envolver a participação de granada no resíduo de tal modo que os líquidos gerados são pobres em ETR pesados. Fusão parcial de crosta oceânica envolvida no ambiente de subducção, tal qual proposto por vários autores (MARTIN; MOYEN; 2002; MOYEN, 2009) poderia dar origem a líquidos tonalíticos.

A participação de material reciclado na origem dos magmas dos protólitos do Complexo Bacajá pode ser sugerida pelos valores de  $\epsilon_{Nd}$  de -2,3 (amostra FB 136), cuja idade-modelo é de 2569 Ma. Este dado isotópico sugere a participação de componentes crustais continentais mais antigos na fonte dos magmas do Complexo Bacajá. Isto permite sugerir que a origem destas rochas esteja ligada à margem continental ativa.

### Geocronologia

Dados geocronológicos prévios do Complexo Bacajá, obtidos pelo U-Pb SHRIMP e Pb-Pb evaporação e zircão, forneceram as idades entre 2114 Ma e 2094 Ma (FARACO et al., 2005; MONTEIRO, 2006).

Neste trabalho foi datado um monzogranito milonítico (FB-148, UTM 448395/9574259), situado no sudoeste da Folha Rio Bacajá. Dos 23 cristais de zircão datados por evaporação de Pb, 4 forneceram uma idade média de  $2112 \pm 8$  Ma (Figura 3.23, Tabela 3.5). A datação pelo método Sm-Nd da mesma amostra (Tabela 3.6) forneceu a idade modelo  $T_{DM}$  de 2,31 Ga e um valor de  $\epsilon_{Nd}$  de +0,56.

### 3.5 - Suíte intrusiva Arapari (PP2yar)

#### Dados históricos, distribuição, relações de contato e assinatura geofísica

Nos trabalhos de João, Vale e Lobato (1987) são descritas rochas granodioríticas, graníticas e quartzo dioríticas deformadas em diferentes intensidades e denominadas de Granodiorito Anapu, cujas características se assemelham ao que se descreveu no âmbito do presente trabalho em rochas atribuídas à Suíte Intrusiva Arapari. Ao longo da região denominada de volta grande do Rio Xingu, a oeste da Folha Rio Bacajá, Santos et al. (1988) agruparam, sob a denominação de Unidade IV, granodioritos e granitos foliados, por vezes gnáissicos e com foliação de direção NW. Estas rochas também poderiam ser prolongamentos para oeste da Suíte Intrusiva Arapari.

Vasquez et al. (2005) descrevem na região de Brasil Novo, a oeste do Rio Xingu, corpos alongados ou elípticos de tonalitos e granodioritos, orientados na direção NW e dotados de tramas magmáticas, protomiloníticas e miloníticas. Estas rochas poderiam ser comparadas com as pertencentes à Suíte Intrusiva Arapari, ou mesmo ser prolongamentos desta mesma suíte. Faraco et al. (2005) mencionam uma datação de 2085 Ma para estas rochas.

Os mapas geológicos apresentados por Faraco et al. (2005) e Vasquez et al. (2005) mostram que a sul de Anapu há corpos de granitos de 2,08 Ga, concordantes à estruturação regional, e que parecem se correlacionar à Suíte Intrusiva Arapari.

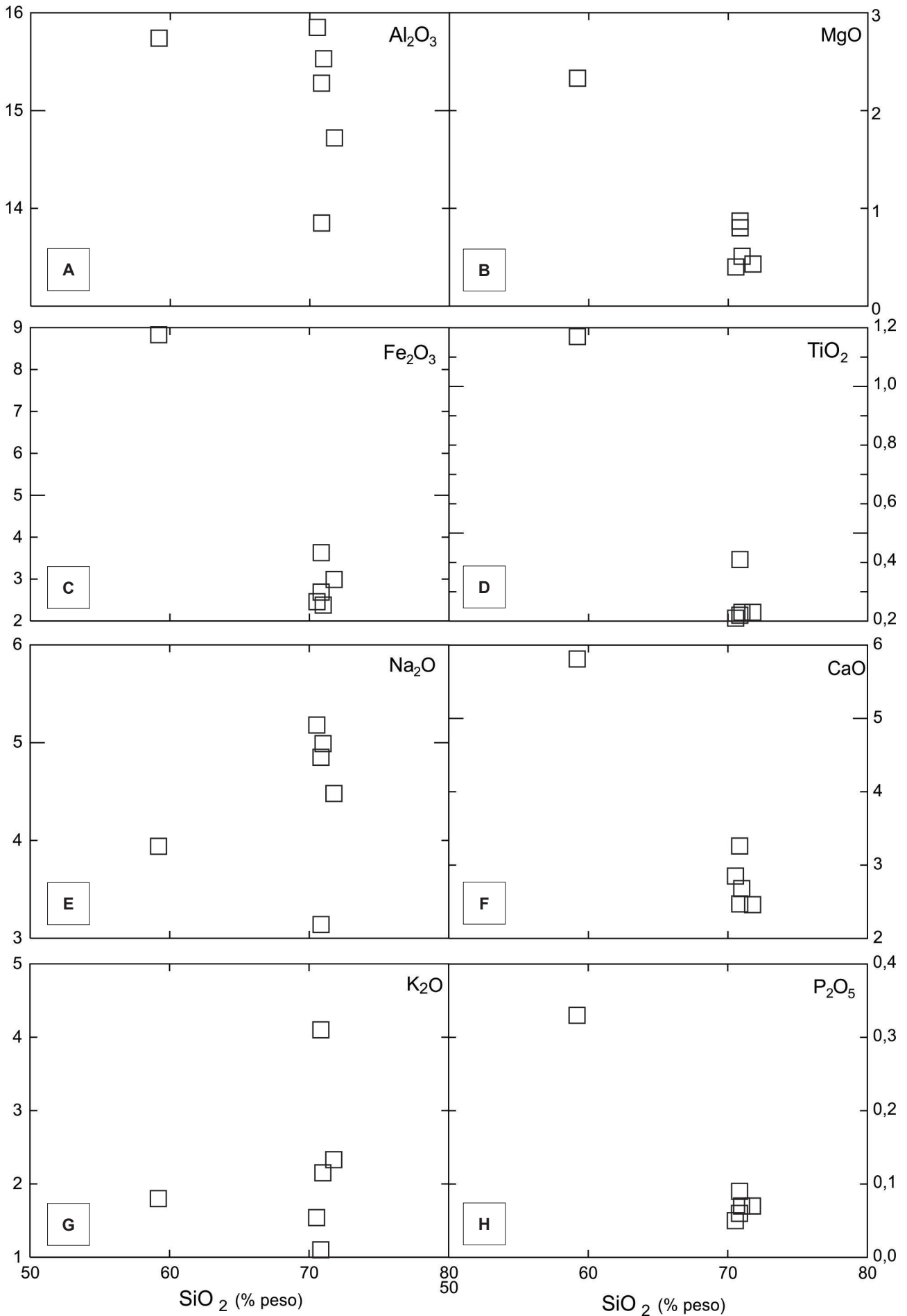


Figura 3.19 - A-H) Diagramas de Harker com dados de elementos maiores de amostras dos metagranitoides do Complexo Bacajá.

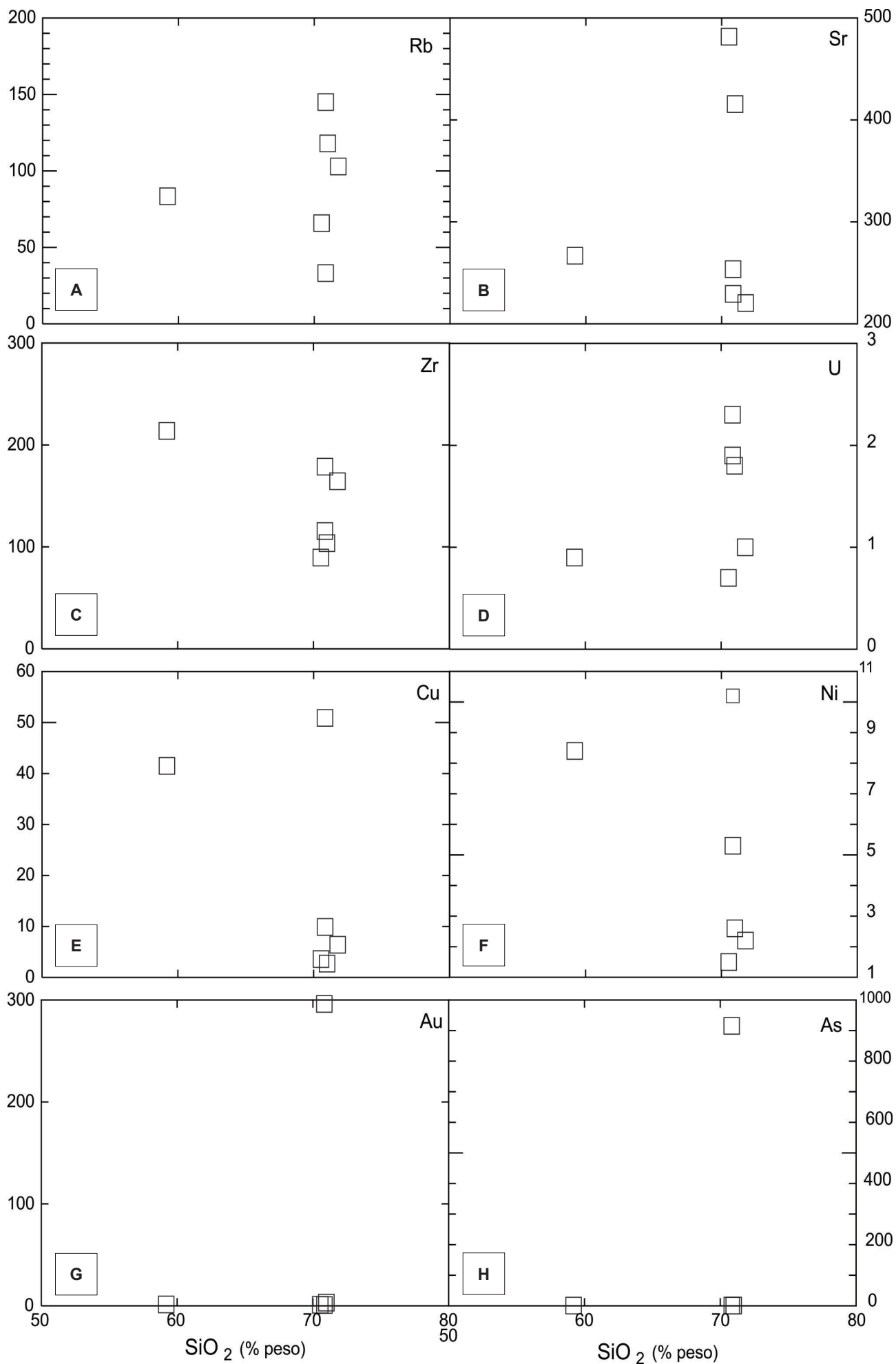


Figura 3.20 - A-H) Diagramas de Harker com dados de elementos-traço de amostras dos metagranitoides do Complexo Bacajaí.



Barros et al. (2006, 2007) descrevem ao longo da rodovia Transamazônica e de suas estradas vicinais rochas granitoides com foliações magmáticas, podendo localmente mostrar zonas miloníticas muito semelhantes às descritas no presente trabalho. Naquela ocasião, Barros et al. (2007) obtiveram uma idade de 2076 Ma (Pb-Pb evaporação de zircão) em granitos foliados situados a sudeste da Folha Rio Bacajá e que se assemelham às rochas da Suíte Intrusiva Arapari, e poderiam também ser prolongamentos a sudeste desta unidade.

A formalização da Suíte Intrusiva Arapari foi feita por Vasquez e Rosa Costa (2008), que a descrevem como uma unidade formada por corpos charnockíticos e charnoenderbíticos, controlados por zonas de cisalhamento transcorrente de direções WNW-ESE e NW-SE, incluindo nas Suítes Plutônicas Tardi a Pós-Colisionais do Domínio Bacajá.

No presente trabalho de cartografia da Folha Rio Bacajá, a Suíte Intrusiva Arapari ocorre sob a forma de corpos alongados, por vezes elípticos, orientados na direção NW, que predominam na parte central e setentrional da Folha, perfazendo 17% da sua área. Os corpos desta suíte estão intercalados por corpos do Complexo Bacajá e da Suíte Intrusiva João Jorge. A Suíte Intrusiva Arapari tem contatos tectônicos com o Complexo Bacajá ou com a Formação Itatá, controlados por zonas transcorrentes destrais.

Alguns contatos dispostos ao longo de corredores NW e WNW foram inferidos como zonas de cisalhamento aproximadas.

A partir de dados aerogeofísicos, Faraco et al. (2005) e Carneiro et al. (2012) mostraram domínios com formas alongadas, por vezes elípticas, de direções WNW e NW, que se distinguem por baixos valores magnetométricos e altos valores gamaespectrométricos nos canais de U, K, Th e contagem total. Estes corpos seriam correspondentes à Suíte Intrusiva Arapari.

**Aspectos de campo e características petrográficas**

Na área da Folha Rio Bacajá foram caracterizados monzodioritos, tonalitos, granodioritos e monzogranitos na Suíte Intrusiva Arapari. Os monzodioritos ocorrem de modo localizado nas partes centro-sul e norte da área. São rochas de cor cinza escuro, textura equigranular fina a média a média. Estas rochas mostram foliação fraca a moderada definida pelo achatamento de quartzo e pela orientação preferencial de anfibólio. Este mineral pode perfazer cerca de 20% da rocha.

Os tonalitos são geralmente de cor cinza média, às vezes rosados ou esbranquiçados, isotrópicos a foliados (Figuras 3.24 A-B) e configuram

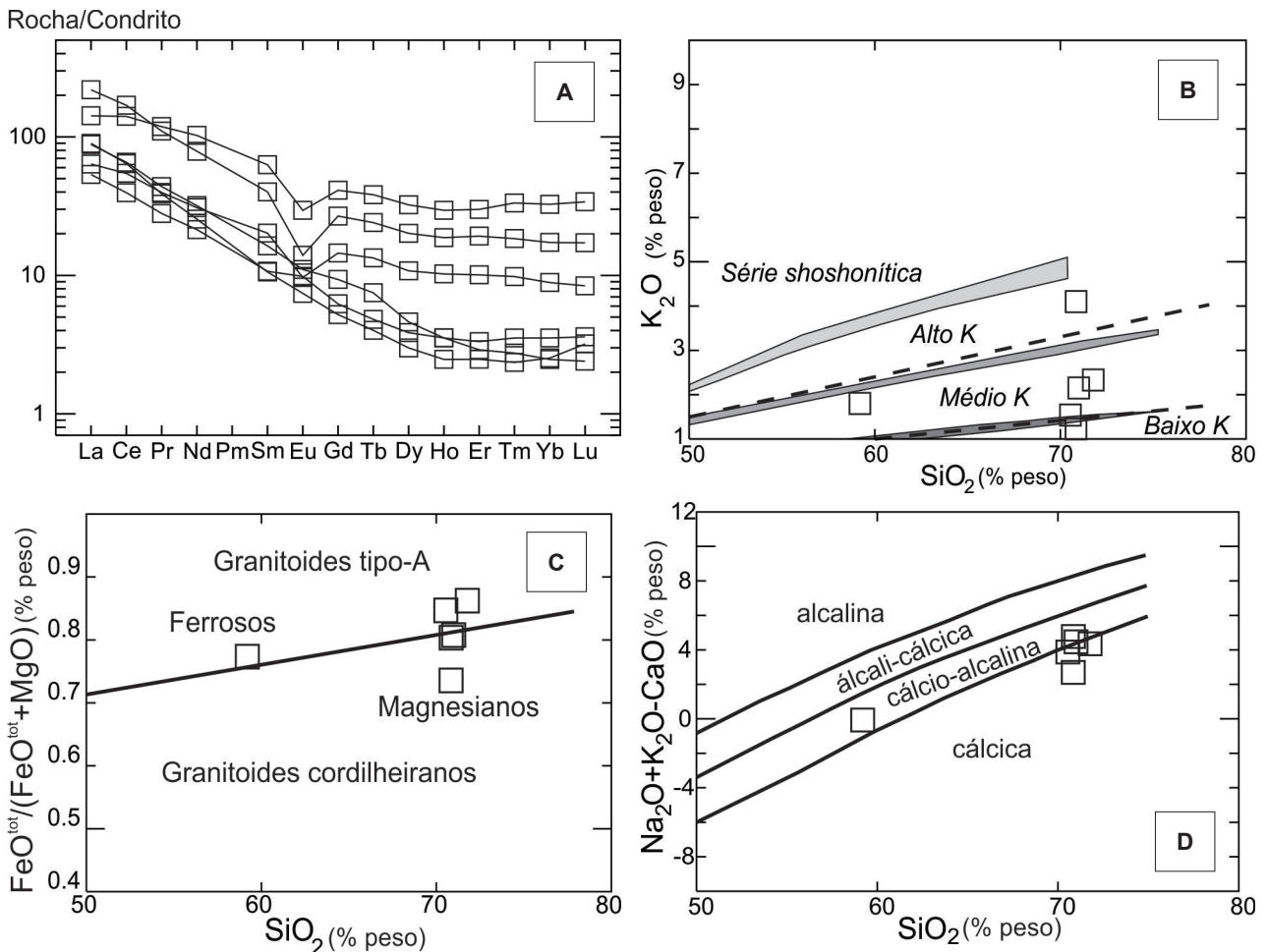


Figura 3.21 - Diagramas com dados de metagranitoides do Complexo Bacajá. A) Padrão de elementos terras raras; B) Diagrama SiO<sub>2</sub> vs. K<sub>2</sub>O (cf. Le Maitre et al., 2004; C-D) Diagramas de classificação de Frost et al. (2001).

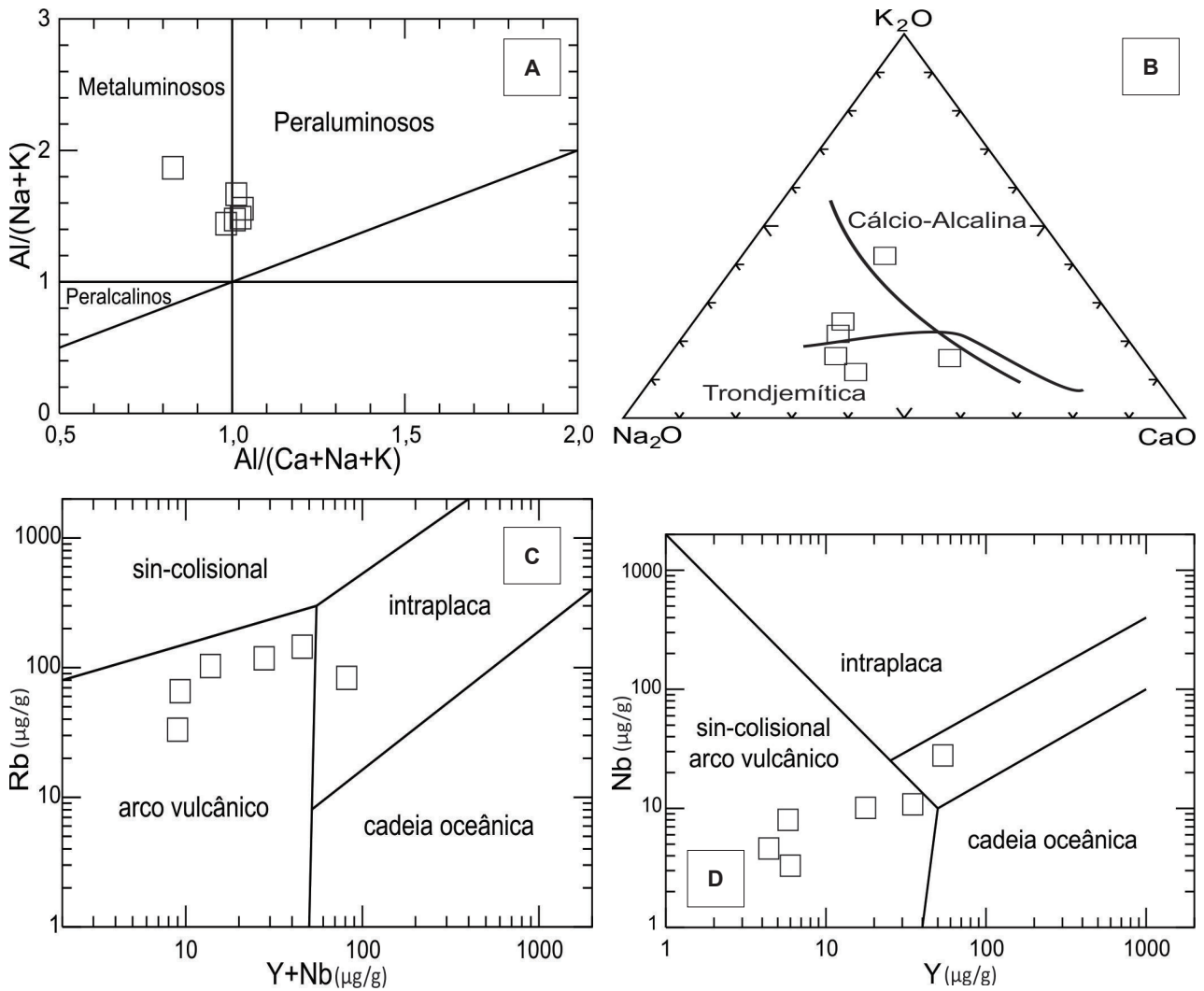


Figura 3.22 - Diagramas geoquímicos com dados de metagranitoides do Complexo Bacajá. A) Índice de aluminosidade (cf. Shand, 1969); B)  $K_2O-Na_2O-CaO$  (cf. Arth e Barker, 1976); C e D) Diagramas discriminantes de Pearce et al. (1984).

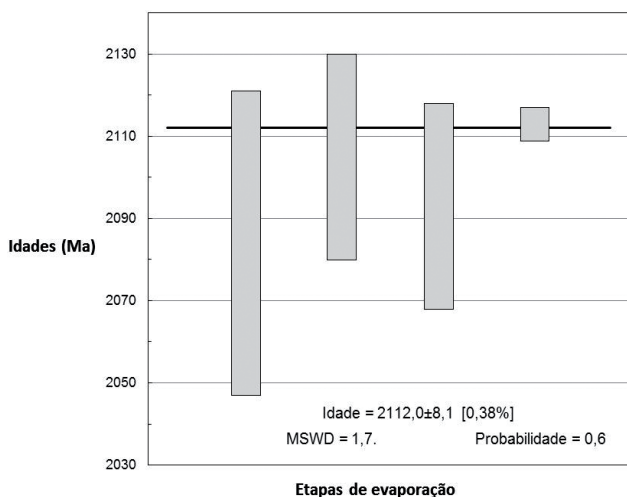


Figura 3.23 - Diagrama idade vs. etapas de evaporação de zircão de monzogranito milonítico do Complexo Bacajá (FB-148, UTM 448395/9574259), coletado no sudoeste da Folha Rio Bacajá.

corpos reduzidos (<30 km<sup>2</sup>). São compostos por plagioclásio (50-70%), quartzo (25-40%), microclínio (<10%), biotita (5-10%), anfibólio (0-10%) e minerais acessórios (~1%) como epidoto, sericita, zircão, apatita e magnetita.

Os granodioritos têm cor cinza clara a média, esbranquiçados quando bastante intemperizados. A granulação é média a grossa, com variações locais para granulações finas. Estas rochas podem mostrar aspecto homogêneo e foliação incipiente (Figura 3.25 A), acamamento ígneo marcante evidenciado pela alternância rítmica de níveis ricos em minerais ferromagnesianos e níveis quartzo-feldspáticos. Nestes casos o espaçamento dos níveis varia de centimétrico a milimétrico (Figuras 3.25 B-C). Podem ocorrer granodioritos com acamamentos ígneos incipientes cuja alternância é caracterizada apenas por diferenças sutis na proporção de minerais ferromagnesianos (Figura 3.25 D). A assembleia de minerais é constituída por plagioclásio (40-60%), quartzo (25-30%), microclínio (10-25%), biotita (2-10%), anfibólio (0-5%) e acessórios (1-5%). Titanita, apatita, allanita, magnetita e zircão são os minerais acessórios.

Os monzogranitos afloram em boa parte da área, são comumente cinza claros, rosados a esbranquiçados, com índice de cor entre 5% e 8%. São compostos por microclínio (35-50%), plagioclásio (35-40%), quartzo (20-30%), biotita (5-8%), anfibólio (5-8%) e acessórios (<5%), como titanita, allanita, magnetita, apatita, zircão e por vezes epidoto. Há



Tabela 3.5 - Dados de Análises Pb-Pb evaporação de zircão de monzogranito milonítico (FB -148) do Complexo Bacajá.

Zircão	Temp.	Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	$2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
A148/3	1450	34	4975	0,09014	0,00167	0,13127
A148/8	1500	16	6289	0,11585	0,00312	0,13245
	1500	36	3425	0,12276	0,00042	0,11927
A148/16	1500	4	2212	0,09321	0,00493	0,13560
A148/22	1500	8	> 100000	0,05777	0,06676	0,13113

$2\sigma$	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	$2\sigma$	Idade (etapa)	$2\sigma$	Idade (grão)	$2\sigma$
0,00182	0,12895	0,00269	2084	37	2084	37
0,00084	0,13048	0,00182	2105	25	2105	25
0,00029	0,11524	0,00035	1884	5		
0,00080	0,12964	0,00186	2093	25	2093	25
0,00032	0,13113	0,00033	2113	4	2113	4
<b>Média (4 grãos, MSWD = 1,7)</b>					<b>2112</b>	<b>8</b>

Tabela 3.6 - Dados de análises Sm-Nd rocha total de monzogranito milonítico (FB-148) do Complexo Bacajá; ( $t^* = 2,11$  Ga).

Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	Sm/Nd	$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$	Erro (%)	$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}$	Erro (%)	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$T_{\text{DM}}$ (Ga)	$\frac{^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}}{(t^*)}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t^*)$
FB-148	6,32	40,00	0,158	0,0956	0,01	0,511262	0,0005	- 26,80	2,31	0,510004	0,56

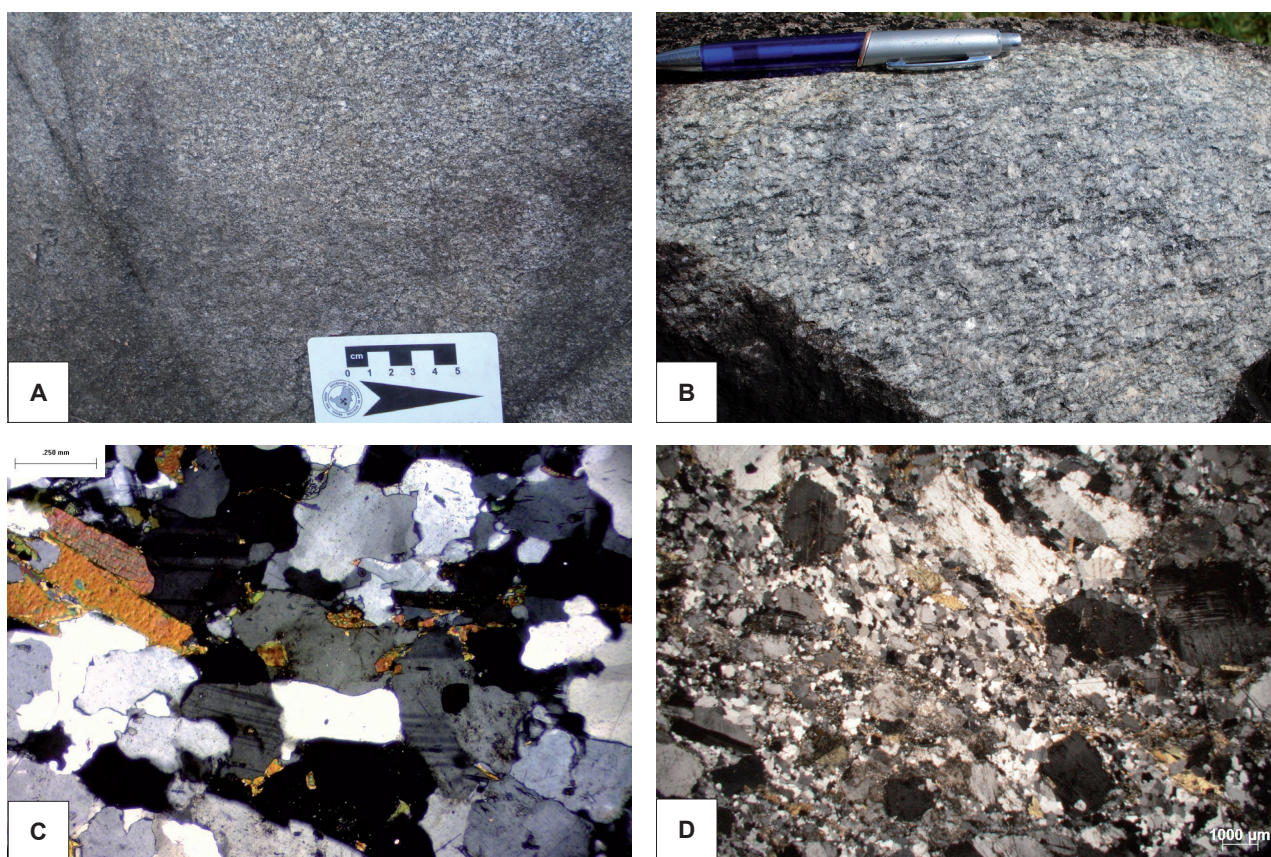


Figura 3.24 – Tonalitos da Suíte Intrusiva Arapari exibindo (A) foliação incipiente (Estação FB-117, UTM 499748/9591496) ou (B) moderada (Estação FB-75, UTM 495090/9575144); C) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) mostrando textura granular orientada, e foliação marcada pela orientação dos minerais e achatamento de quartzo, o qual mostra extinção ondulante, subgrãos e novos grãos; D) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) de tonalito protomilonítico. Notar os agregados de finos novos grãos ao redor de porfiroclastos.



monzogranitos que apresentam bandamento composicional  $S_0$ , que são pouco foliados e deformados (Figuras 3.26 A-B). A textura destes monzogranitos que registram acamamento magmático é granular orientada e a estrutura é fraca a moderadamente foliada. A orientação preferencial incipiente a moderada de quartzo e biotita define uma foliação

(Figuras 3.26 E), geralmente oblíqua ao acamamento magmático. Veios de aplitos e pegmatitos são comuns cortando monzogranitos. Alguns veios de pegmatito quartzo-feldspático podem exibir textura gráfica, ou ainda mostrar fenocristais subédricos de microclina. Por vezes a foliação impressa no pegmatito é concordante à foliação do granito hospedeiro.

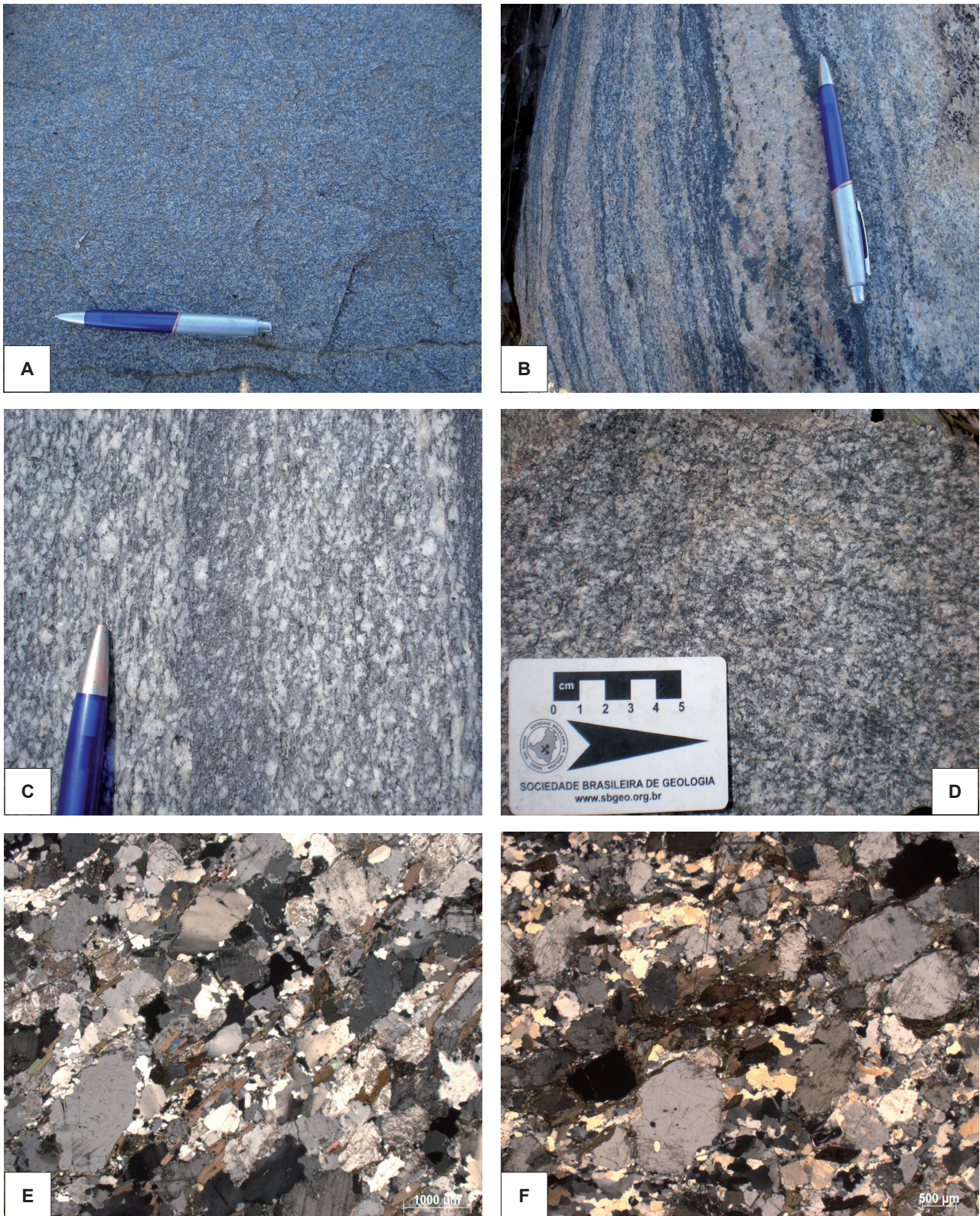


Figura 3.25 - Granodioritos da Suíte Intrusiva Arapari, com (A) fraca foliação (Estação FB-15, UTM 469744/9600000); (B) e (C) acamamento ígneo forte e foliação principal com componente magmático subparalela ao acamamento (estações FB-16, UTM 469880/9601164 e FB-15); (D) foliação fraca concordante ao acamamento (Estação FB-68, UTM 493926/9585542); (E) e (F) fotomicrografias (polarizadores cruzados) mostrando textura granular orientada e novos grãos e subgrãos de quartzo.



No sudoeste da área há monzogranitos porfíricos afetados por zonas miloníticas.

Na escala microscópica as rochas da Suíte Intrusiva Arapari possuem muitas semelhanças em suas texturas e microestruturas, diferindo nas proporções de seus minerais. As texturas são predominantemente do tipo granular orientada e uma



Figura 3.26 - Monzogranitos da Suíte Intrusiva Arapari. (A) foliação incipiente (Estação FB-62, UTM 494750/9580488); (B) acamamento magmático fraco (Estação FB-68, UTM 493926/9585542); (C) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) (Estação FB-62), mostrando cristais achatados de quartzo, com extinção ondulante, subgrãos e novos grãos.

foliação fraca a moderada é definida pela orientação preferencial de minerais ferromagnesianos. Em rochas relativamente mais deformadas, muitas delas ainda na presença de líquido residual (presença de simplectitos), pode-se notar forte orientação preferencial dos minerais (Figuras 3.25 E-F; 3.26 C). Há locais em que as rochas mostram feições indicativas de recristalização dinâmica e, em casos de mais intensa deformação, ocorrem protomilonitos e milonitos (Figura 3.24 D). Abaixo são apresentadas as principais características microscópicas destas rochas.

Os cristais de quartzo são finos a médios, anédricos a subédricos. Seus contatos são denteados, curvilíneos e lobados. Observa-se orientação preferencial fraca a moderada em alguns afloramentos. Nota-se extinção ondulante e presença de subgrãos e finos novos grãos, sempre de tamanho reduzido (Figuras 3.24 C-D; 3.25 E-F; 3.26 C). Os novos grãos de quartzo são anédricos a subédricos, têm contatos denteados e lobados e estão dispostos em níveis preferenciais.

Os cristais de plagioclásio são finos a médios, sendo que os subédricos predominam sobre os anédricos. Os contatos são retilíneos, curvilíneos e irregulares e sua orientação preferencial varia de incipiente a forte (Figuras 3.24 C-D). Zoneamento não oscilatório normal é comum no plagioclásio. Feições de deformação intracristalina podem ser ausentes, mas em protomilonitos e milonitos são representadas por curvamento de maclas, *kinks* e por mantos de novos grãos ao redor de porfiroclastos. Os novos grãos são muito finos, subédricos e têm contatos retilíneos a irregulares. O plagioclásio mostra-se mais fortemente saussuritizado no centro dos cristais.

Os cristais de microclínio são finos, médios a grossos, por vezes há fenocristais. São subédricos a anédricos e mostram orientação preferencial fraca a forte. Os contatos são retilíneos, irregulares ou curvilíneos. As feições deformacionais são extinção ondulante, mantos de novos grãos, microfraturas e pertitas em chama.

Os cristais de biotita são finos a médios, anédricos ou subédricos, têm cor castanha amarelada a marrom escura e seus contatos são retilíneos, curvilíneos e irregulares. Geralmente a biotita mostra boa orientação preferencial, podendo formar finos níveis descontínuos de aspecto levemente anastomosado. Observam-se localmente feições de corrosão representadas por simplectitos (finas agulhas de opacos sobre feldspato), os quais se desenvolvem nas faces paralelas à foliação que estão em contato com feldspatos. Porfiroclastos de biotita estão orientados ao longo da foliação e têm formas assimétricas (*fish*). *Kink* sobre a biotita pode ser visto em alguns milonitos e, em rochas com deformação mais forte, predominam novos grãos. Os novos grãos de biotita são muito finos, anédricos e estão dispostos em finos níveis preferenciais descontínuos, formando caudas de recristalização adjacentes aos porfiroclastos. É comum a associação de biotita com anfibólio e com minerais acessórios, a exemplo de opacos, titanita,



allanita, apatita e zircão. Estes minerais acessórios estão geralmente incluídos em biotita. A biotita está por vezes alterada para clorita.

Quando presente, anfibólio é fino a médio, subédrico a anédrico e tem cor verde clara amarelada a verde escura. Seus contatos são curvilíneos e em geral mostram orientação preferencial fraca à moderada, podendo formar níveis preferenciais que definem a foliação. Feições de deformação intracristalina são raras nos cristais de anfibólio.

A titanita é abundante e ocorre como cristais finos, subédricos a euédricos, orientados preferencialmente de acordo com a foliação. Raramente são observados cristais euédricos e suédricos de epidoto, parcialmente incluídos na biotita, e que provavelmente são primários. O zircão é muito fino, euédrico e ocorre como inclusões no interior da biotita e plagioclásio.

Os cristais de epidoto secundário e sericita são muito finos, anédricos e localizados no interior de plagioclásio saussuritizado.

## Geoquímica

Foram analisadas apenas 2 amostras de quartzo monzodioritos, 2 de granodioritos e 1 de monzogranito (Tabela 3.7). Os monzodioritos possuem teores de SiO<sub>2</sub> que variam de 56,75 a 57,85% e mostram concentrações muito próximas de elementos maiores e elementos-traço (Figuras 3.27 A-H). As concentrações de K<sub>2</sub>O se situam entre 3,65 e 3,67% e os valores de Na<sub>2</sub>O variam de 5,18 a 4,99%. A proporção modal de plagioclásio é refletida nos valores relativamente maiores de CaO (4,66 a 5,22%). Os teores elevados de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (7,62 a 9,37%) e MgO (2,54 a 2,57%) são compatíveis com proporção de minerais ferromagnesianos.

Os teores de Ba (2414 a 4156 ppm) e Sr (955 a 1302 ppm) são elevados e podem refletir em parte a presença de plagioclásio. Os valores de Ga (21 ppm), Nb (21 a 29 ppm) e Rb (102 a 106 ppm) são moderados (Figuras 3.28 A-F). Outros elementos incompatíveis ocorrem nestas rochas em quantidades baixas (Y = 27 a 37 ppm) a altas (Zr = 342 a 623 ppm). Estas rochas mostram teores baixos de ETR ( $\Sigma$ ETR = 764 ppm) e comportamentos marcados por moderado a forte fracionamento de ETR leves [(La/Sm)<sub>N</sub> = 48 a 65], e padrão dos ETR pesados pouco fracionado ou horizontalizado [(Gd/Lu)<sub>N</sub> = 4,5 a 4,7] (Figura 3.29 A).

Tabela 3.7 - Dados de elementos maiores (% em peso) e traço (ppm) de rochas granitóides da Suíte Intrusiva Arapari.

Elementos	Quartzo monzodioritos		Monzogranito	Granodiorito	Monzogranito
	FB 165	FB 72	FB 85	FB 156	FB 69
SiO <sub>2</sub>	56,75	57,85	66,65	71,98	72,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,63	15,79	15,13	14,77	14,33
TiO <sub>2</sub>	1,97	1,57	0,44	0,17	0,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,37	7,62	4,18	2,09	2,45
MgO	2,54	2,57	1,63	0,33	0,39
MnO	0,12	0,09	0,07	0,03	0,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,003	0,012	0,004	<0,002	<0,002
CaO	5,22	4,66	3,11	1,95	1,74
Na <sub>2</sub> O	3,02	4,11	3,54	4,29	4,09
K <sub>2</sub> O	3,67	3,65	4,39	3,52	3,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,28	0,86	0,19	0,04	0,06
PF	0,6	0,6	0,4	0,7	0,5
<b>Soma</b>	<b>99,17</b>	<b>99,38</b>	<b>99,72</b>	<b>99,87</b>	<b>99,9</b>
Ba	4156	2414	1282	937	505
Ga	20,9	21,0	17	18,4	18,7
Nb	21,3	29,3	8,3	6,4	12,2
Rb	106,3	101,6	192,6	123,9	199,8
Sr	1301,9	955,1	498,5	208,9	159,1
Ta	1,1	1,3	1	0,4	0,6
Th	17,0	11,8	39,7	7,6	29,9
U	1,9	2,3	9,2	0,9	4,6
Cs	1,3	2,1	5,9	1	2,9
Zr	341,9	623,2	176,4	115,9	163,9
Y	36,7	27,1	13,4	6,6	8,9
Be	2	3	2	<1	2
Sn	2	3	2	1	2
W	1,1	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Mo	1,8	0,8	0,6	0,2	0,5
Zn	111	113	43	43	49
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
As	1,0	0,9	1,2	<0,5	0,7
Au	1,5	<0,5	<0,5	1,1	<0,5
Bi	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Cd	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ni	8,0	23,7	5,5	1,9	2,5
Pb	22,6	8,5	14,5	5,3	9,5
Sb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tl	0,5	0,4	0,6	<0,1	0,4
Cu	21,1	36,8	15,2	2,5	4,6
Ni	<20	23,7	<20	<20	<20

Tabela 3.7 - Dados de elementos maiores (% em peso) e traço (ppm) de rochas granitóides da Suíte Intrusiva Arapari.

(continuação)

Elementos	Quartzo monzodioritos		Monzo-granito	Grano-diorito	Monzo-granito
	FB 165	FB 72	FB 85	FB 156	FB 69
Co	15,0	17,8	9,5	2,5	3,2
V	104	117	68	11	16
Hf	8,4	13,6	4,7	3,3	5,3
Sc	15	11	8	3	3
La	172,7	162,6	49,9	20,1	27,2
Ce	348,0	308,8	90,1	43,6	62
Pr	38,78	33,46	9,28	4,48	6,25
Nd	148,8	114,9	31,9	16,7	21,9
Sm	20,83	14,82	4,67	2,91	3,81
Eu	4,61	3,37	1,13	0,51	0,58
Gd	14,14	9,56	3,27	2,2	2,61
Tb	1,64	1,22	0,48	0,3	0,37
Dy	7,14	5,23	2,39	1,34	1,75
Ho	1,19	0,93	0,45	0,24	0,32
Er	2,98	2,25	1,29	0,63	0,79
Tm	0,43	0,28	0,19	0,09	0,11
Yb	2,65	1,79	1,27	0,55	0,75
Lu	0,37	0,26	0,2	0,09	0,12
$\Sigma$ ETR	764	659	197	94	129
(La/Sm) <sub>N</sub>	5,2	6,9	6,7	4,3	4,5
(Gd/Lu) <sub>N</sub>	4,7	4,5	2,0	3,0	2,7
(La/Lu) <sub>N</sub>	48,4	64,9	25,9	23,2	23,5

O granodiorito possui teores de SiO<sub>2</sub> (71,98%) e conteúdos de CaO (1,95%), Na<sub>2</sub>O (4,29%) e K<sub>2</sub>O (3,52%), que refletem a sutil quantidade maior do plagioclásio sobre a microclina. Os valores de MgO (0,33%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,09%) e TiO<sub>2</sub> (0,17%) são baixos (Figuras 3.27 A-G). O comportamento dos elementos-traço é marcado por teores moderados a elevados de Ba (937 ppm) e Sr (209 ppm) e concentrações moderadas a baixas de alguns elementos incompatíveis (Rb = 124 ppm; Ga = 18 ppm; Nb = 6 ppm; Y = 7 ppm; Zr = 116 ppm) (Figuras 3.28 A-F).

Os teores de ETR são moderados a baixos. O fracionamento de ETR leves é fraco [(La/Sm)<sub>N</sub> = 4,3], o mesmo ocorrendo para os ETR pesados [(Gd/Lu)<sub>N</sub> = 3,0]. As razões de (La/Lu)<sub>N</sub> são elevadas [(La/Lu)<sub>N</sub> = 23]. No lado dos ETR pesados, há sutil concavidade para cima. Nestas rochas há fraca a incipiente anomalia negativa de Eu (Figura 3.29 A).

No monzogranito com maior teor de SiO<sub>2</sub> há menores valores de MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e CaO (Figuras 3.27 A-H). Em geral há muitas semelhanças em termos de elementos maiores e traço com o granodiorito. É considerável a variação dos teores de Ba (1282 a 505 ppm) e Sr (499 a 159 ppm). São moderados os valores de Rb (193 a 200 ppm) e Zr (176 a 164 ppm). As concentrações dos elementos incom-

patíveis são em geral baixas (Ga = 17 a 19 ppm; Nb = 8 a 12 ppm; Y = 13 a 9 ppm) (Figuras 3.28 A-F).

Os ETR (Figura 3.29 A) ocorrem em quantidades relativamente baixas ( $\Sigma$ ETR = 129 a 197 ppm) e seus padrões são similares aos dos tonalitos e do granodiorito, ou seja, nota-se moderado fracionamento de ETR leves [(La/Sm)<sub>N</sub> = 4,5 a 6,7], concentrações muito baixas de ETR pesados, com arranjo quase horizontalizado [(Gd/Lu)<sub>N</sub> = 2 a 2,7] e anomalia negativa de Eu incipiente a fraca.

A presença de rochas quartzo monzodioríticas, tonalíticas, granodioríticas e monzograníticas na Suíte Intrusiva Arapari sugere uma tendência para uma associação cálcio-alcálica de médio potássio, quando comparados com os grupos definidos por Lameyre e Bowden (1984). No diagrama de Le Maitre et al. (2004) estas rochas ocupam os campos das associações cálcio-alcálicas de alto potássio (Figura 3.29 B). Nos diagramas de Frost et al. (2001), estas rochas se comparam ao tipos magnesianos (Figura 3.29 C), cálcio-alcálicos a álcali-cálcicos (Figura 3.29 D) semelhantes aos granitos cordilheiranos. Estas rochas possuem características metaluminosas a fracamente peraluminosas (Figura 3.30 A). No diagrama K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O-CaO (cf. Arth e Barker, 1976), as rochas da Suíte Intrusiva Arapari se alinham ao longo da tendência cálcio-alcálica (Figura 3.30 B). Nos diagramas discriminatórios de Pearce et al. (1984), estas rochas mos-

tram afinidades com as associações de arcos magmáticos (Figuras 3.30 C-D). As características dos ETR destas rochas também guardam semelhanças com às séries magmáticas cálcio-alcálicas presentes em arcos magmáticos.

As características geoquímicas das rochas da Suíte Intrusiva Arapari sugerem origem de magmas em ambiente de margem continental ativa. As possíveis rochas-fonte poderiam ter contribuição mantélica, o que sugere valor positivo de  $\epsilon$ Nd obtido em um monzogranito (FB-69). Porém, como discute Wilson (1989), arcos magmáticos continentais constituem um dos ambientes mais complexos em termos de geração de magmas, dadas as fontes variadas (manto, crosta oceânica, crosta continental) e a diversidade de processos (assimilação, mistura de magmas e cristalização fracionada).

## Geocronologia

Granitoides desta unidade datados por Pb-Pb e U-Pb em zircão (Vasquez e Rosa Costa, 2008 e suas referências) apresentam idades de 2086 a 2069 Ma para as rochas da Suíte Intrusiva Arapari, com idades-modelo T<sub>DM</sub> variando de 2,47 Ga a 2,46 Ga, e

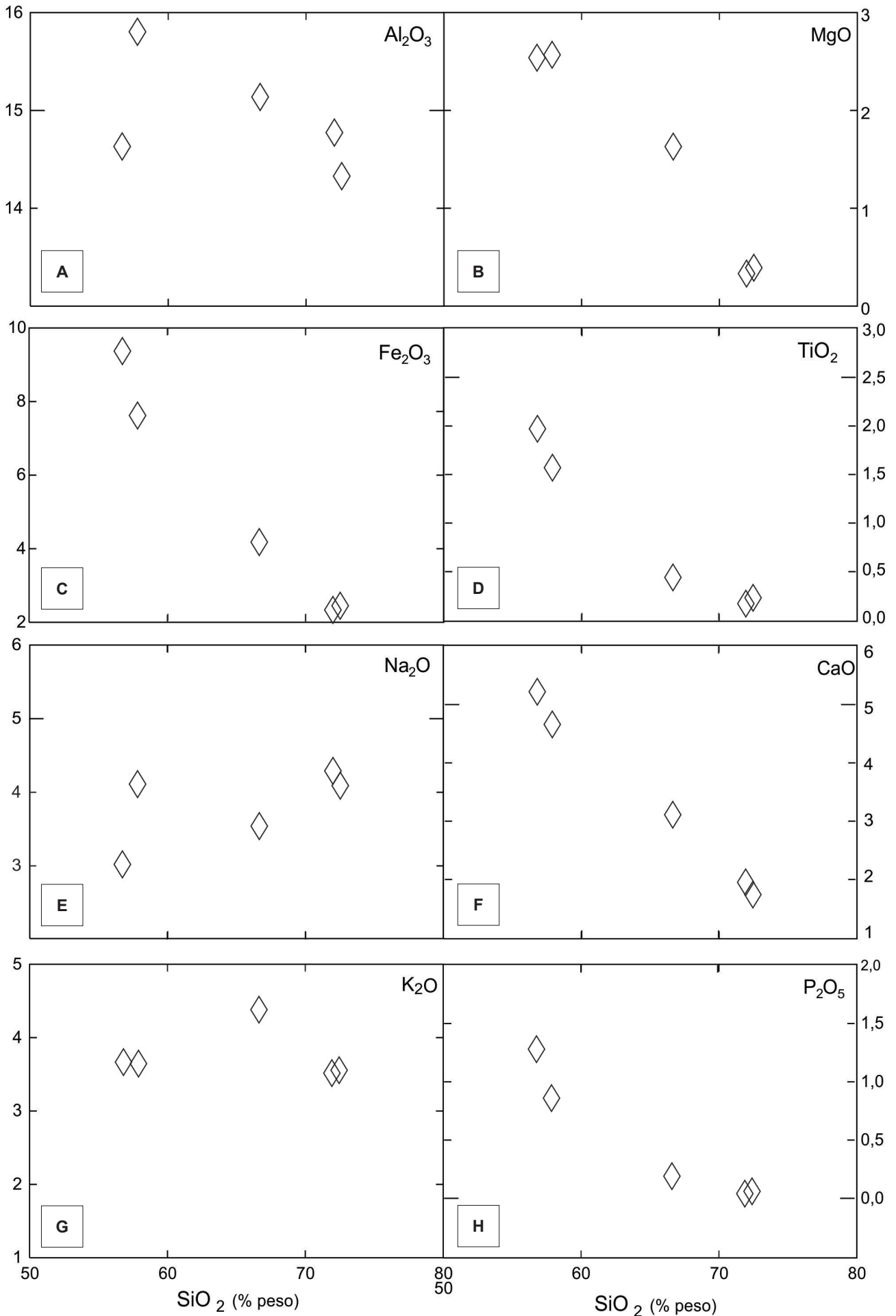


Figura 3.27 - A-G) Diagramas de Harker com dados de elementos maiores de granitoides da Suíte Intrusiva Arapari.

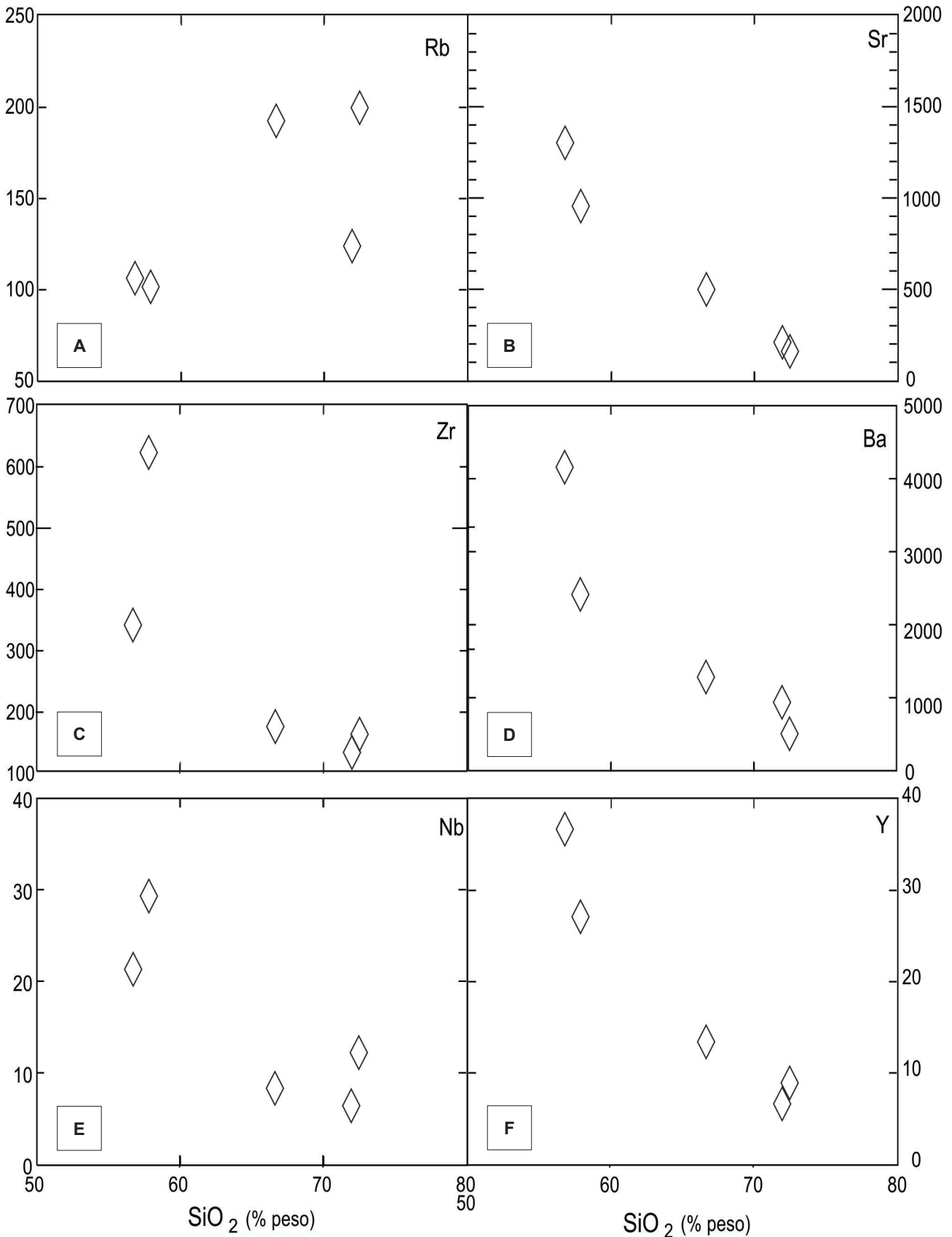


Figura 3.28 - A-F) Diagramas de Harker com dados de elementos-traço de granitoides da Suíte Intrusiva Arapari.

respectivos valores de  $\epsilon\text{Nd}$  negativos (-3,12 a -2,40). Charnockitos desta suíte têm idades-modelo  $T_{\text{DM}}$  de 2,46 a 2,47 Ga e valores de  $\epsilon\text{Nd}$  de -2,40 a -3,12 (Vasquez, 2006).

Neste projeto foi datado um quartzo monzodiorito (FB-165) que se localiza no norte da Folha Rio Bacajá (UTM 468396/9609616). Somente um

cristal forneceu razões isotópicas que permitiram calcular uma idade de  $2072 \pm 4$  Ma (Tabela 3.8). Embora esta seja semelhante às idades anteriores obtidas nesta unidade, deve ser considerada apenas como preliminar. A análise desta mesma amostra pelo método Sm-Nd (Tabela 3.9) forneceu a idade-modelo  $T_{\text{DM}}$  de 2,10 Ga e um valor de  $\epsilon\text{Nd}$  de +3,04,



que sugere a presença de componentes primitivos na geração deste magma. A análise Sm-Nd do monzogranito da estação FB 69, localizada no leste da área (UTM 494925/9586196), forneceu idade  $T_{DM}$  de 2,17 Ga (Tabela 3.9), e valor de  $\epsilon Nd$  de +2,11, sugerindo também a participação de fontes de natureza primitiva.

A presença de rochas com valores de  $\epsilon Nd$  positivos e negativos são coerentes com o ambiente de margem continental ativa, onde componentes crustais e mantélicos são envolvidos na formação dos magmas.

### 3.6 SUÍTE INTRUSIVA JOÃO JORGE (PP2 $\gamma$ jj)

#### Dados históricos, distribuição, relações de contato e assinatura geofísica

A Suíte Intrusiva João Jorge foi denominada inicialmente como Granito João Jorge por João, Vale e Lobato (1987) para abrigar granitos sin-cinemáticos, orientados na direção NW. Nos mapas geológicos regionais de Vasquez et al. (2008) e de Faraco et al. (2005) a Suíte Intrusiva João Jorge forma batólitos alongados na direção NW, que se localizam, sobre-

tudo, a norte e a sul da Serra das Três Palmeiras e se estendem para oeste até alcançar o Rio Xingu.

Vasquez e Rosa-Costa (2008) consideram esta unidade, juntamente à Suíte Intrusiva Arapari, como pertencente à unidade tectônica Suítes Plutônicas Tardi a Pós-Colisionais, do Domínio Bacajá. Estes autores admitem idades em torno de 2,07-2,08 Ga para a Suíte Intrusiva João Jorge.

Na Folha Rio Bacajá a Suíte Intrusiva João Jorge ocorre sob a forma de corpos alongados na direção NW e subordinadamente WNW. São distinguidos dois grupos faciológicos de granitoides: um formado por monzogranitos e sienogranitos (PP2 $\gamma$ jjg), que compreende 10% da Folha, e o outro grupo constituído por sienitos e monzonitos (PP2 $\gamma$ jjs), que perfazem 4%.

No nordeste da área há corpos relativamente menores, sendo que um deles, pertencente ao grupo PP2 $\gamma$ jjg, faz contato com ortognaisses do Complexo Aruanã e anfibolitos do Complexo Bacajá. Estes contatos podem ser tectônicos ou aproximados, neste último caso, são provavelmente intrusivos. Os corpos do grupo PP2 $\gamma$ jjs têm contatos aproximados de natureza intrusiva com anfibolitos da Formação Itatá, que é denotado pela presença de hornfels anfibolíticos. Por vezes,

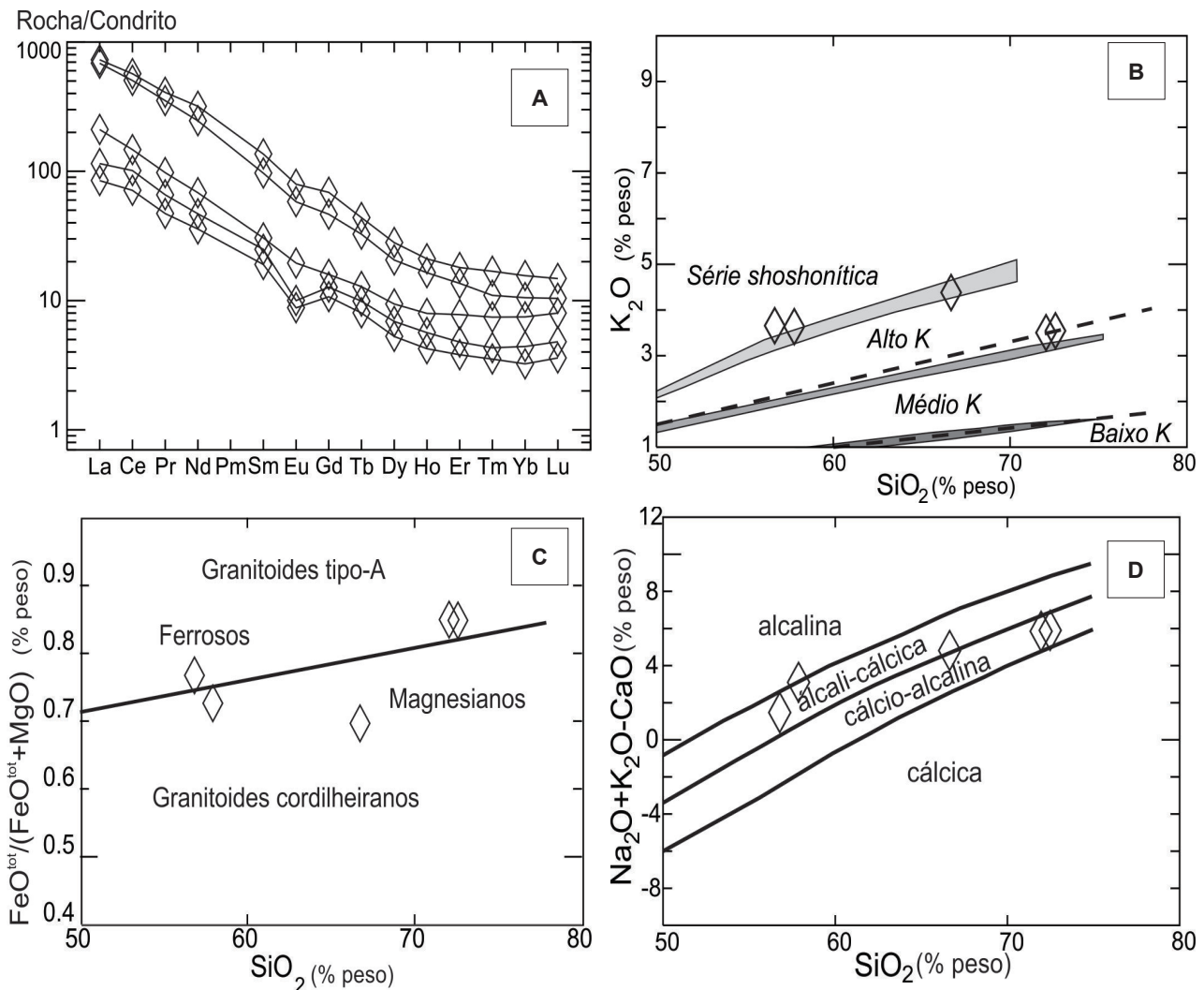


Figura 3.29 - Diagramas com dados de granitoides da Suíte Intrusiva Arapari. A) Padrão de elementos terras raras; B) Diagrama  $SiO_2$  vs.  $K_2O$  (cf. Le Maitre et al., 2004); C-D) Diagramas de classificação de Frost et al. (2001).

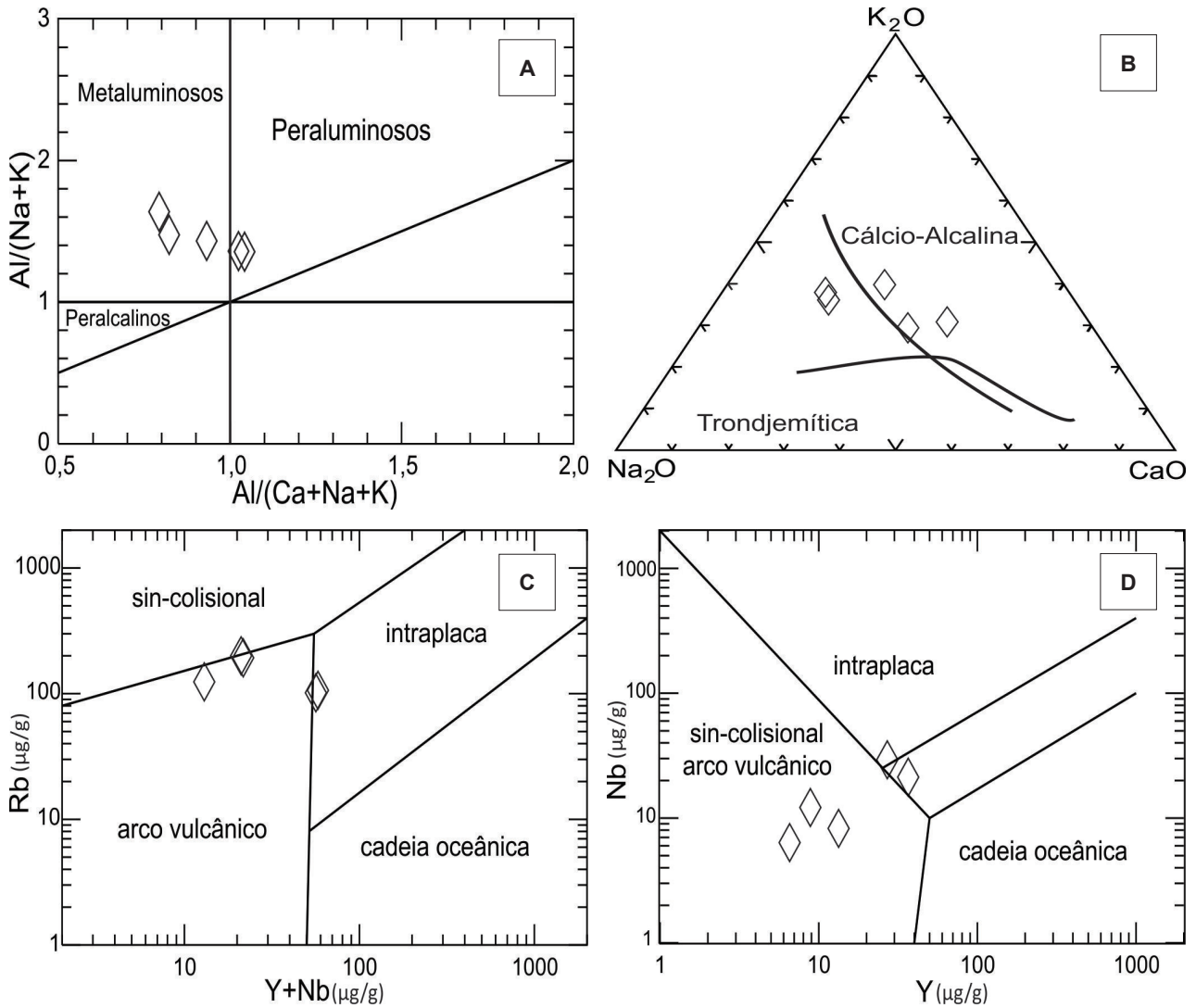


Figura 3.30 - Diagramas com dados de amostras de granitoides da Suíte Intrusiva Arapari. A) Diagrama de índice de aluminosidade (cf. Shand, 1969); B) Diagrama K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O-CaO (cf. Arth e Barker, 1976); C) Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos, de Pearce et al. (1984).

Tabela 3.8 - Dados de análises Pb-Pb (evaporação de zircão) de quartzo monzodiorito (FB-165) da Suíte Intrusiva Arapari.

Zircão	Temp.	Razões	<sup>204</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	( <sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb) <sub>c</sub>	2σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb
A165/6	1450	6	6757	0,33516	0,00580	0,12954
	1500	34	7143	0,31865	0,00110	0,13002
	1550	20	2632	0,32901	0,00197	0,13277

2σ	( <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb) <sub>c</sub>	2σ	Idade (etapa)	2σ	Idade (grão)	2σ
0,00018	0,12759	0,00229	2065	32		
0,00019	0,12815	0,00030	2073	4		
0,00017	0,12784	0,00058	2069	8	<b>2072</b>	<b>4</b>

Tabela 3.9 - Dados de análise Sm-Nd rocha total de monzogranito (FB-69) e de quartzo monzodiorito (FB-165) da Suíte Intrusiva Arapari, (t\* = 2,07 Ga).

Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	Sm/Nd	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	Erro (%)	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	Erro (%)	ENd (0)	T <sub>DM</sub> (Ga)	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd (t*)	ENd (t*)
FB-69	3,78	22,29	0,170	0,1026	0,01	0,511463	0,0007	-22,9	2,17	0,510112	<b>2,11</b>
FB-165	19,48	183,56	0,106	0,0642	0,01	0,510987	0,0005	-32,2	2,10	0,510142	<b>3,04</b>



o contato entre sienitos e monzonitos com os anfíbolitos é controlado por zonas de cisalhamento transcorrentes.

A assinatura geofísica da Suíte Intrusiva João Jorge é marcada por baixos magnetométricos e altos gamaespectrométricos na imagem de contagem total, o que é coerente com a tendência potássica

destas rochas. As imagens de amplitude do sinal analítico em domínios da Suíte Intrusiva João Jorge mostram lineamentos com direções NW, EW e NE, que são atribuídas a zonas de cisalhamento. Uma marcante zona de cisalhamento de direção ENE-WNW foi denominada de zona de cisalhamento Bom Jardim.

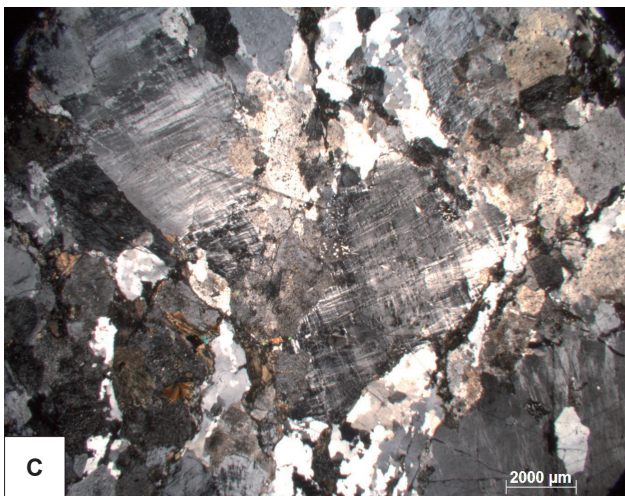
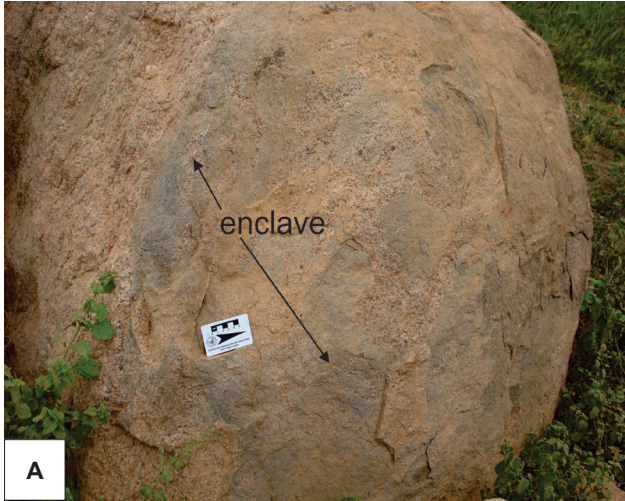


Figura 3.31 - Sienogranitos da Suíte Intrusiva João Jorge (Estação FB-94, UTM 490447/9605772). A) Sienogranito porfirítico com enclave microgranular máfico; B) Textura porfirítica e foliação moderada; C) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) mostrando textura granular orientada e novos grãos em quartzo (pl: plagioclásio; qz: quartzo).

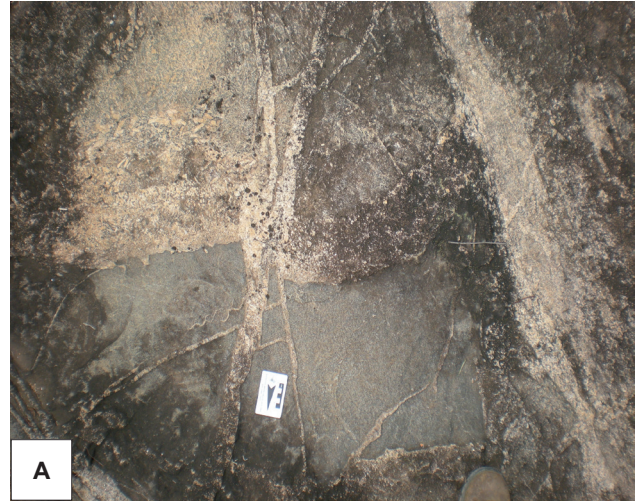


Figura 3.32 - A-C) Relação complexa entre sienogranitos da Suíte Intrusiva João Jorge e enclaves microgranulares máficos, pegmatitos e aplitos (Estação FB 94, UTM 490447/9605772). Na parte esquerda de 3.32 C nota-se acamamento magmático formado pela assimilação do enclave pelo magma granítico.



### 3.6.1 Monzogranitos e sienogranitos (PP2yjg)

#### Aspectos de campo e características petrográficas

Os monzogranitos e sienogranitos são os tipos predominantes neste grupo, onde também ocorrem granodioritos. Estas rochas têm cor cinza clara rosada a amarelada, índice de cor de 5 a 10%, granulação fina, média e inequigranular porfirítica (Figuras 3.31 A-B). Por vezes apresentam acamamentos ígneos ou foliação definida pela fraca orientação preferencial de minerais. Quando presente, a deformação é fraca. Entre os minerais ferromagnesianos a biotita predomina. Os minerais acessórios são allanita, zircão, apatita e opacos.

No nordeste da Folha Rio Bacajá há sienogranitos porfiríticos que se caracterizam pela presença de enclaves microgranulares máficos e xenólitos, estes últimos provavelmente pertencentes ao Complexo Bacajaí. Ambos os tipos de enclaves se mostram digeridos em graus variáveis pelos granitos. Quando a assimilação dos enclaves microgranulares máficos é avançada, podem se formar acamamentos composicionais rítmicos de natureza magmática (Figuras 3.32 A-C). Nos afloramentos acima mencionados, os granitos porfiríticos são cortados por vários veios aplíticos e pegmatíticos, os quais possuem diferentes orientações e relações de contato que sugerem a colocação de veios em momentos diferentes da evolução destes magmas (Figuras 3.32 A-C). Nestes granitoides porfiríticos é notável a presença de foliação de fluxo magmático, marcada pela orientação preferencial de fenocristais de microclínio (Figura 3.31 B).

Na escala microscópica, os cristais de quartzo são geralmente finos e anédricos. Os contatos são curvilíneos e há orientação preferencial. Observa-se extinção ondulante, subgrãos e novos grãos (Figura 3.31 C). Os novos grãos de quartzo podem ocorrer na forma de arranjos interlobados equigranulares dispostos em faixas contínuas. Os contatos são denteados e lobados. Os cristais apresentam orientação preferencial. Em alguns sienogranitos mais fortemente deformados predominam novos grãos em comparação com os cristais primários.

Os cristais de microclínio são médios, porém cristais grossos ou muito grossos ocorrem em rochas porfiríticas. O microclínio é subédrico a euédrico, possui pertitas, seus contatos são retilíneos a curvilíneos. A orientação preferencial varia de incipiente a forte. Feições de deformação são raras e se limitam a fraturas e extinção ondulante.

O plagioclásio é geralmente fino a médio, subédrico a anédrico (Figura 3.31 C). Os contatos são curvilíneos a irregulares e sua orientação preferencial é fraca ou inexistente. A saussuritização é moderada em cristais de plagioclásio.

Os cristais de biotita são finos e anédricos a subédricos (Figura 3.31 C), seus contatos são retilíneos e irregulares e há orientação preferencial fraca e moderada. Observam-se cristais muito finos e euédricos de zircão inclusos na biotita.

Os cristais de allanita são finos e subédricos, mostram fraca orientação preferencial e geralmente se associam à biotita. Os cristais de magnetita são finos, euédricos, estão associados à biotita e mostram fraca orientação preferencial.

O arranjo dos minerais define uma textura granular orientada para as rochas da Suíte Intrusiva Granítica João Jorge. A orientação preferencial fraca a moderada de fenocristais de microclínio, de agregados de novos grãos de quartzo, de minerais máficos e de acessórios define uma foliação milimétrica a centimétrica que pode ter aspecto retilíneo ou ondulado.

#### Geoquímica

Dentre as rochas do grupo PP2yjg da Suíte Intrusiva João Jorge, foram analisados monzogranitos e sienogranitos e uma amostra de quartzo diorito (Tabela 3.10). Estas rochas possuem teores variáveis de  $\text{SiO}_2$  (57,34 a 74,91%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,98 a 16,89%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1,80 a 7,24%),  $\text{MgO}$  (0,21 a 2,77%) e  $\text{CaO}$  (0,98 a 4,74%). Nota-se uma tendência forte à correlação negativa entre sílica e os óxidos mencionados acima. Os teores de  $\text{K}_2\text{O}$  (3,24 a 5,52%) são moderados a altos e não mostram variações regulares (Figuras 3.33 A-H).

Em termos de elementos-traço (Figuras 3.34 A-F), estas rochas mostram valores geralmente baixos de alguns elementos incompatíveis ( $\text{Rb} = 122$  a  $361$  ppm;  $\text{Ce} = 35$  a  $218$ ,  $\text{Nb} = 5$  a  $17$  ppm). Os valores de  $\text{Ba}$  ( $322$  a  $4315$  ppm) e  $\text{Sr}$  ( $66$  a  $920$  ppm) são bastante variados e tendem a ocorrer em maiores quantidades nas rochas com menos sílica, o que deve traduzir a maior proporção de feldspatos nestas rochas. Nos diagramas de Harker nota-se tendência para correlação negativa entre os valores de sílica e os terrores de  $\text{Sr}$ ,  $\text{Nb}$  e  $\text{Zr}$  (Figuras 3.34 B, C, F).

Os ETR ocorrem em quantidades moderadas no caso dos ETR leves, e pequenas no caso dos ETR pesados. Em geral o padrão de ETR leves  $[(\text{La}/\text{Sm})_N = 4,5$  a  $8,7]$  e pesados  $[(\text{Gd}/\text{Lu})_N = 14,0$  a  $44,5]$  destas rochas é moderadamente a fortemente fracionado, o que se traduz pelas altas razões  $(\text{La}/\text{Lu})_N$ , as quais se situam entre 219 e 728 (Figura 3.35 A). Algumas amostras têm padrões de ETR pesados caracterizados por concavidade votada para cima. Segundo Arth e Bark (1976), isto poderia ser um indicador da participação de anfibólio durante o fracionamento do magma. Em algumas amostras nota-se moderada anomalia negativa de  $\text{Eu}$ , o que sugere fracionamento de plagioclásio.

Os monzogranitos e sienogranitos do grupo PP2yjg são cálcio-alcalinos de alto potássio a shoshoníticos, segundo a classificação de Le Maitre et al. (2004) (Figura 3.25 C). Quando lançados nos

Tabela 3.10 - Dados de elementos maiores (% em peso) e traço (ppm) de rochas granitoides da Suíte Intrusiva João Jorge.

Elementos	PP2γjig										PP2γjjs		
	Quartzo-diorito FB 131	Sieno-granito FB 94	Monzo-granito FB 13	Monzo-granito FB 10	Monzo-granito FB 19	Monzo-granito FB 147	Sieno-granito FB 30	Monzo-granito FB 160a	Sieno-granito FB 53	Monzo-granito FB 2	Fk Sienito FB 20	Fk Sienito FB 39	Monzonito FB 48
SiO <sub>2</sub>	57,34	64,81	65,08	65,12	69,76	72,63	73,02	73,32	74,71	74,91	61,41	60,11	63,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,89	15,68	15,33	15,45	14,84	14,27	13,72	13,53	13,02	12,98	15,84	16,61	16,66
TiO <sub>2</sub>	1,31	0,69	1,08	0,53	0,35	0,16	0,23	0,22	0,16	0,17	0,66	0,84	0,73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,24	4,17	4,68	4,48	2,33	2,05	2,14	1,94	1,8	1,87	5,4	4,54	4,32
MgO	2,77	1,35	1,13	1,57	0,52	0,36	0,33	0,21	0,3	0,27	1,14	1,44	1,25
MnO	0,09	0,05	0,04	0,07	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,06	0,05	0,04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,009	0,006	0,003	0,003	0,002	<0,002	0,003	<0,002	0,002	<0,002	0,003	0,008	0,003
CaO	4,74	2,71	2,78	3,11	1,68	1,87	0,98	1,21	1,21	1,29	1,98	1,91	2,03
Na <sub>2</sub> O	4,02	3,61	3,59	3,93	4,1	4,11	3,03	3,34	2,64	3,2	3,64	2,97	3,71
K <sub>2</sub> O	3,84	5,43	4,77	4,1	4,91	3,24	5,79	5,25	5,52	4,88	7,43	9,71	5,97
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,60	0,31	0,30	0,25	0,13	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,22	0,24	0,27
PF	0,6	0,8	0,7	1,1	0,7	1,1	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6	0,4	0,8
<b>Soma</b>	<b>99,46</b>	<b>99,6</b>	<b>99,49</b>	<b>99,69</b>	<b>99,34</b>	<b>99,87</b>	<b>99,83</b>	<b>99,81</b>	<b>99,82</b>	<b>99,93</b>	<b>98,39</b>	<b>98,81</b>	<b>98,96</b>
Ba	2187	2172	2308	65,12	4315	851	641	986	1317	322	10485	5895	6319
Ga	22,0	18,4	21,8	1287	17,5	19,1	17	19,3	13,1	15,2	18,6	15,3	19
Nb	17,1	8,9	23,7	19,6	10,6	6,4	14,7	16,9	4,6	7,5	17,8	22	19
Rb	121,6	122,4	172,4	11,5	133,7	132,4	360,7	235,1	200,5	227,2	256,5	272,6	171,6
Sr	858,3	608,2	514,7	211,6	919,6	198,4	134	147,6	143,5	65,7	2317	2244	1331
Ta	0,8	0,4	1,8	568,9	0,7	0,6	1,1	1,2	0,4	0,5	1,1	2	1,4
Th	10,4	8,5	24,7	1,3	29,2	7,9	90	77,3	40,6	47	34,9	29,4	16,7
U	1,7	1,3	1,5	44,1	2,3	1,1	12,7	10,3	7,9	10,1	19,9	4,2	3,7
Cs	0,6	0,3	1,0	3,2	0,8	4,1	1,2	1,1	2,7	1,1	3,7	3,6	3,1
Zr	536,3	314,3	716,3	1,9	261,4	112,1	209	221,5	130,5	127	574,6	1130	717
Y	20,4	18	26,1	233,4	13,7	4,4	23,5	19,9	8	16	31,8	41,2	35,7
Be	1	1	1	17,5	2	1	3	4	<1	1	7	2	3

Tabela 3.10 - Dados de elementos maiores (% em peso) e traço (ppm) de rochas granitoides da Suíte Intrusiva João Jorge.

Elementos	PP2γjig										PP2γjjs		
	Quartzo-diorito FB 131	Sieno-granito FB 94	Monzo-granito FB 13	Monzo-granito FB 10	Monzo-granito FB 19	Monzo-granito FB 147	Sieno-granito FB 30	Monzo-granito FB 160a	Sieno-granito FB 53	Monzo-granito FB 2	Fk Sienito FB 20	Fk Sienito FB 39	Monzonito FB 48
Sn	3	2	4	2	2	2	4	2	<1	2	4	6	4
W	<0,5	<0,5	<0,5	3	<0,5	0,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,8	0,5	0,8
Mo	0,3	0,3	0,7	<0,5	0,6	0,4	0,4	4,1	0,4	0,4	0,9	0,5	0,7
Zn	85	55	90	0,8	26	36	41	33	20	28	14	12	50
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	58	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
As	0,8	0,7	<0,5	<0,1	1,8	0,6	<0,5	1	0,7	<0,5	0,8	2,8	1,3
Au	3,5	<0,5	<0,5	0,6	3,9	1,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ni	23	12,3	5,3	<0,01	7,4	2,4	1,9	1,9	2,4	2	4,4	12	10,2
Pb	4,1	12,7	7,9	5,9	23,2	3,9	25,1	39,1	14	13,9	37,2	38	16,6
Sb	<0,1	<0,1	<0,1	14,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tl	0,4	<0,1	0,5	<0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	<0,1	0,1	0,4
Cu	29,4	11	18,6	0,7	4,4	5,2	1,5	7,2	4,8	3,1	13,5	16,8	4,7
Ni	24,4	<20	<20	12,4	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	24	<20
Co	17,4	8,5	8,6	<20	3,1	2,8	2,2	1,4	3	2,5	6,1	6,8	7,1
V	122	55	61	10,1	24	13	17	10	13	16	90	97	64
Hf	12,2	7,5	17,3	70	6,4	3,5	6,5	7,4	4	4	14	27,1	17,6
Sc	12	7	5	6,2	2	2	4	4	1	3	8	7	3
La	80,3	62,9	149,0	8	105,3	23,6	109,4	95,5	29,5	41,8	98,8	86,5	95,5
Ce	165,7	132,9	300,6	78,8	185,1	35,4	217,8	178,9	60	82,4	209,2	275,5	218,7
Pr	18,54	14,75	31,88	138,4	18,01	4,41	22,55	17,23	5,49	8,24	23,73	39,86	27,33
Nd	73,0	55,8	114,5	14,41	57,7	16	74	54,6	16,6	27,5	89,2	172,3	103,5
Sm	10,90	8,72	14,71	49,5	7,63	2,27	10,68	7,4	2,14	4,34	13,49	30,07	16,56

(continuação)



Tabela 3.10 - Dados de elementos maiores (% em peso) e traço (ppm) de rochas granitoides da Suíte Intrusiva João Jorge.

(continuação)

Elementos	PP2γjig										PP2γjjs		
	Quartzodiorito FB 131	Sieno-granito FB 94	Monzo-granito FB 13	Monzo-granito FB 10	Monzo-granito FB 19	Monzo-granito FB 147	Sieno-granito FB 30	Monzo-granito FB 160a	Sieno-granito FB 53	Monzo-granito FB 2	Fk Sienito FB 20	Fk Sienito FB 39	Monzonito FB 48
Eu	2,55	1,91	2,24	7,08	1,6	0,57	0,83	0,95	0,53	0,39	3,55	7,58	4,11
Gd	7,30	5,99	8,95	1,42	4,52	1,57	6,79	5,14	1,58	3,38	9,23	18,69	11,49
Tb	0,88	0,78	1,15	4,97	0,6	0,18	0,98	0,65	0,25	0,53	1,12	2,38	1,51
Dy	3,94	3,5	5,13	0,65	2,68	0,8	4,32	3,26	1,37	2,88	5,07	9,86	7,1
Ho	0,67	0,61	0,91	3,16	0,47	0,13	0,8	0,59	0,29	0,56	0,89	1,53	1,22
Er	1,75	1,6	2,22	0,58	1,23	0,33	2,16	1,65	0,83	1,55	2,2	3,55	3,13
Tm	0,25	0,22	0,31	1,43	0,17	0,05	0,31	0,28	0,13	0,22	0,3	0,47	0,42
Yb	1,56	1,33	1,81	0,2	1,05	0,32	2,07	1,79	0,83	1,33	1,91	2,6	2,58
Lu	0,24	0,19	0,25	1,34	0,15	0,05	0,34	0,29	0,14	0,19	0,28	0,35	0,37
ΣETR	368	291	634	310	386	86	453	368	120	175	459	651	494
(La/Sm)N	4,6	4,5	6,4	0,1	8,7	6,5	6,4	8,1	8,7	6,1	4,6	1,8	3,6
(La/Lu)N	347	344	619	6,2	729	490	334	342	219	228	366	257	268
(Gd/Lu)N	37,8	39,2	44,5	1,32	37,5	39,0	24,8	22,0	14,0	22,1	41,0	66,4	38,6

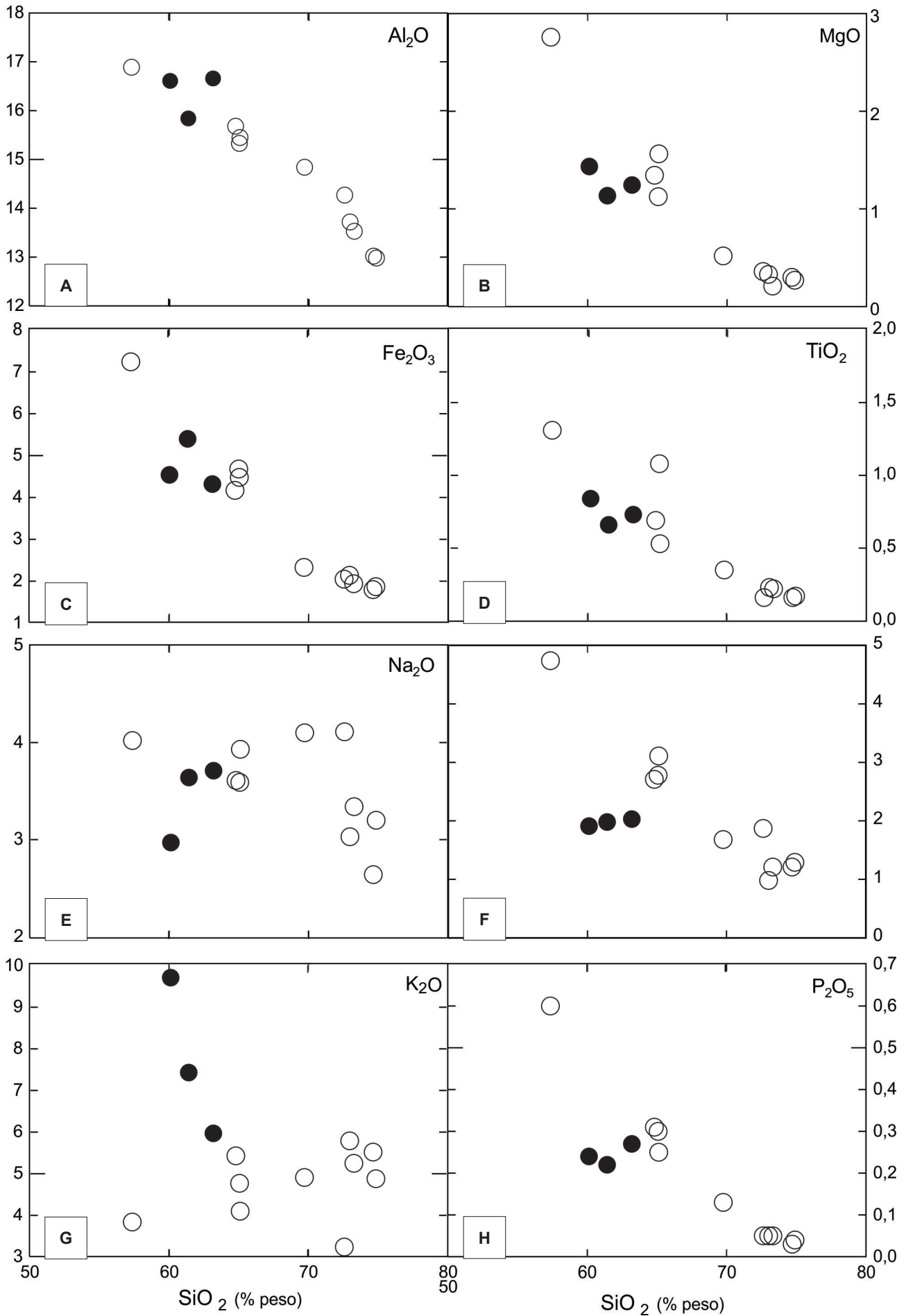


Figura 3.33 - A-H) Diagramas de Harker com dados de elementos maiores de granitoides da Suíte Intrusiva João Jorge. Círculo branco: quartzodioritos, monzogranitos e sienogranitos (PP2yjjg), Círculo preto: sienitos e monzonitos (PPyjjj).

diagramas de Frost et al. (2001), estas rochas mostram características transicionais entre os grupos magnesianos e ferrosos (Figura 3.35 D), e cálcio-alcálicos a álcali-cálcicos (Figura 3.35 E) e a maioria tem afinidade metaluminosa (Figura 3.26 A). No diagrama de Arth e Barker (1976) estas rochas mostram comportamento cálcio-alcálico (Figura 3.36 B). Nos diagramas de Pearce, Harris e Tindle (1984) estas amostras ocupam os campos de granitos de arco magmático, podendo mostrar caráter transicional entre ambientes de arco magmático e de colisão continental (Figuras 3.36 C-D). Os padrões de ETR guardam semelhanças com aqueles de granitoides cálcio-alcálicos de arcos magmáticos.

### 3.6.2 Sienitos e monzonitos (PP2yjsj)

#### Aspectos de campo e características petrográficas

Sienitos e monzonitos afloram na parte central da Folha Rio Bacajá cortando, sobretudo, rochas metabásicas da Formação Itatá. No centro e leste deste corpo há porções de rochas metabásicas que são interpretadas como septos da Formação Itatá. Porções menores de rochas metabásicas são cartografadas em meio à Suíte Intrusiva João Jorge e são interpretadas como prováveis restos de teto pendentes.

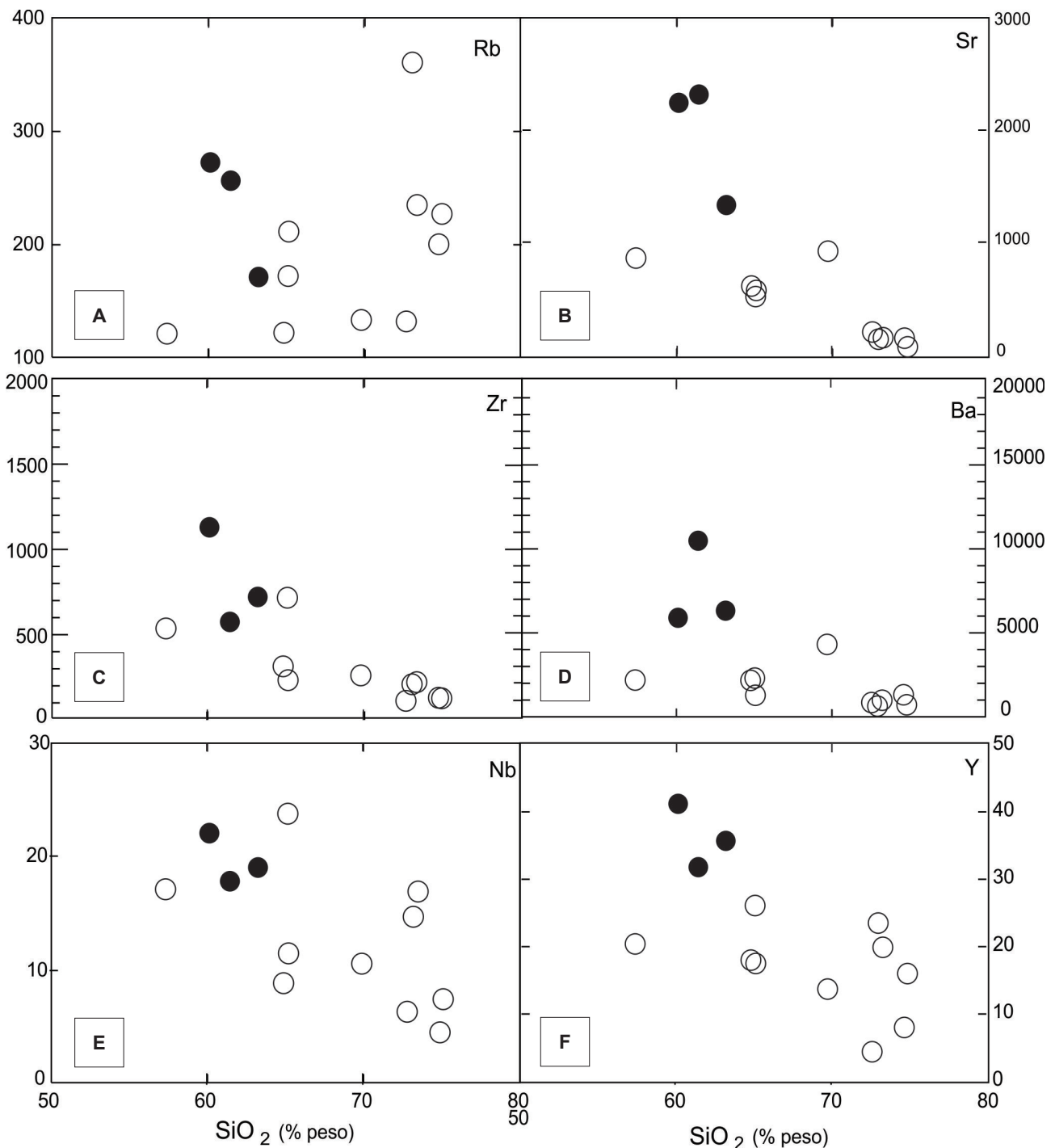


Figura 3.34 - A-F) Diagramas de Harker com dados de elementos-traço de granitoides da Suíte Intrusiva João Jorge. Círculo branco: quartzo dioritos, monzogranitos e sienogranitos (PP2yjjg), Círculo preto: sienitos e monzonitos (PPyjsj).



Os sienitos e monzonitos têm cor branca acinzentada ou rosada e granulação média a grossa ou muito grossa. Estas rochas possuem foliação magmática incipiente a fraca (Figuras 3.37 A-D) ou estrutura isotrópica. Observam-se comumente enclaves máficos centimétricos a decimétricos de cor cinza escuro e forma elíptica (Figura 3.37 A) ou alongada, refletindo fluxo interno da câmara com incipiente deformação. Veios aplíticos maciços e com orientação preferencial incipiente são observados. Estas rochas são constituídas por microclínio (60% em monzonitos até 90% em álcali-feldspato sienitos), plagioclásio (5-50%), biotita (<8%), anfibólio (<8%), quartzo (<5%), titanita (<5%), piroxênio (1%) e minerais opacos (1%).

Os cristais de microclínio são médios, euédricos a subédricos, possuem numerosas perlitas (Figuras 3.37 C-D) e mostram contatos retilíneos ou irregulares

com os outros minerais. O quartzo é fino e intersticial, seus contatos são curvilíneos e a extinção ondulante é uma feição comum. O anfibólio é verde claro a verde escuro, euédrico a subédrico e de granulação média. Titanita é observada em quantidades acessórias e seus cristais são finos a muito finos e geralmente euédricos.

Os sienitos e monzonitos da Suíte Intrusiva João Jorge possuem textura granular e granular orientada (Figuras 3.37 C-D) e as feições de deformação são muito incipientes ou ausentes.

**Geoquímica**

Das rochas pertencentes ao grupo PP2γjjs foram analisadas duas amostras de sienito e uma de monzonito. Estas rochas possuem baixos valores de

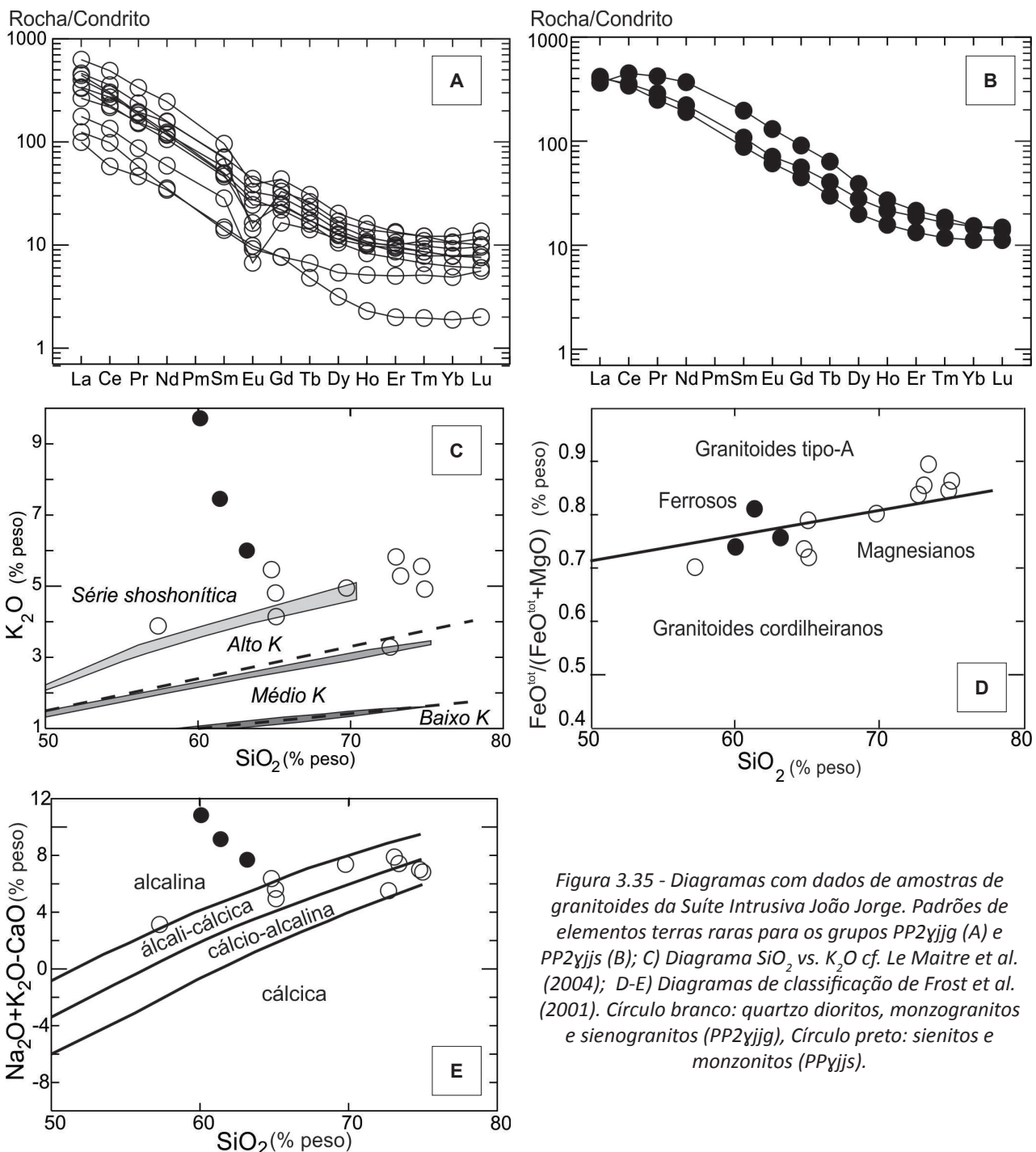


Figura 3.35 - Diagramas com dados de amostras de granitoides da Suíte Intrusiva João Jorge. Padrões de elementos terras raras para os grupos PP2γjyg (A) e PP2γjjs (B); C) Diagrama SiO<sub>2</sub> vs. K<sub>2</sub>O cf. Le Maitre et al. (2004); D-E) Diagramas de classificação de Frost et al. (2001). Círculo branco: quartzo dioritos, monzogranitos e sienogranitos (PP2γjyg), Círculo preto: sienitos e monzonitos (PPγjjs).

SiO<sub>2</sub>, teores relativamente elevados de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MgO (Tabela 3.10). Nos diagramas de Harker pode-se notar que a sílica mostra correlação negativa com Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO e CaO (Figuras 3.34 A-D). Um comportamento difuso é apresentado por K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O nos diagramas de Harker (Figuras 3.34 F-G).

A disposição nos diagramas de Harker das amostras da Suíte Intrusiva João Jorge não é clara quanto ao caráter comagmático dos dois grupos (PP2yjgg e PP2yjs). Se por um lado o comportamento do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e MgO sugere um alinhamento, por outro lado, os dados de CaO, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O sugerem que os dois grupos correspondam a magmas independentes.

Em termos de elementos-traço (Figuras 3.34 A-F), estas rochas contêm concentrações elevadas de Ba, Sr e Zr. No caso do Ba e Sr, seus valores elevados se explicam pela riqueza em feldspato destas rochas. Os teores de Rb e Y são baixos a moderados e resultam em razões Sr/Y elevadas. O comportamento de elementos terras raras é marcado por altos teores de ETR leves e baixos valores de ETR pesados (Figura 3.35 A). Há fracionamento forte a moderado dos ETR [(La/Lu)<sub>N</sub> = 256 a 366],

e moderadas a altas de (La/Sm)<sub>N</sub> (1,8 a 4,6) e (Gd/Lu)<sub>N</sub> (38,6 a 41).

No diagrama SiO<sub>2</sub> vs. K<sub>2</sub>O de Le Maitre et al. (2004), as rochas sieníticas e monzoníticas da Suíte Intrusiva João Jorge possuem assinatura shoshonítica (Figura 3.35 C). No diagrama SiO<sub>2</sub> vs. FeO\*/(FeO\*+MgO) de Frost et al. (2001) estas rochas mostram comportamento transicional entre os grupos magnesiano e ferroso (Figura 3.35 D). No diagrama SiO<sub>2</sub> vs. Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-CaO estas rochas se posicionam no campo alcalino (Figura 3.35 E). Em termos de aluminosidade, os álcali-feldspato sienitos se situam no campo das rochas peralcalinas, e o monzonito mostra assinatura metaluminosa (Figura 3.36 A).

No diagrama triangular K<sub>2</sub>O x Na<sub>2</sub>O x CaO de Arth e Barker (1976) (Figura 3.36 B) estas rochas se alinham ao trend da série cálcio-alcalina, porém dispondo-se mais próximo do vértice potássico (Figura 3.36 B). Os teores relativamente baixos de elementos incompatíveis, a despeito do caráter potássico, fazem com que elas mostrem, nos diagramas de Pearce et al. (1984), semelhanças tanto com rochas de arcos magmáticos quanto de ambientes colisionais (Figuras 3.36 C-D). Os teores muito elevados de Zr

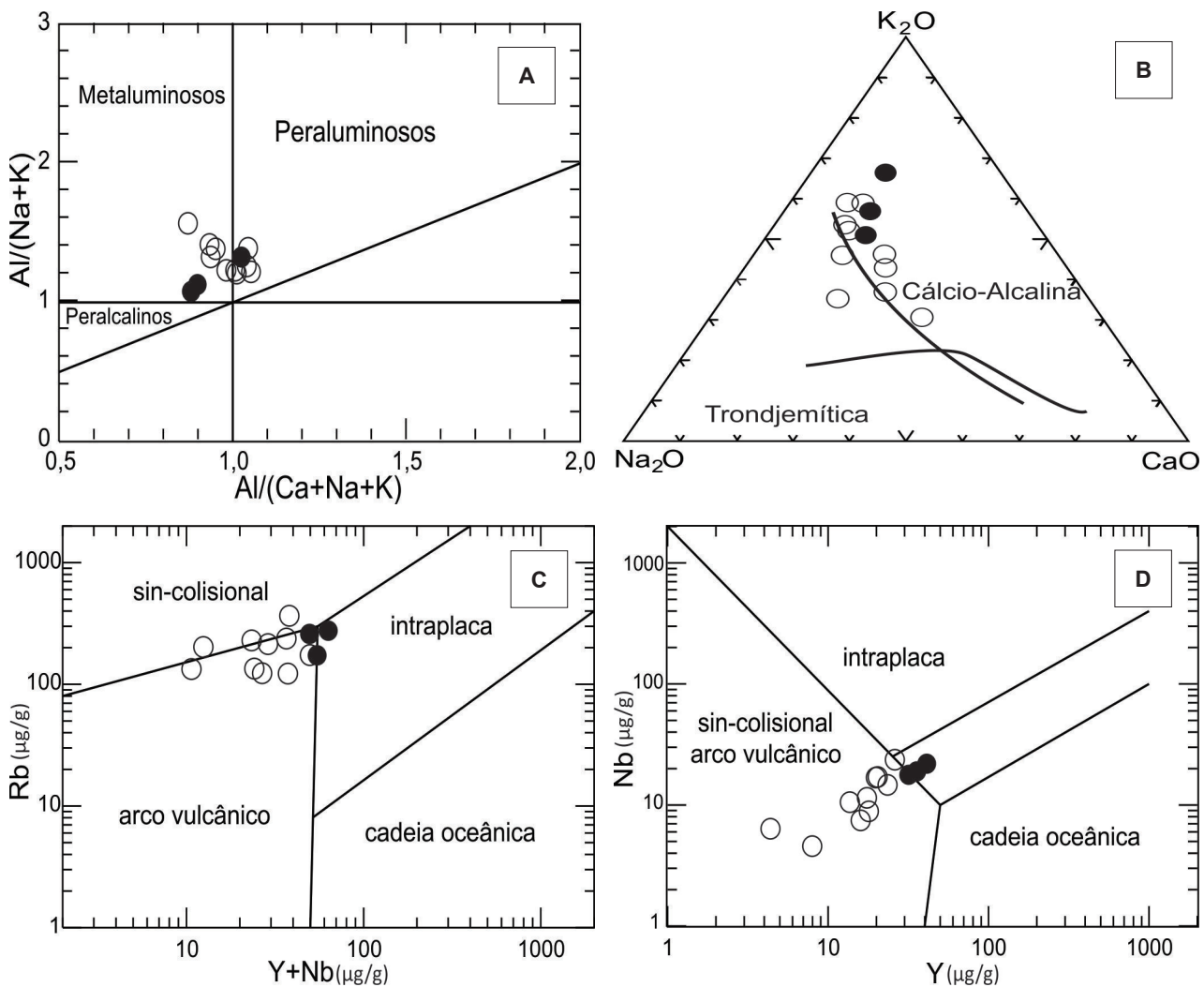


Figura 3.36 - Diagramas com dados de amostras de granitoides da Suíte João Jorge. A) Diagrama de índice de aluminosidade (cf. SHAND, 1969); B) Diagrama K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O-CaO (cf. ARTH; BARKER, 1976); C-D) Diagramas discriminantes de Pearce et al. (1984). Círculo branco: quartzo dioritos, monzogranitos e sienogranitos (PP2yjgg), Círculo preto: sienitos e monzonitos (PPyjs).



poderiam ser comparáveis àqueles de granitos do tipo A. Entretanto, os padrões de ETR e de vários outros elementos incompatíveis diferem daqueles dos granitos anorogênicos.

Os sienitos e monzonitos da Suíte Intrusiva João Jorge se localizam próximo ao contato com a faixa metavulcanossedimentar do Grupo Três Palmeiras. Ao longo deste contato desenvolveu-se uma zona de cisalhamento dúctil-rúptil anterior à colocação dos sienitos. Para explicar a origem destes magmas de tendência shoshonítica deve-se considerar que estas rochas são tardias na história do orógeno riaciano do Domínio Bacajá. Quando estes sienitos e monzonitos se formaram, o arco magmático (complexos Bacajaí e Arapari) associado já estava construído. As descontinuidades importantes, representadas pelo contato litológico e pela zona de cisalhamento transcorrente, teriam permitido a descompressão do manto e sua fusão parcial.

A presença de enclaves microgranulares máficos com formas arredondadas em sienitos e monzonitos sugere a coexistência de magmas mantélicos e magmas ácidos. Modelos semelhantes de fusão mantélica têm sido propostos para explicar a origem

de rochas sieníticas de alto Ba e Sr tardi-tectônicas (FOWLER et al., 2008; SCHMITT et al., 2012; PENG et al., 2013; CARVALHO; JANASI; HENRIQUE-PINTO, 2014).

Os baixos conteúdos de ETR pesados também sugerem que estes magmas poderiam ter sido gerados por fusão parcial de material mantélico a grandes profundidades. Os altos valores das razões Sr/Y seriam indicadores de magmas gerados em profundidades consideráveis, onde as condições são desfavoráveis à estabilidade de plagioclásio (MARTIN, 1999; MOYEN, 2009). Estas profundidades seriam coerentes com aquelas necessárias ao envolvimento de fontes mantélicas.

O valor positivo de  $\epsilon_{Nd}$  (+1,51) em uma amostra de sienito (FB-20) analisada sugere a participação de componentes primitivos na origem destas rochas, porém não exclui a participação de alguma contribuição de fonte crustal continental, seja sedimentar ou mesmo das fases graníticas mais precoces. Isto parece também ser refletido pela diferença entre a idade de cristalização (2075 Ma) e a idade-modelo  $T_{DM}$  (2,20 Ga) nesta mesma amostra.

O fato de estes sienitos e monzonitos apresentarem fraca foliação sugere que durante a sua colo-

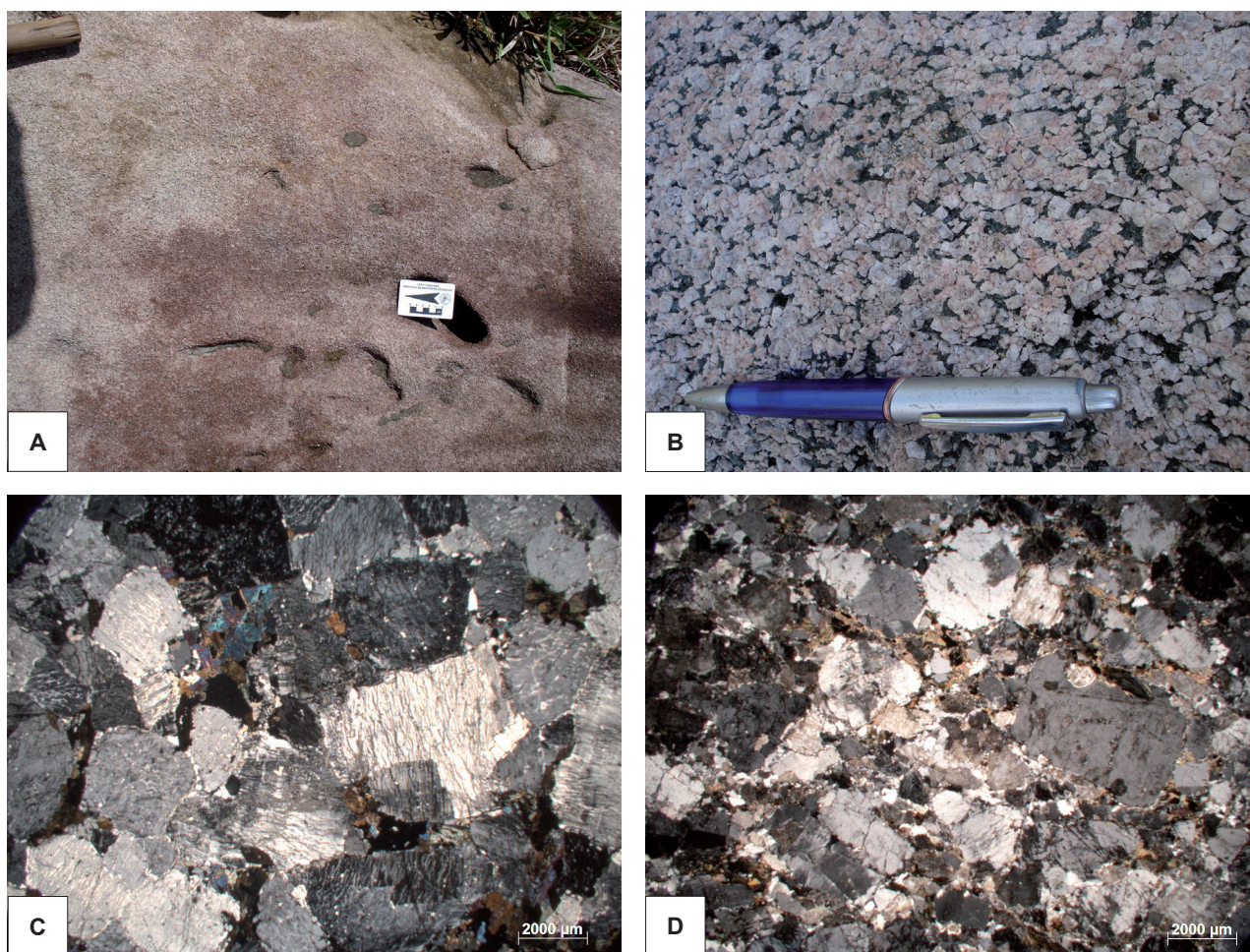


Figura 3.37 - A-D) Álcali-feldspato sienitos da Suíte Intrusiva João Jorge. A) Enclaves microgranulares máficos (Estação FB-08, UTM 469750/9584642); B) Textura grossa e fraca foliação (Estação FB-39, UTM 458926/9584938); C) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) mostrando microclínio pertítico (Estação FB-39); D) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) mostrando foliação moderada definida pela orientação preferencial de biotita e de microclínio (Estação FB-48, UTM 466015/9597464).



cação final, estes magmas cristalizaram-se sob a atuação de esforços residuais de natureza compressiva (transpressiva?).

Delor et al. (2003) descrevem na Guiana Francesa sienitos associados a granodioritos tardi-orogênicos com idades semelhantes aos sienitos e monzonitos da Folha Rio Bacajá.

## Geocronologia

Idades obtidas pelo método Pb-Pb evaporação de zircão (MACAMBIRA et al., 2003) forneceram idades de  $2075 \pm 3$  Ma para granitoides foliados de cores cinza a rosa situados na região de Novo Repartimento. Os dados isotópicos de Nd indicam idades-modelo de 2,25 a 2,35 Ga. Os valores de  $\epsilon Nd$  variam de +0,85 a -0,6. Segundo aqueles autores, outra amostra possui idades  $T_{DM}$  mais antiga (2,57 Ga) e  $\epsilon Nd$  negativo de -4,12. Outra datação (Pb-Pb evaporação de zircão) realizada por Macambira et al. (2001) forneceu a idade de  $2076 \pm 6$  Ma. Outros corpos ao longo do Domínio Bacajá possuem idades semelhantes, a exemplo do Granito Felício Turvo, o qual possui idade de  $2069 \pm 6$  Ma (SOUZA; MACAMBIRA; KOTSHOUBEY, 2003).

Na foz do rio Iriri, Vasquez et al. (2005) obtiveram uma idade de  $2077 \pm 2$  Ma em monzogranitos fracamente foliados, correlacionados à Suíte Intrusiva João Jorge. Na parte oeste do Domínio Bacajá, Vasquez (2006) apresenta idades  $T_{DM}$  mais antigas (2,65 a 2,73 Ga) para granitos atribuídos à Suíte João Jorge. Estas idades refletiriam a participação de fontes arqueanas na geração de magmas desta suíte, embora componentes mantélicos também tenham sido considerados por Vasquez op. cit.

Neste trabalho foi datado um álcali-feldspato sienito (FB-20) localizado no centro da área (UTM 474453/9882398). A datação pelo método Pb-Pb evaporação de zircão forneceu a idade de  $2076 \pm 2$  Ma (Tabela 3.11). A análise Sm-Nd desta rocha (Tabela 3.12) forneceu a idade-modelo de 2,21 Ga e valor de  $\epsilon Nd$  de +1,51, o que sugere componentes mantélicos na geração destes magmas sieníticos. A relativa abundância de enclaves microgranulares máficos nestas rochas potássicas também permite admitir a coexistência de líquidos sieníticos com magmas mantélicos.

### 3.7 DIABÁSIO RIO PAJEÚ (TJ5rp)

#### Dados históricos, distribuição, relações de contato e assinatura geofísica

O magmatismo básico na região Amazônica tem sido discutido no âmbito da Província Magmática do Atlântico Central (CAMP – *Central Atlantic Magmatic Province*), o qual pode ser descrito desde o Amapá até o oeste do Pará.

O magmatismo toleítico do Mesozoico é representado no Domínio Bacajá por enxames de diques de diabásio de direção nordeste e norte, localizados preferencialmente no leste do domínio.

Em termos de unidades litoestratigráficas, trabalhos anteriores (ISSLER et al., 1974; SANTOS et al., 1975; VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008) fazem menção ao Diabásio Penatecaua, que flora a oeste do Rio Xingu, na região de Medicilândia, e a leste da Folha Rio Bacajá, na região da Folha Tucuruí, Macambira e Ricci (2011) propuseram a designação Diabásio Rio Pajeú para os diques de diabásio associados à CAMP na Folha Tucuruí, a qual é adotada neste trabalho.

Na Folha Rio Bacajá o Diabásio Rio Pajeú aflora sob a forma de diques que podem alcançar algumas dezenas de quilômetros de comprimento e largura de algumas dezenas de metros. Estes diques são cartografados com o auxílio de imagens aeromagnetométricas, as quais mostram o predomínio de diques com direções NS, NNE e N30-45E, marcadas por anomalias magnéticas lineares.

#### Aspectos de campo e características petrográficas

Na Folha Rio Bacajá as ocorrências de diabásios se limitam a blocos e matacões que apresentam as formas arredondadas resultantes da decomposição esferoidal. A cor avermelhada do solo pode também auxiliar a cartografia de diques de diabásio.

Estas rochas possuem cor cinza escuro, estrutura maciça, granulação fina (Figura 3.38 A) e são constituídas por plagioclásio e clinopiroxênio, além de apatita e opacos como minerais acessórios. Os cristais de plagioclásio possuem formas de ripas e mostram zoneamento oscilatório proeminente. A saussuritização é fraca e mais pronunciada nas partes mais internas dos cristais. As texturas destas rochas variam de ofítica, subofítica a intergranular (Figura 3.38 B).

### 3.8 COBERTURAS LATERÍTIICAS MATURAS (E13Im)

Os platôs lateríticos formam 1% da área cartografada e estão presentes sobre as áreas de ocorrência das rochas metabásicas e anfibolitos do Grupo Três Palmeiras. A disposição destes platôs segue aproximadamente a direção WNW das faixas supracrustais. Em planta os platôs lateríticos têm formas irregulares, por vezes ameboidais, em corpos de direção WNW, ou formando pequenas ilhas. Nos mapas magnetométricos, as lateritas estão marcadas por valores moderados.

A ideia de que estas duricrostas funcionem como escudo contra a erosão das rochas metabásicas tem sido defendida por alguns autores (HORBE et al., 2001; FARACO et al., 2005; PERICO, 2010). Em alguns casos pode-se ver na laterita a herança da foliação da rocha metabásica (Figuras 3.39 A-C).

### 3.9 DEPÓSITOS ALUVIONARES (Q2a)

Os depósitos aluvionares cartografáveis na Folha Rio Bacajá se limitam às planícies de inun-

dação dos rios Bacajá e Anapu. Estes depósitos são constituídos por sedimentos arenosos e argilosos. Em geral não há exposições muito boas destes.

Tabela 3.11 - Dados de análises Pb-Pb por evaporação de zircão de álcali-feldspato sienito (amostra FB 20) da Suíte Intrusiva João Jorge.

Zircão	Temp.	Razões	<sup>204</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	( <sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb) <sub>c</sub>	2σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb
A20/2	1500	32	11494	0,41301	0,00097	0,12952
A20/3	#1450	4	341	0,48564	0,00392	0,15071
	1500	34	4367	0,43336	0,00109	0,13168
A20/4	1500	40	6098	0,38978	0,00283	0,13037
A20/9	#1500	18	2421	0,50389	0,00325	0,13298

2σ	( <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb) <sub>c</sub>	2σ	Idade (etapa)	2σ	Idade (grão)	2σ
0,00016	0,12834	0,00013	2076	2	2076	2
0,00021	0,11101	0,00172	1816	28		
0,00027	0,12866	0,00042	2080	6	2080	6
0,00034	0,12821	0,00040	2074	5	2074	5
0,00027	0,12746	0,00066	2064	9		
<b>Média (3 grãos, MSWD = 1,7)</b>					<b>2076</b>	<b>2</b>

Tabela 3.12 - Dados de análises Sm-Nd em rocha total de álcali-feldspato sienito (amostra FB 20) da Suíte Intrusiva João Jorge.

Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	Sm/Nd	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	Erro (%)	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	Erro (%)	εNd (0)	T <sub>DM</sub> (Ga)	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd (t*)	εNd (t*)
FB-20	14,03	90,65	0,155	0,0936	0,01	0,511303	0,0022	-26,0	2,21	0,510071	1,51

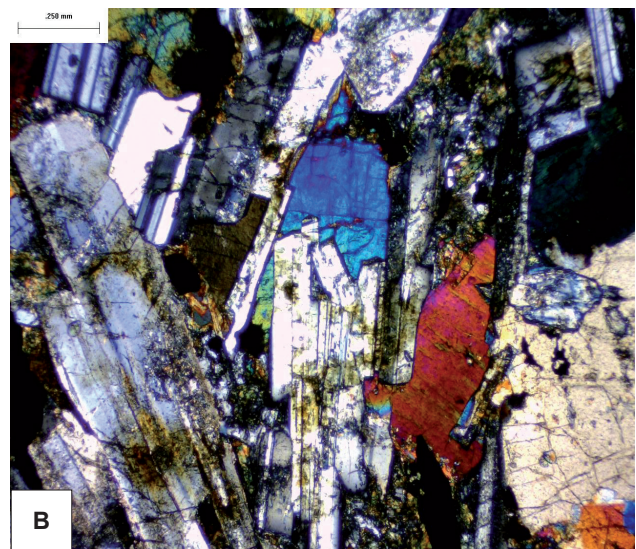


Figura 3.38 - A) Amostra de mão do Diabásio Rio Pajeú (UTM 499722/9590847). B) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) mostrando fraca orientação preferencial dos cristais de plagioclásio, e textura intergranular.



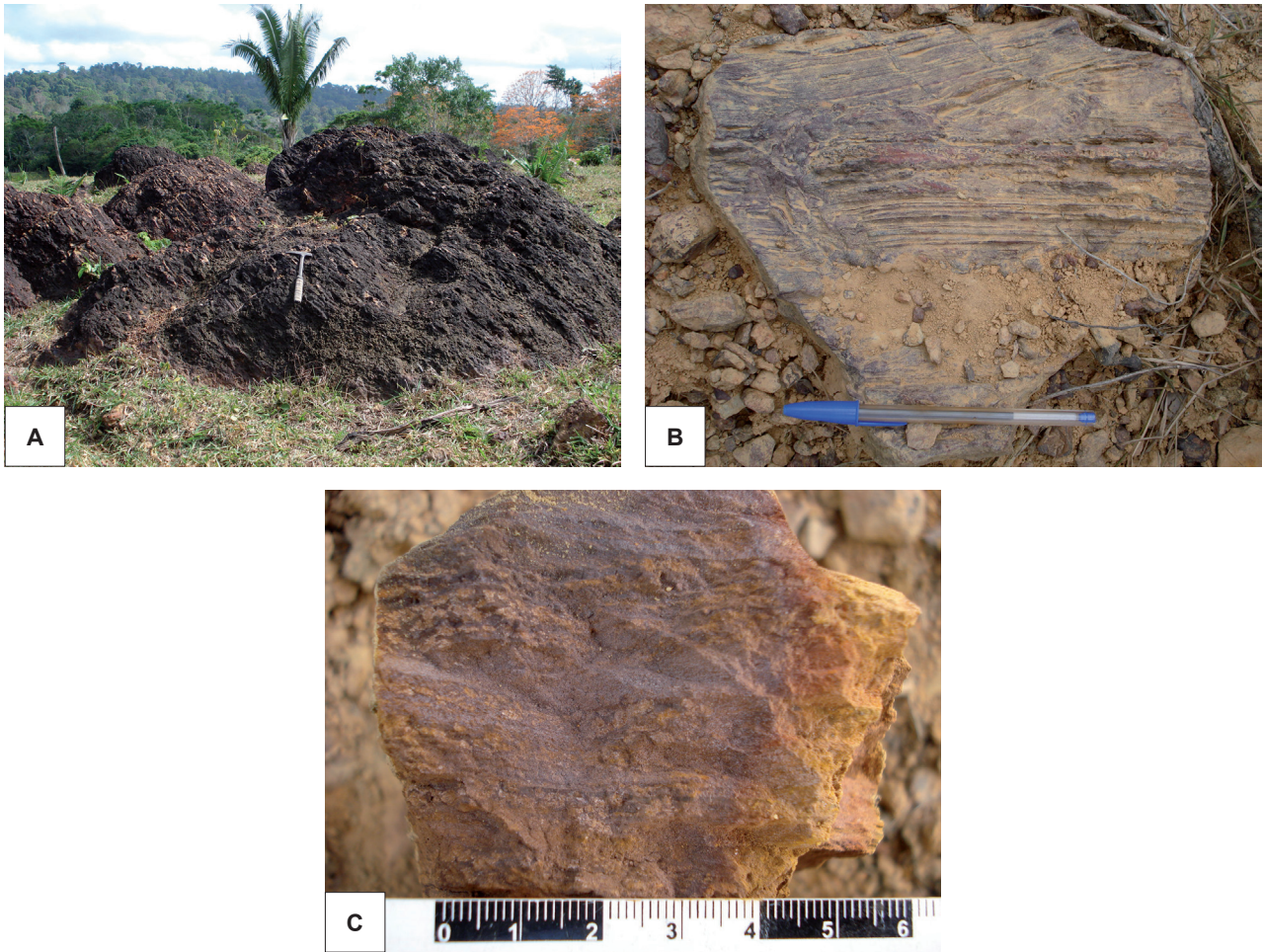


Figura 3.39 - A) Laterita desenvolvida em platô sobre anfibólitos da Formação Itatá/Grupo Três Palmeiras (Estação CCA-22, UTM 483500/9576139). Notar resquício da foliação do anfibólito nas lateritas; B) e C) Amostras de mão de laterita.



## 4 GEOLOGIA ESTRUTURAL

### 4.1 INTRODUÇÃO

As foliações observadas nas rochas da Folha Rio Bacajá são assim definidas:

$S_{n-1}$  - foliação observada em anfibolitos e em ortognaisses arqueanos do Complexo Aruanã, e em metagranitos esta foliação é raramente observada. Tem natureza dúctil, é possivelmente sin-magmática e marcada pela orientação preferencial moderada a forte de minerais ferromagnesianos, do quartzo e feldspatos, os quais se dispõem em finos níveis descontínuos. Em anfibolitos, esta foliação é nematoblástica e resulta dos efeitos de contato e colocação causados pelos protólitos dos ortognaisses arqueanos.

$S_n$  - foliação definida pela alternância rítmica de níveis composicionais de rochas metassedimentares da Formação Bacajá/Grupo Três Palmeiras. Por não ser clara a origem primária desta intercalação, prefere-se denominá-la de  $S_n$ . Esta superfície teria se desenvolvido provavelmente no início do Riacyano.

$S_{n+1}$  - foliação metamórfica definida pela orientação preferencial de minerais. Esta foliação pode estar presente em metagranitos/ortognaisses neoarqueanos, ou anfibolitos e rochas metassedimentares siderianos, retrabalhados no Riacyano. Em metabásicas a trama é definida pela orientação preferencial de anfibólio e plagioclásio, resultando em arranjo nematoblástico.

$S_a$  - acamamento magmático, definido pela alternância rítmica de níveis de composições diferentes, ou de níveis com granulações diferentes, ou pela assimilação parcial de enclaves dando origem a feições do tipo *schlieren*. Este acamamento pode ser realçado pela presença de níveis aplíticos concordantes ao acamamento ígneo.

$S_p$  - foliação principal riacyana (2,15 a 2,07 Ga), de natureza magmática com componente de estado sólido, observada nos metagranitoides do Complexo Bacajá, e nos granitoides das suítes intrusivas Arapari e João Jorge. Esta superfície é penetrativa na área e em escala de afloramento, é homogênea, retilínea a levemente curvilinear. Esta foliação é definida por cristais de quartzo e pela orientação preferencial de feldspatos e de minerais ferromagnesianos. Trilhas de novos grãos, em fase inicial de formação, podem auxiliar a definir esta superfície.

$S_m$  - foliação milonítica pode ser encontrada em milonitos contemporâneos ou não à colocação dos granitos. Nem sempre é evidente a distinção entre estas duas situações. Em rochas com muscovita termal e submetidas à deformação dúctil, houve recristalização dinâmica da muscovita. Neste caso, o cisalhamento teria ocorrido após a cristalização magmática (ex. Complexo Bacajá).

### 4.2 COMPLEXO ARUANÃ - ANFIBOLITO ARMEZINHO

Nos anfibolitos neoarqueanos do nordeste da área, há uma foliação (N60W/85SW) moderada a fraca, contínua marcada pela incipiente orientação preferencial de anfibólio da matriz fina ( $S_{n-1}$ ), que resulta em textura granonematoblástica. Sobre a matriz há poiquiloblastos/porfiroblastos de plagioclásio ao redor dos quais há agregados de quartzo. Estes grandes cristais de plagioclásio são abundantes, têm forma de tendência hexagonal e cor esbranquiçada, que contrasta com a matriz cinza escuro (Figuras 3.2 A-B). Estas características conferem à rocha textura poiquiloblástica, ao passo que os cristais da matriz têm contatos retilíneos e junções tríplexes, sugerindo uma fase de metamorfismo de contato de fácies hornblenda hornfels. A ausência de feições relacionadas à recristalização dinâmica e a presença de marcantes evidências de metamorfismo de contato sugerem que a origem da foliação no Anfibolito Armezinho poderia estar ligada a esforços de colocação das câmaras magmática dos protólitos dos metagranitoides do Complexo Aruanã.

### 4.3 COMPLEXO ARUANÃ - ORTOGNAISSES E METAGRANITOIDES

Os ortognaisses do nordeste da área se distinguem em tipos porfiríticos e equigranulares. Nas rochas porfiríticas há uma foliação ( $S_{n-1}$ ), provavelmente primária, marcada pela alternância de níveis ricos em minerais ferromagnesianos com níveis quartzo-feldspáticos. Em alguns afloramentos esta foliação tem atitude N75E/30NW e é desenhada pela orientação preferencial dos minerais ferromagnesianos e de fenocristais de feldspato potássico. Esta superfície é cortada por uma zona milonítica ( $S_m$ ) com espessura métrica e atitude N55W/70SW. Neste domínio há, de modo localizado, tectonitos fortemente linearizados desenvolvidos pela intersecção destas superfícies (Figuras 4.1 A-C).

Nos gnaisses equigranulares há uma foliação  $S_{n+1}$  forte, marcada pela forte orientação preferencial dos cristais de quartzo, feldspatos e minerais ferromagnesianos (Figuras 4.2 A-C). A alternância de níveis ricos em minerais ferromagnesianos com níveis quartzo-feldspáticos dá origem a um bandamento gnáissico retilíneo e homogêneo de atitude N60W/90. Entretanto, a foliação pode mostrar leve ondulação e estruturas do tipo *pinch-and-swell* (Figuras 4.2 A-B).

Quartzo pode ocorrer em níveis preferenciais de espessura milimétrica e dispostos de modo concordante à foliação gnáissica. Esta foliação gnáissica



é afetada por duas zonas de cisalhamento dúctil. A primeira tem atitude N33W/80NE e movimentação dextral. A segunda tem atitude N83E/86NW e é sinistral. Veios de quartzo com 5 cm de espessura, paralelos à primeira zona de cisalhamento, são deslocados pela segunda zona de cisalhamento.

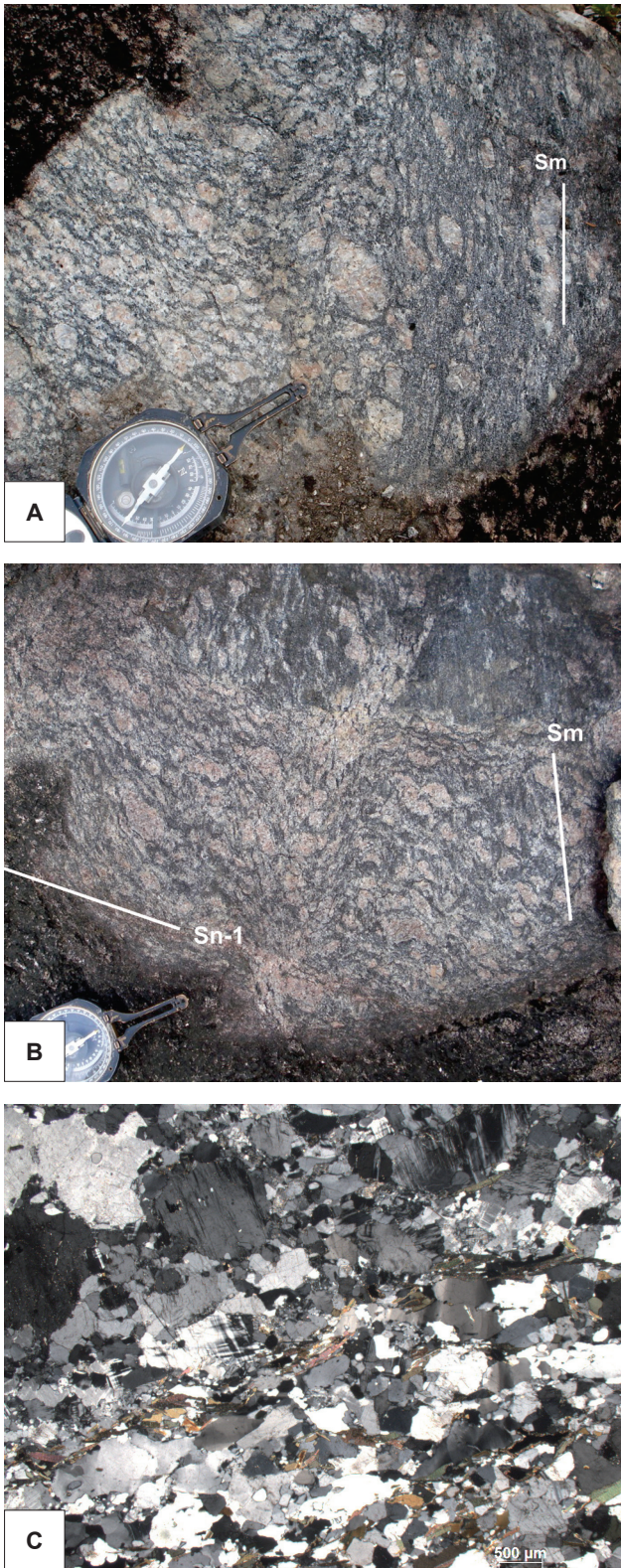


Figura 4.1 - Metamonzogranito deformado do Complexo Aruanã (Estação FB-100, UTM 494916/9611258). A) Notar duas foliações, das quais Sm é posterior e oblitera a Sn-1; B) Observar dobras centimétricas em Sn-1 e a foliação Sm superposta. C) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) de metamonzogranito mostrando foliação Sn-1.

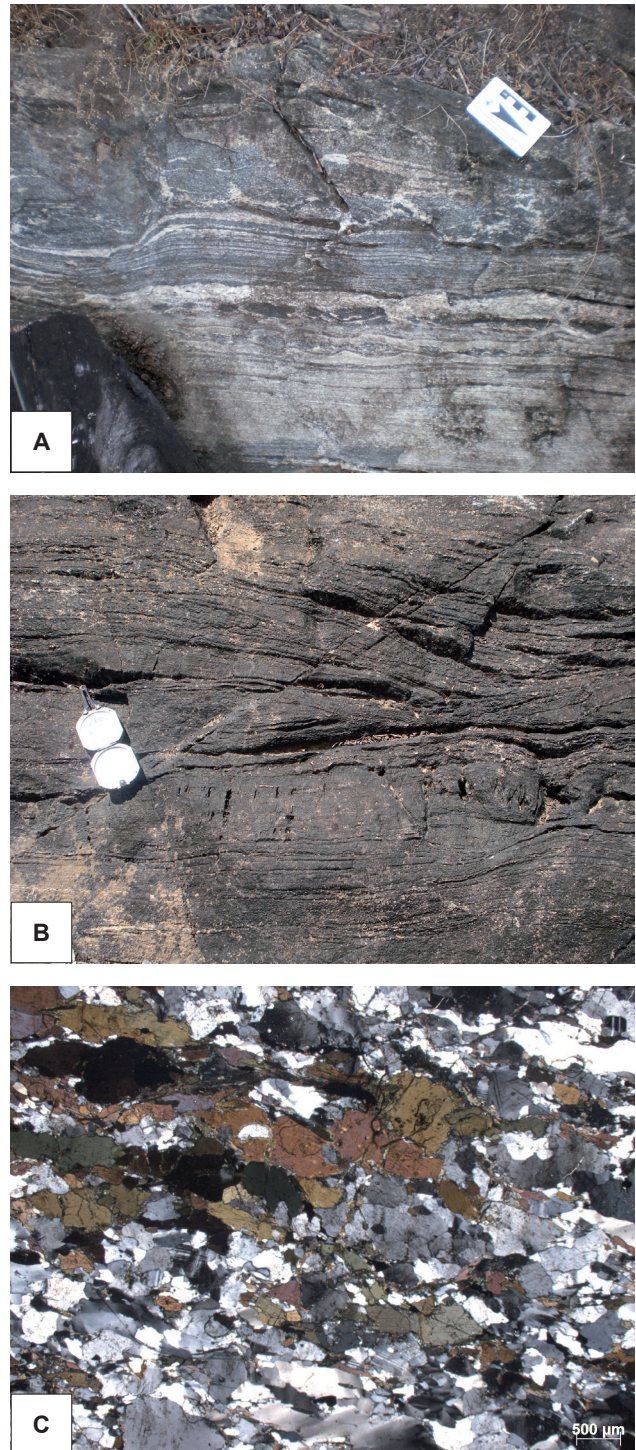


Figura 4.2 - Ortogneise do Complexo Aruanã, Folha Rio Bacajá (Estação FB-101, UTM 494861/9609116). (A) e (B) Ortogneise com foliação Sn+1 e estrutura “pinch-and-swell” associada. C) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) mostrando foliação definida pela orientação preferencial dos minerais.

#### 4.4 GRUPO TRÊS PALMEIRAS

O Grupo Três Palmeiras é constituído pelas rochas metabásicas e anfibolíticas da Formação Itatá e pelas rochas da Formação Bacajá, dentre as quais se distinguem quartzitos e filitos. Estas associações litológicas compõem uma faixa de direção WNW, cuja largura em planta varia de 2 a 8 km. Este domínio é ressaltado no relevo como uma morfoestrutura



que constitui as cristas alongadas da Serra das Três Palmeiras. A direção desta faixa, juntamente com a orientação dos demais corpos granitoides associados, define a estruturação regional.

#### 4.4.1 Formação Itatá

##### Estruturas e texturas

Rochas metabásicas com estrutura maciça e texturas ígneas reliquias são abundantes. Na escala microscópica estas rochas mostram textura

blastofítica, plagioclásio saussuritizado e pseudomorfos de actinolita resultantes da substituição do piroxênio original. Por vezes relictos desta textura blastofítica coexistem com feições de formação inicial da matriz granoblástica (Figura 4.3 B). Estas transformações muito provavelmente se relacionam a uma fase de metamorfismo de fundo oceânico (pseudomorfos de actinolita) e uma fase de metamorfismo de contato. A actinolita de cor verde pálida tem bordas de cor verde oliva azulado. Em rochas maciças, a recristalização estática é evidenciada pela textura granoblástica. Nas rochas francamente granoblásticas, o anfibólio verde acastanhado ou castanho avermelhado é acompanhado de plagioclásio límpido (An 35).

Nas rochas metabásicas a foliação  $S_{n+1}$  tem atitude média N80W/85SW e é definida pela forte orientação preferencial de cristais finos de plagioclásio e anfibólio em arranjo nematoblástico (Figuras 4.3 A, C e D). Nestas rochas o anfibólio tem cor verde oliva e possui aspecto homogêneo, ou seja, o núcleo de anfibólio verde pálido é ausente.

A parte norte da faixa principal de rochas metabásicas da Formação Itatá foi afeada por uma

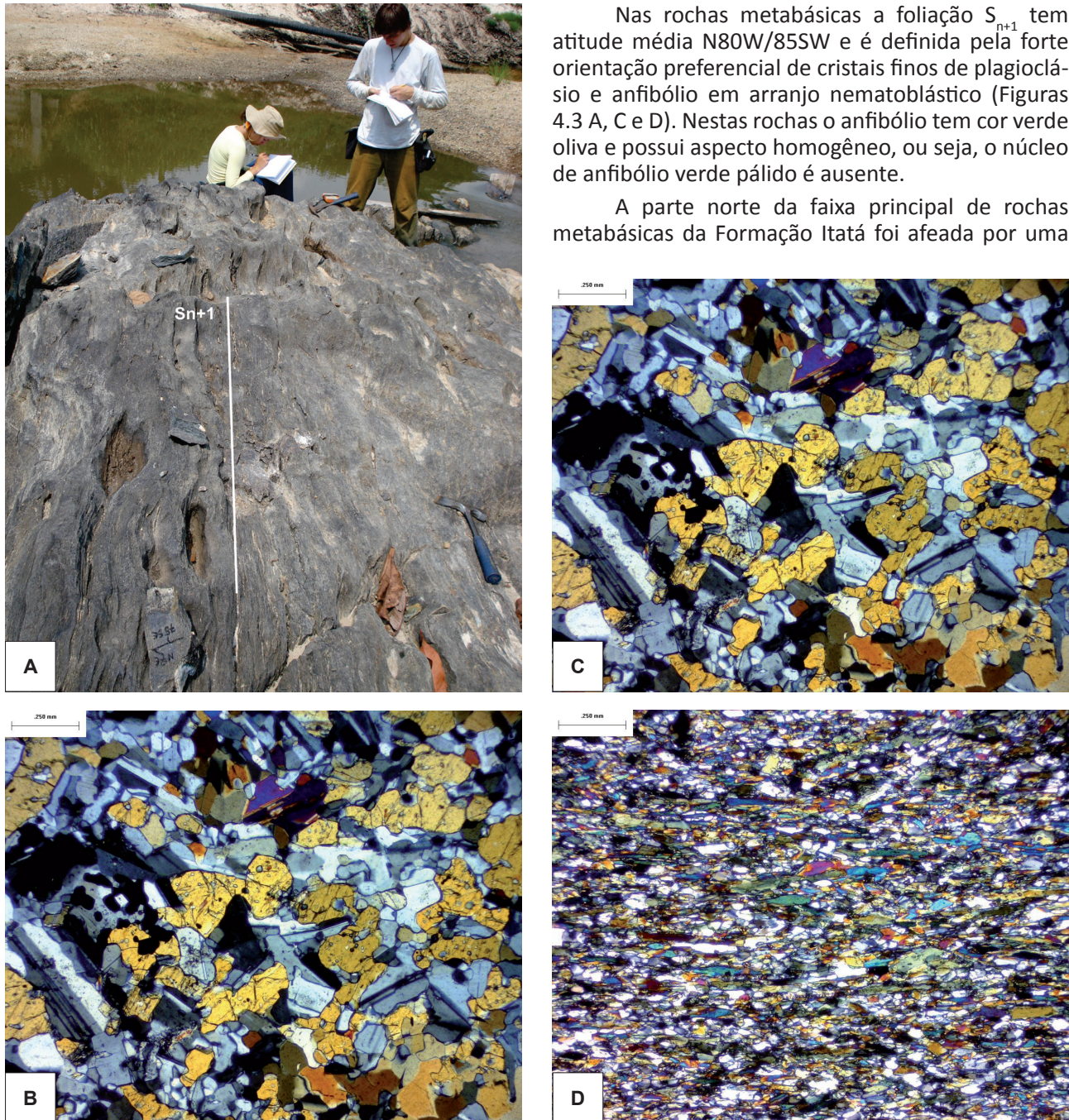


Figura 4.3 - A) Afloramento de plagioclásio-anfibólio hornfels (anfibilito) da Formação Itatá com forte foliação  $S_{n+1}$ . B) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) de plagioclásio-anfibólio hornfels com relictos da textura blastofítica (ripas de plagioclásio) em transição para uma textura granoblástica (Estação FB-53, UTM 461303/9577822). (C) e (D) Fotomicrografias (polarizadores paralelos e polarizadores cruzados) de plagioclásio-anfibólio hornfels com forte foliação  $S_{n+1}$  e textura nematoblástica (Estação FB-52, UTM 461749/9579236).



zona de cisalhamento dúctil com espessura decamétrica (Figuras 4.4 A-C), cuja foliação  $S_m$  tem atitude N65E/75SE. Lineações de estiramento mineral com atitude 270/45 se associam à foliação  $S_m$ .

Anfibolitos podem ser afetados por uma família de fraturas com atitude N10-20E/70SE.

Nas rochas metabásicas situadas em auréolas de contato, há veios com cinco a dez centímetros de espessura e que são preenchidos por cristais grossos de anfibólio, podendo localmente ocorrer plagioclásio ou quartzo associado de modo subordinado. Vênulas de plagioclásio podem mostrar aspecto errático sugerindo origem controlada por fraturas hidráulicas (Figuras 4.5 A-C).

## Fases de metamorfismo

Diante das feições estruturais e texturais das rochas supracrustais do Grupo Três Palmeiras, a sua história tectono-termal pode ser assim sumarizada:

- primeira fase de metamorfismo ( $M_0$ ), de natureza estática, e de condições de fácies xisto verde, da zona da clorita até a zona da biotita. Esta fase, muito provavelmente, é relacionada a metamorfismo de fundo oceânico;

- a segunda fase de metamorfismo ( $M_n$ ) estaria ligada ao aquecimento e deformação de auréolas em resposta a esforços compressivos regionais concomitantes à colocação dos magmas intermediários ácidos dos protólitos do Complexo Bacajaí, há cerca de 2,15 Ga. Esta fase de metamorfismo ocorreu em temperaturas de fácies hornblenda hornfels, podendo localmente atingir a fácies piroxênio hornfels;

- a fase subsequente de metamorfismo é do tipo dinâmico e parece ter sido contemporânea à colocação das suítes intrusivas Arapari e João Jorge. A foliação  $S_m$  se associa a zonas de cisalhamento dúctil (Figuras 4.4 A-C) com componente oblíquo e provavelmente são tardias da evolução do orógeno. Em resposta às deformações associadas a esta fase e recristalização, as rochas passaram a mostrar granulação fina e forte foliação;

- novo pulso de metamorfismo termal contemporâneo à deformação dúctil causada também pelos esforços de auréola somados a esforços regionais teria ocorrido quando da colocação dos corpos das suítes intrusivas Arapari e João Jorge. Como há porfiroblastos radiais que crescem sobre rochas miloníticas, sugere-se que esta fase de metamorfismo de contato é posterior à formação dos milonitos. Esta segunda fase termal também teria imposto modificações de fácies hornblenda hornfels e piroxênio hornfels;

- Veios de anfibólio, veios de plagioclásio, quartzo e fraturas hidráulicas que ocorrem nas rochas metabásicas de auréolas de contato (Figura 4.5) são o resultado das reações de desidratação e aumento da pressão de fluidos contemporâneos a esforços de expansão lateral de plútons, somados a esforços compressivos regionais. Estes veios e fraturas hidráulicas podem ter ligação com efeitos térmicos

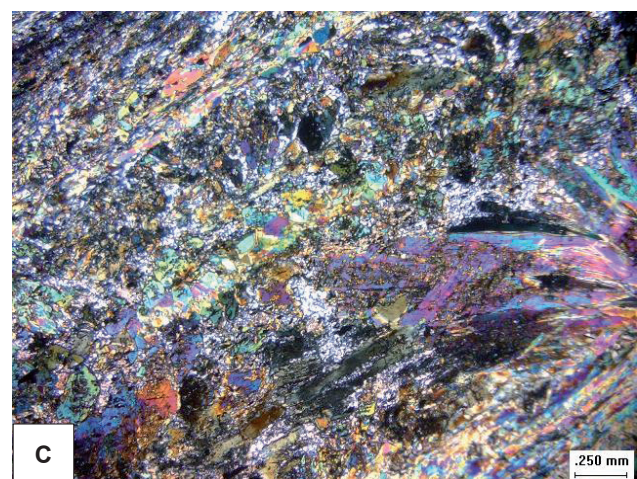
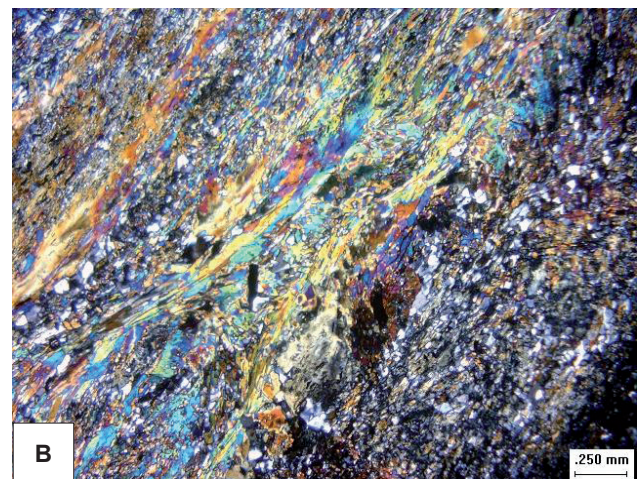
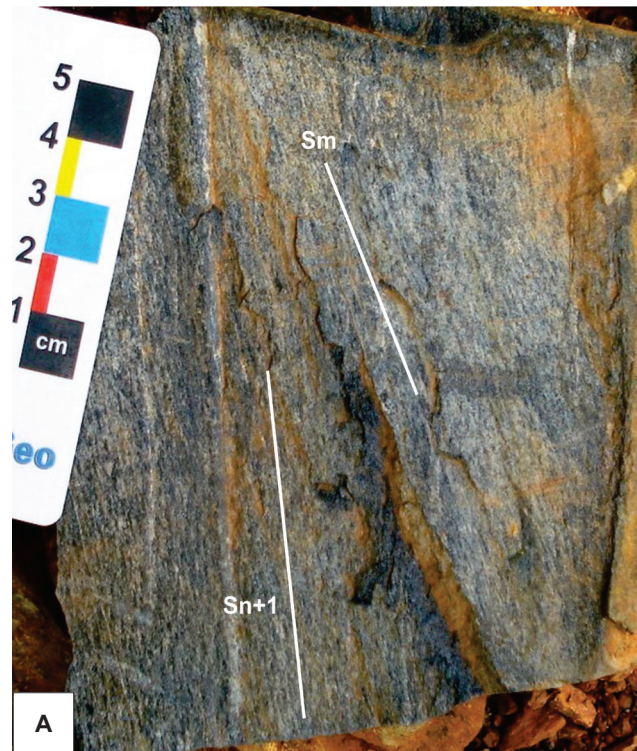


Figura 4.4 - A) Amostra de anfibolito da Formação Itatá com forte foliação  $S_{n+1}$  e  $S_m$ . (B) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) de anfibolito milonítico mostrando forte foliação  $S_m$ . (C) Fotomicrografia (polarizadores cruzados) de anfibolito milonítico com porfiroblastos de anfibólio posterior à formação da superfície  $S_m$ . Estação CCA-86 (UTM 420858,46/538282,75).



provocados pelos protólitos magmáticos do Complexo Bacajaí ou pelas suítes intrusivas Arapari e João Jorge. Estas feições são muito semelhantes àquelas descritas por vários autores no contexto de metamorfismo termal (HANSON, 1992; CESARE, 1994; DUTROW; NORTON, 1995). Veios de anfibólio originados por efeitos de metamorfismo de contato muito semelhantes a estes descritos na Folha Rio Bacajá foram estudados por Barros, Barbey e Costa (2002) na Província Mineral de Carajás.



Figura 4.5 – A a C) Anfibolitos (hornfels) da Formação Itatá cortados por veios de anfibólio grosso e por vênulas de plagioclásio. Notar em “C” a relação de corte entre os veios e aspecto errático de vênulas de plagioclásio, evidenciando fraturamento hidráulico. Estação FB-76 (UTM 495336/9576828).

#### 4.4.2 FORMAÇÃO BACAJÁ

As faixas de rochas metassedimentares possuem algumas dezenas a centenas de metros de largura e alguns quilômetros de comprimento. Esta intercalação de rochas metabásicas com rochas metassedimentares definiria em escala regional o acamamento litológico original no domínio das rochas paleoproterozoicas.

Nos metapelitos há uma foliação  $S_n$  interna e fortemente crenulada pela superfície  $S_{n+1}$ , esta por vezes transpõe a  $S_n$ . Esta superfície é marcada, em escala mesoscópica, pela alternância de níveis de espessura milimétrica a centimétrica, ora esbranquiçados e ricos em quartzo e sericita, ora cinza escuro, que reflete a presença de grafita. A foliação  $S_n$  é afetada por dobras métricas a decimétricas, cerradas, assimétricas a isoclinais (Figuras 4.6 A-B). Estas dobras têm superfície de plano axial  $S_{n+1}$  de atitude N60W/55NE. O eixo destas dobras tem atitude N310/69. Localmente há falhas sinistrais de rejeito centimétrico e atitude N50E/90.

#### 4.5 COMPLEXO BACAJAÍ

As rochas do Complexo Bacajaí podem mostrar feições estruturais primárias. Um acamamento magmático  $S_0$  incipiente, localizado, é definido pela alternância rítmica de níveis de espessura centimétrica, ora mais ricos em minerais ferromagnesianos,

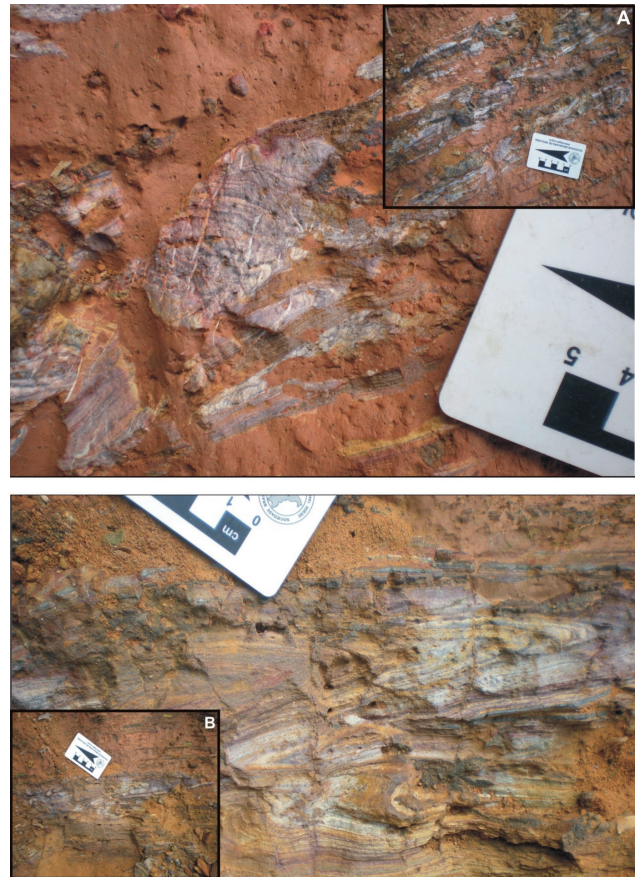


Figura 4.6 - Filitos da Formação Bacajaí mostrando dobras fechadas milimétricas (A) a centimétricas (B). Estação FB-51 (UTM 463011/9583034).



ora mais empobrecidos nestes minerais. Por vezes o acamamento magmático  $S_a$  é gerado pela assimilação parcial de enclaves máficos (Figura 4.7 A) o que resulta em níveis de cor cinza escuro em meio aos tonalitos de cor cinza.

Rochas metatonalíticas que afloram na parte norte da área apresentam foliação fraca a moderada, penetrativa na escala regional e de aspecto homogêneo na escala de afloramento. Esta foliação ( $S_p$ ) é marcada pela orientação preferencial dos cristais de feldspatos, biotita e/ou anfibólio e pelo achatamento de cristais de quartzo (Figuras 4.7 B–C). A atitude geral desta foliação N60-85W/90 acompanha a orientação do corpo tonalítico (Figura 4.8).

Zonas miloníticas com espessura métrica e comprimento quilométrico são caracterizadas pela presença de rochas com forte foliação  $S_m$  e intensa redução do tamanho dos grãos em ultramilonitos (Figuras 4.9 A-D). Nestes casos a rocha tende a assumir aspecto afanítico e cor cinza escuro. Muitas vezes estas zonas miloníticas se localizam ao longo do contato com granitoides da Suíte Intrusiva Arapari. Este contato deve ter atuado como uma anisotropia prévia, ao longo da qual se instalou a zona de cisalhamento dúctil.

Nos metatonalitos da parte sul e centro-sul, que estão espacialmente associados à faixa metavulcanossedimentar do Grupo Três Palmeiras, há uma foliação  $S_p$  moderada a fraca, semelhante à descrita acima. A atitude desta superfície também segue o padrão regional (N60W/75NE, N85W/85NE) e é concordante ao acamamento litológico regional e à orientação dos corpos plutônicos.

Na parte sudeste da área há monzogranitos porfiríticos afetados por zona milonítica (Figura 4.9 D) de espessura métrica e atitude N60W/75NE. A foliação varia de moderada a forte e estruturas do tipo S/C são comuns. A rocha de granulação grossa mostra aspecto mesoscópico de *augen-gnaiss*. Em afloramentos do norte da área metaquartzos dioritos e metaquartzos monzonitos foram afetados por zonas miloníticas  $S_m$  de atitude N20E/88NE, cuja direção é discordante do padrão regional.

No norte da Folha Rio Bacajá os tonalitos podem mostrar fraturas e falhas preenchidas por quartzo e epidoto.

#### 4.6 SUÍTE INTRUSIVA ARAPARI

Os granitoides da Suíte Intrusiva Arapari ocorrem sob a forma de corpos elípticos e alongados na direção N60-80W, acompanhando a estruturação regional. Em alguns afloramentos ocorrem acamamentos ígneos  $S_a$  moderada a fortemente desenvolvidos, que se caracterizam na maioria das vezes por alternâncias rítmicas de níveis ricos em minerais ferromagnesianos e de níveis quartzo-feldspáticos (Figuras 4.10 A-C). Este acamamento primário pode ser também marcado pela alternância de níveis com granulações diferentes. Em certos locais, xenólitos ou enclaves microgranulares máficos podem ser digeridos pelo magma granítico dando origem a níveis que ressaltam o acamamento. Em alguns casos, o



Figura 4.7 - Aspectos texturais e estruturais de rochas metagranitoides do Complexo Bacajá. A) Enclaves microgranulares máficos alongados em meio a tonalito foliado (Estação FB-116, UTM 491151/9580022). A assimilação do enclave origina o acamamento  $S_a$ . B) Foliação sin-magmática  $S_p$  fraca (Estação FB-88, UTM 499956/9563604). C) Foliação  $S_p$  cortada por veio quartzo-feldspático concordante (Estação FB-16, UTM 469880/9601164).



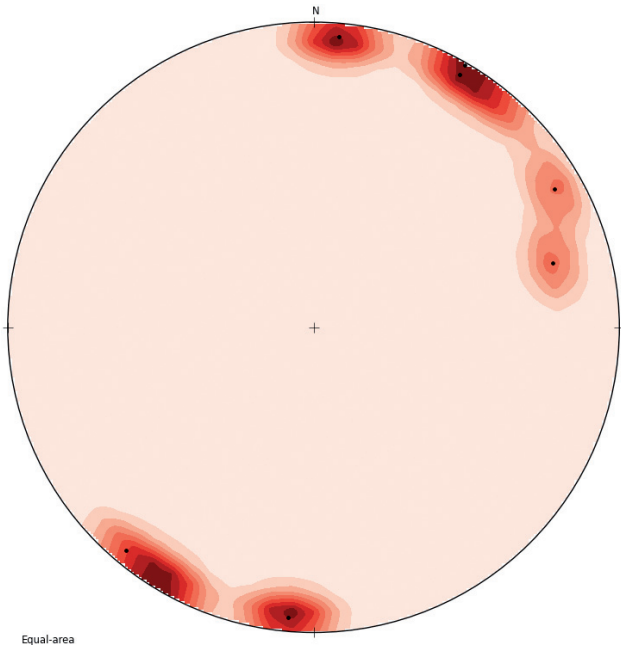


Figura 4.8 - Diagrama de polos (N=7) com dados de foliação de metagranitoides do Complexo Bacajá, Folha Rio Bacajá.

acamamento é ainda mais realçado pela presença de veios aplíticos e/ou pegmatíticos (Figura 4.10 A). Esta superfície pode ser sub-horizontal ou subvertical. No primeiro caso o acamamento primário é afetado por dobras abertas a cerradas (Figura 4.10 A), cujo plano axial subvertical está associado à superfície magmática com componente no estado sólido  $S_p$ . Estas dobras têm eixo de atitude 300/15.

Nos locais onde o acamamento magmático  $S_a$  é subvertical, esta superfície pode evoluir para uma foliação magmática com componente de estado sólido  $S_p$  de modo concordante. Isto faz com que, nestes casos de mergulhos de alto ângulo, o acamamento  $S_a$  seja realçado ou confundido com a foliação sin-magmática  $S_p$ . Esta segunda foliação ( $S_p$ ) tem intensidade variando de fraca a forte, e é definida pela orientação preferencial de cristais de biotita e/ou anfibólio, de feldspatos e pelo achatamento do quartzo (Figura 4.10 B, C). A presença de enclaves microgranulares máficos com formas elípticas também marca a foliação magmática secundária  $S_p$ . A atitude desta superfície é concordante à estruturação regional (N60W/80SW) (Figura 4.11). Em

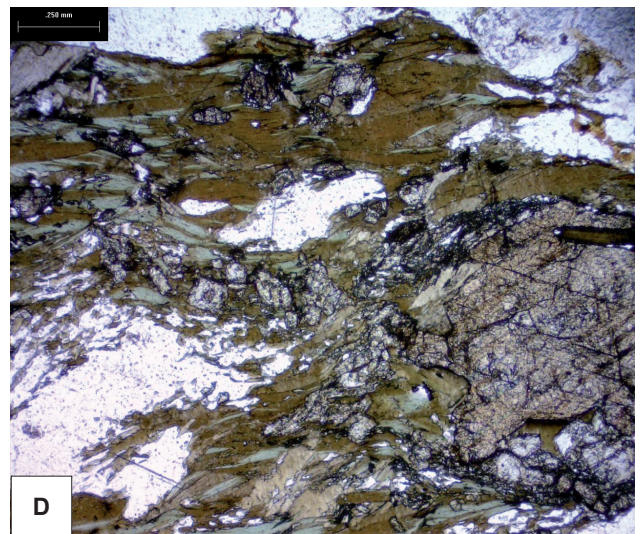
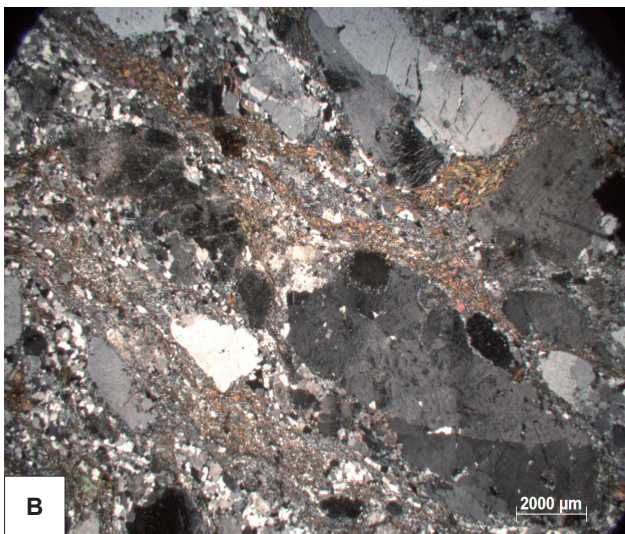
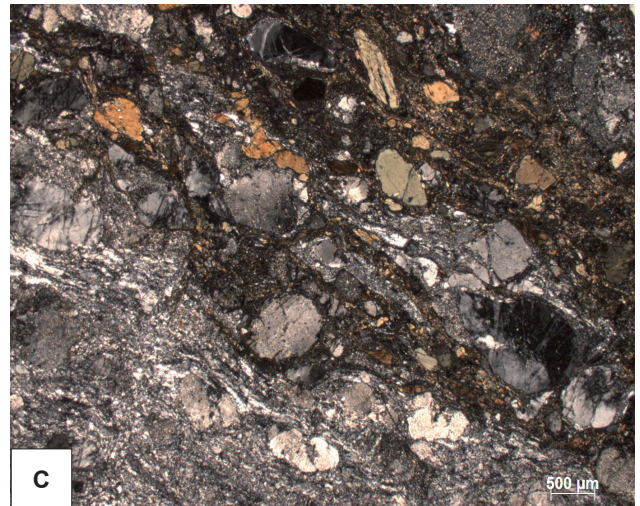


Figura 4.9 - A) Zona milonítica com foliação  $S_m$  em metatonalitos do Complexo Bacajá, sudoeste da Folha Rio Bacajá (Estação FB-148, UTM 448395/9574254). (B) e (C) Fotomicrografias (polarizadores cruzados e polarizadores paralelos) de milonito mostrando matriz fina, agregados de novos grãos de quartzo e cristais de biotita dispostos ao longo da foliação (Estação FB-148). D) Fotomicrografia (polarizadores paralelos) de monzogranito milonítico do norte da área (Estação FB-168, UTM 458098/9609730).



rochas porfíricas com deformação fraca a moderada, os fenocristais podem ter boa orientação preferencial e estar relativamente pouco deformados.

Bandas de cisalhamento, por vezes de natureza conjugada, podem ocorrer de modo concordante à foliação magmática secundária. Nestes locais a deformação é mais intensa e nota-se a tendência para a forte orientação preferencial e mais desenvolvido achatamento de grãos.

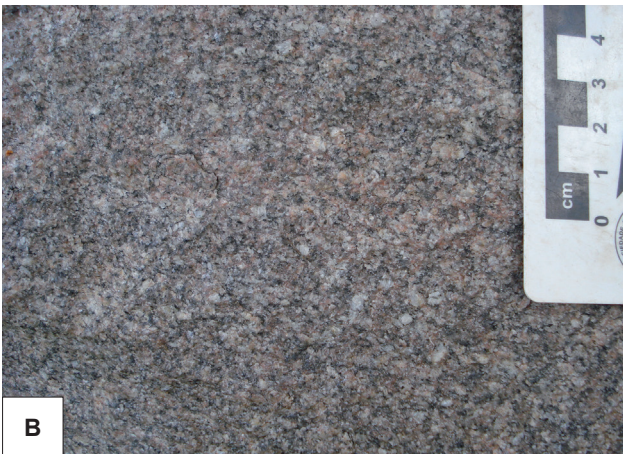


Figura 4.10 - Aspectos texturais e estruturais de rochas granitoides da Suíte Intrusiva Arapari. A) Acamamento primário ( $S_a$ ) sub-horizontal proeminente dobrado no estado magmático (Estação FB-120, UTM 473874 / 9593462). B) Fraca foliação magmática ( $S_p$ ) com componente no estado sólido (Estação FB-61, UTM 494884/9585696). C) Moderada foliação magmática ( $S_p$ ) com componente no estado sólido (Estação FB-83, UTM 499847/9572224).

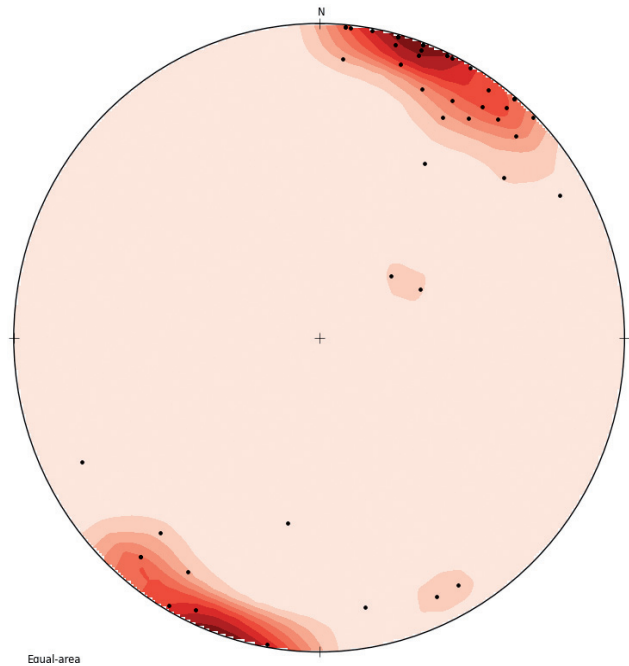


Figura 4.11 - Diagrama de polos com dados de foliação de granitoides ( $N=47$ ) das suítes intrusivas Arapari e João Jorge.

#### 4.7 SUÍTE INTRUSIVA JOÃO JORGE

Nesta unidade os acamamentos magmáticos pronunciados ( $S_a$ ) são marcados por alternâncias de níveis ricos em minerais ferromagnesianos e de níveis ricos em quartzo e feldspatos (Figuras 4.12 A-D). Por vezes alternâncias de porções com tamanhos diferentes de grãos caracterizam este acamamento primário.

As rochas sienograníticas e monzograníticas da Suíte João Jorge (grupo PP2gjjg) apresentam estruturas que se assemelham àquelas das rochas da Suíte Intrusiva Arapari e, em parte, àquelas do Complexo Bacajaí. Algumas rochas podem mostrar uma foliação muito incipiente definida pela orientação preferencial de minerais (Figura 4.13 A).

Níveis descontínuos, algo mais ricos em minerais ferromagnesianos, dispostos paralelamente à orientação preferencial dos minerais resultam em feições do tipo *schlieren*. Estas feições parecem ter resultado da digestão de enclaves máficos pelo magma granítico, atestando baixo contraste de viscosidade entre o magma ácido e o magma básico (Figuras 4.14 A-C). Estes acamamentos  $S_a$  podem ter espaçamento centimétrico e por vezes ser realçado pela presença de vênulas aplíticas paralelas à foliação (Figura 4.13 B).

Nas rochas da Suíte Intrusiva Arapari é comum a coexistência de acamamentos primários com a foliação magmática com componente no estado sólido ( $S_p$ ) (Figuras 4.12 B-D).

Algumas zonas de cisalhamento podem ter atuado como locais que permitiram a entrada de magma residual, resultando em finos veios aplíticos (Figura 4.13 C), atestando neste caso o caráter sin-magmático do cisalhamento.





Figura 4.12 – A a D) Exemplos de acamamento magmático ( $S_a$ ) proeminente em monzogranitos da Suíte Intrusiva João Jorge. Em “D” notar cristal euédrico de plagioclásio no nível cinza escuro, atestando o caráter magmático do acamamento. Nas fotos B, C e D nota-se que a  $S_a$  e  $S_p$  são concordantes. A: Estação FB-31 (UTM 499915/9609080); B e C: Estação FB-47 (UTM 466015/9597464); D: Estação FB 79 (UTM 495245/9574522).

Os sienitos e monzonitos (grupo PP2yjs) são nitidamente menos deformados e entre suas estruturas há foliação sin-magmática  $S_p$ , que varia de incipiente a fraca. Esta foliação  $S_p$  é marcada pela orientação preferencial de cristais grossos e subédricos de microclínio, e pela forma levemente alongada de enclaves microgranulares máficos. Em rochas de granulação mais fina a foliação, muitas vezes incipiente, é marcada pela fraca orientação preferencial de cristais de anfibólio.

#### 4.8 DISCUSSÕES

Tanto nos granitoides arqueanos do Complexo Aruanã como nas unidades magmáticas riacianas há um conjunto de estruturas que podem ser explicadas

por mecanismos atuantes em câmaras magmáticas. Estas estruturas se desenvolveram no curso da cristalização dos magmas intermediários a ácidos das unidades paleoproterozoicas (Bacajá, Arapari e João Jorge) da Folha Rio Bacajá.

Nos granitoides das suítes intrusivas Arapari e João Jorge são descritos acamamentos rítmicos magmáticos e foliação magmática com componente no estado sólido. Esta última é a mais penetrativa na região. Algumas zonas miloníticas teriam se desenvolvido no estágio final da cristalização e colocação dos plútons.

Vários autores têm discutido a origem de estruturas em magmas (BALK, 1937; VIGNERESSE; BARBEY; CUNEY, 1996; BARBEY et al., 2008; BARBEY, 2009) e a relação temporal entre plutonismo e deformação (HUTTON, 1988; PATERSON; VERNON; FOWLER, 1991; PAWLEY; COLLINS, 2002). Mais pre-



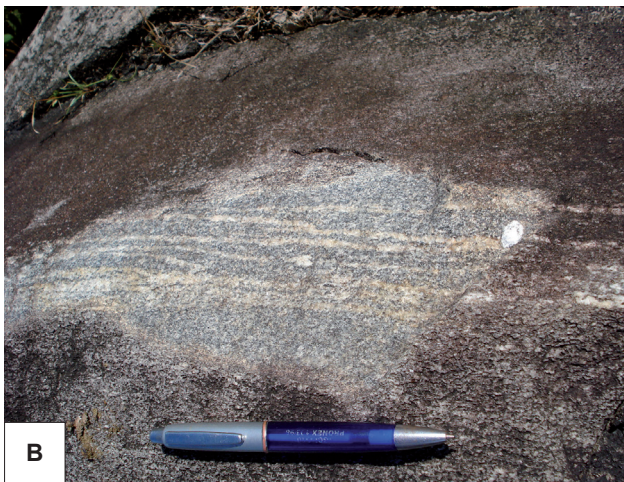


Figura 4.13 - Estruturas em granitos da Suíte Intrusiva João Jorge. A) foliação  $S_p$  fraca (Estação FB-26, UTM 499702/9591720). B) foliação  $S_p$  forte (Estação FB-15, UTM 469744/9600000). C) zona de cisalhamento sin-magmática de movimentação sinistral. Notar presença de aplito no plano do cisalhamento (Estação FB-46, UTM 464702/9597188).

cisamente na Província Transamazonas, os efeitos do estresse regional sobre e as estruturas em magmas têm sido discutidos por vários autores (JOÃO et al., 1987; BARROS et al., 2006; 2007; FARACO et al., 2005; VASQUEZ; MACAMBIRA; GALARZA, 2005; VASQUEZ; MACAMBIRA; ARMSTRONG, 2008).

O desenvolvimento de acamamentos magmáticos tem sido atribuído à interação de efeitos



Figura 4.14 - Foliação em granito porfíritico da Suíte Intrusiva João Jorge. A) Orientação preferencial de fenocristais de microclínio e enclave microgranular máfico. B) Enclave microgranular máfico indicando baixo contraste de viscosidade. C) Acamamento magmático resultante de assimilação de enclave microgranular máfico em meio a granito porfíritico Estação FB-131 (UTM 489667/9606376).

de injeção, fluxo, assimilação/hibridização, processos hidrodinâmicos com cristalização fracionada, deposição gravitacional de cristais, correntes de convecção termal e deformação (BARBEY, 2009). O registro e preservação de estruturas em magmas têm ligação direta com a viscosidade dos magmas. Este comportamento foi determinado experimentalmente e denominado por Arzi (1978) como *limiar*



reológico crítico. Segundo Arzi, magmas com até 30% de líquido possuem viscosidade global semelhante a dos sólidos.

Na Folha Rio Bacajá, os acamamentos são definidos por alternâncias rítmicas de composições diferentes (ex. níveis ricos em ferromagnesianos e níveis ricos em quartzo e feldspatos) e de níveis com granulação diferentes. Em vários afloramentos é nítida a importância de efeitos de assimilação de enclaves microgranulares máficos ou de digestão parcial de xenólitos na formação destes acamamentos.

O paralelismo entre as alternâncias rítmicas e a foliação magmática com componente de estado sólido por um lado indica a contemporaneidade entre magmatismo e deformação e, por outro lado, demonstra a contribuição do estresse no desenvolvimento destas estruturas planares. O acamamento magmático com mergulhos de baixo ângulo sugere uma posição de topo de câmara. Estas estruturas normalmente são dobradas no curso da cristalização para dar origem à foliação magmática com componente de estado sólido. Nas situações em que o acamamento é subvertical, muitas vezes esta superfície

é paralelizada com a foliação magmática com componente de estado sólido. Neste caso as duas superfícies se somam para dar origem a uma estrutura planar proeminente (Figuras 4.15 e 4.16).

Outro critério bastante utilizado para identificar estruturas geradas no curso da cristalização é representado pelos veios aplíticos e pegmatíticos. Muitas vezes, no mesmo afloramento há veios precoces que são dobrados e mais fortemente foliados quando comparados com veios relativamente mais tardios que registraram efeitos menos intensos do estresse regional. Estas feições são comuns nas rochas granitoides da Folha Rio Bacajá.

Na escala microscópica tramas magmáticas são facilmente identificadas e reproduzem, muitas vezes, feições planares observadas na escala mesoscópica. Dentre as feições microscópicas há orientação preferencial de cristais com deformação incipiente a fraca.

Na escala regional, o paralelismo do acamamento litológico regional, da forma alongada das intrusões e das estruturas mesoscópicas (acamamentos, foliação principal, zonas miloníticas) confirma o caráter sin-tectônico dos corpos graníticos da Folha

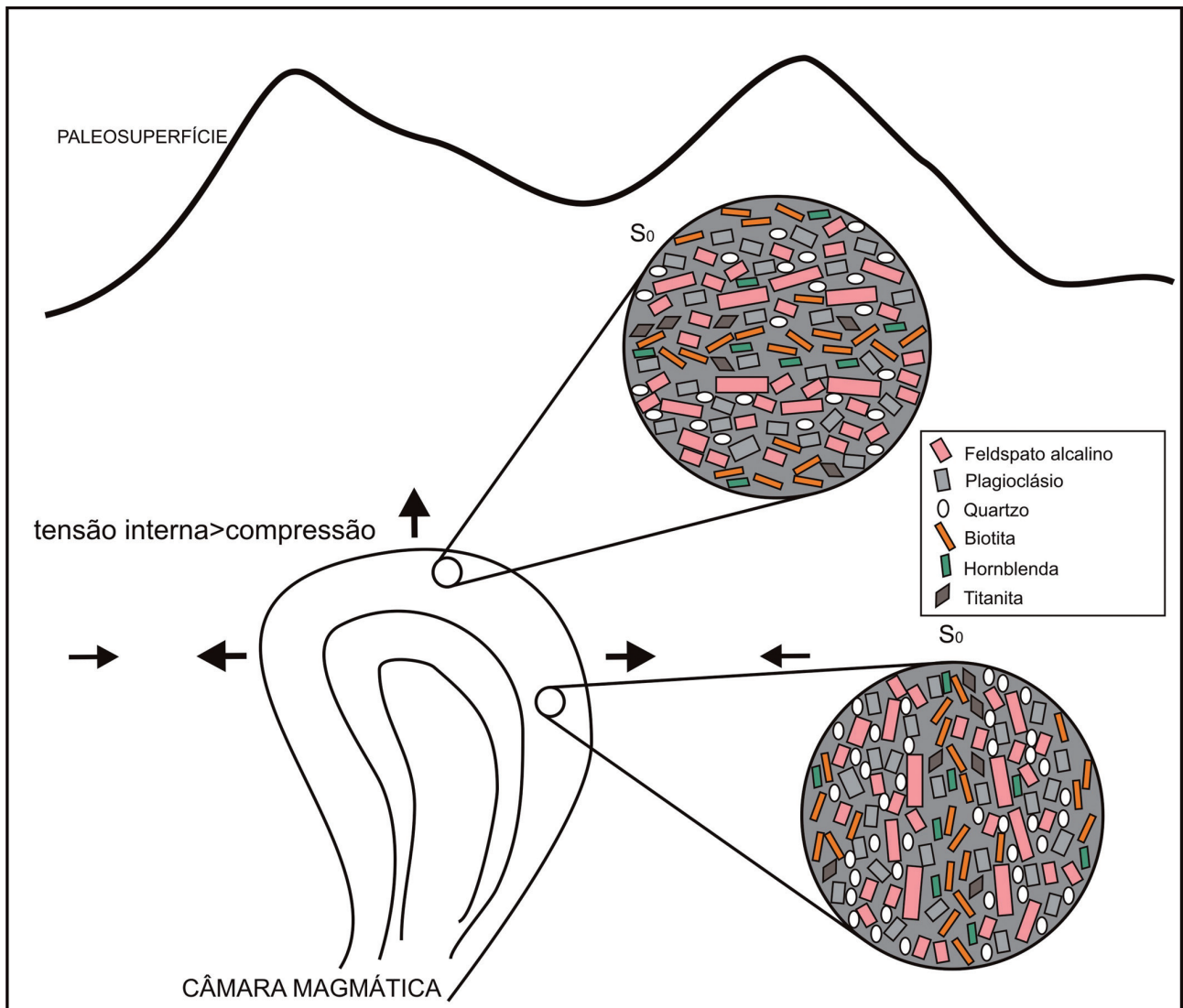


Figura 4.15 – Esquema de formação do acamamento magmático em rochas granitoides da Folha Rio Bacajá (BESSER, 2012).



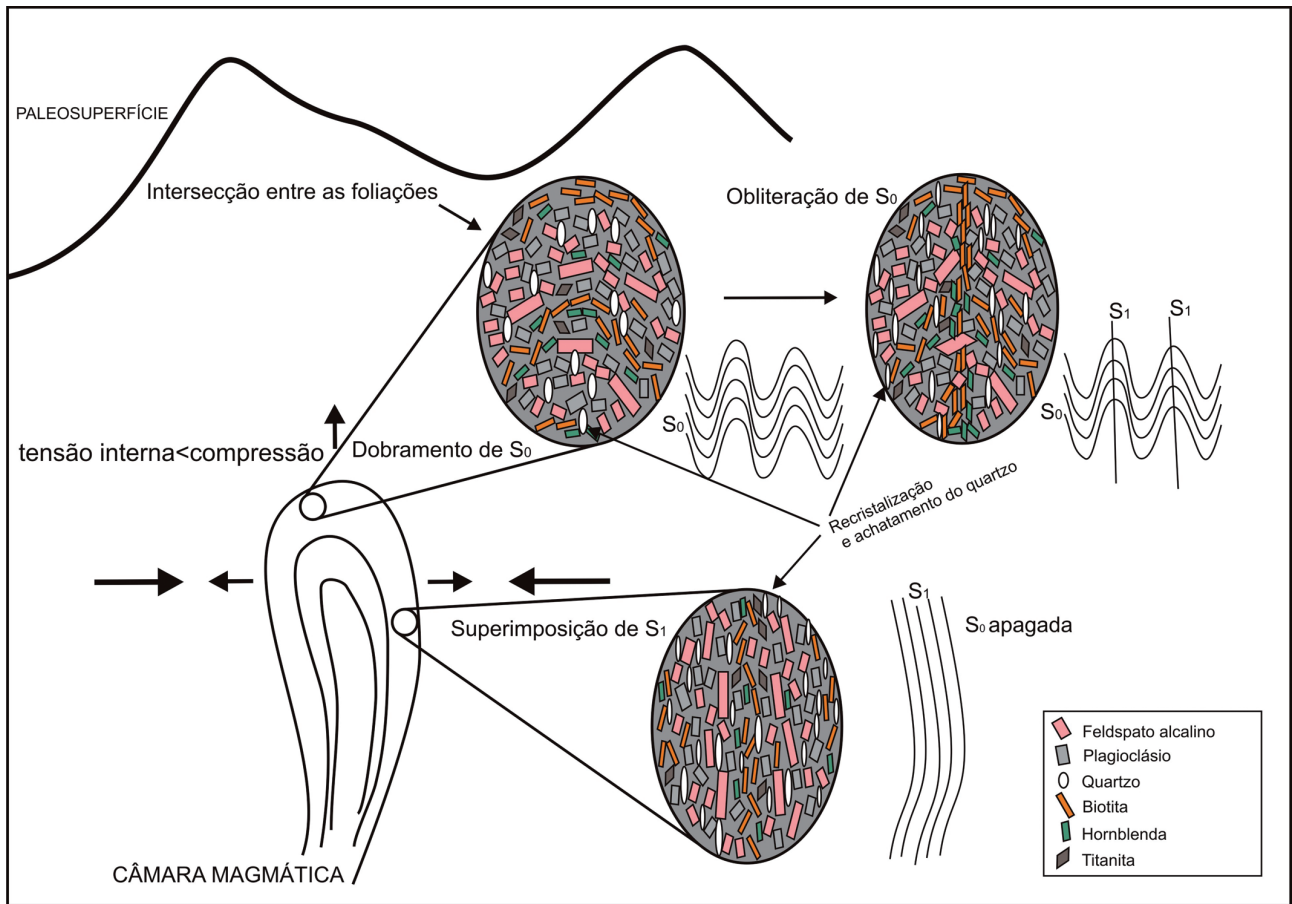


Figura 4.16 – Esquema de formação da foliação principal magmática com componente de estado sólido em rochas granitoides da Folha Rio Bacajá (BESSER, 2012).

Rio Bacajá. Um cenário muito semelhante é observado no Cráton Oeste Africano (PONS et al., 1995; EGAL et al., 2002; GASQUET et al., 2003; DIOH et al., 2006) e no Escudo das Guianas (VANDERHAEGHE et al., 1998; DELOR et al., 2003).

Os dados geoquímicos indicam que o magmatismo intermediário a ácido paleoproterozoico da Folha Rio Bacajá tem características de margem continental ativa. Neste ambiente pode-se esperar o efeito de esforços compressivos durante a ascensão e colocação final de câmaras magmáticas. Logo, parece haver concordância entre as feições estruturais e a assinatura geoquímica das rochas estudadas.

Considerando que o plutonismo riaciano teve longa duração, com a possível sucessão de arcos magmáticos, feições estruturais semelhantes são vistas em granitoides das unidades mais precoces (Bacajá) e das suítes posteriores (Arapari e João Jorge). Mesmo que em alguns locais granitoides precoces tenham sofrido efeitos termais provocados pelas intrusões das suítes Arapari e João Jorge, há em geral preservação das estruturas magmáticas.

#### 4.9 ZONAS MILONÍTICAS

Os metagranitoides e granitoides da Folha Rio Bacajá foram afetados por diversas zonas de cisalhamento dúctil, as quais têm espessuras decimétri-

cas a métricas, aspecto curvilinear, direções WNW, EW e N50E e, na maioria das vezes, possuem mergulhos subverticais. Estas zonas de cisalhamento se distribuem por toda área e geralmente se localizam ao longo de contatos entre unidades litoestratigráficas. Em termos petrográficos são identificados protomilonitos, milonitos e ultramilonitos (Figuras 4.17 A-C). Nos milonitos podem ser descritas as superfícies S, C e C'. Nos ultramilonitos a forte deformação resultou em paralelismo das superfícies S, C e C', e a recristalização dinâmica provocou redução do tamanho dos grãos e escurecimento da rocha, embora numerosos porfiroclastos de feldspatos ainda possam ser vistos.

#### 4.10 ZONA FILONÍTICA

Na parte leste da Folha Rio Bacajá os metagranitoides do Complexo Bacajá e da Suíte Intrusiva Arapari foram afetados por zona filonítica de espessura decamétrica e atitude EW/subvertical. Esta zona se estende para leste em direção à localidade de Bom Jardim, e se distingue pela presença de rochas de cor bege ricas em minerais micáceos e quartzo e fortemente foliadas (filonitos). Estas rochas se formaram em resposta à deformação de granitoides com hidratação associada. Veios de quartzo com formas irregulares e espessuras milimétricas a decimétricas são abundantes em meio aos filonitos.

#### 4.11 ESTRUTURAS RÚPTEIS

Na Folha Rio Bacajá as fraturas têm distribuição moderada. Com o auxílio do diagrama de rosetas (Figura 4.18 A) nota-se uma tendência ao predomínio de fraturas de direção EW e NE, e, subordinadamente, NNW, NN e NE. Por vezes os grani-

toides do sudeste da área são afetados por clivagens de fratura fracamente desenvolvidas, com espaçamento centimétrico a decimétrico e de atitude média N25E/85NW (Figura 4.19).

Nos gnaisses do Complexo Aruanã há falhas N10E/80SE com deslocamento distal de 15 centímetros. Outras falhas de atitude média N40E/70NW mostram deslocamento centimétrico e sentido distal.

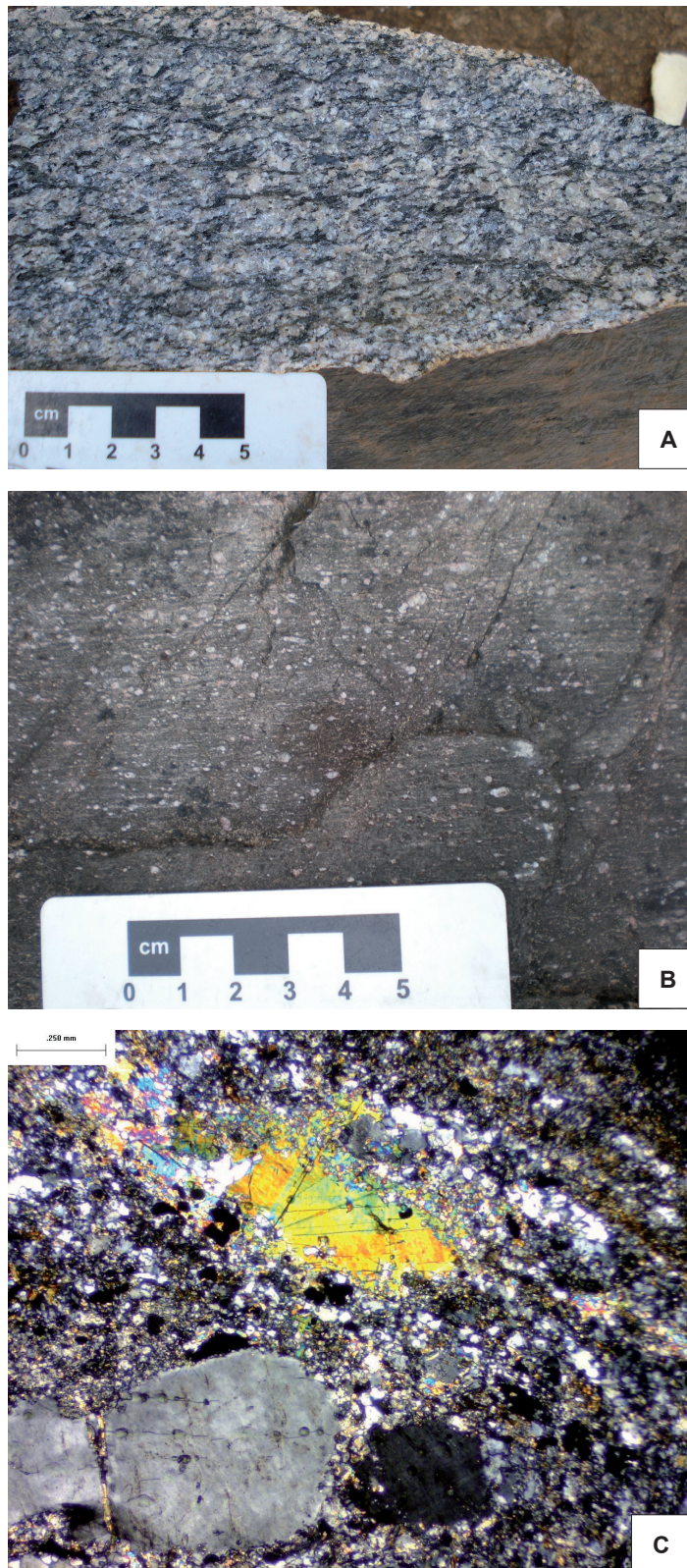


Figura 4.17 - A) Granito milonítico mostrando superfícies S e C (Estação FB-85, UTM 499861/9568304). B) Ultramilonito com porfiroclastos de feldspato (Estação FB-166, UTM 467005/9609594). C) Fotomicrografia de ultramilonito mostrando porfiroclasto de muscovita e microclínio em meio à matriz de novos grãos.



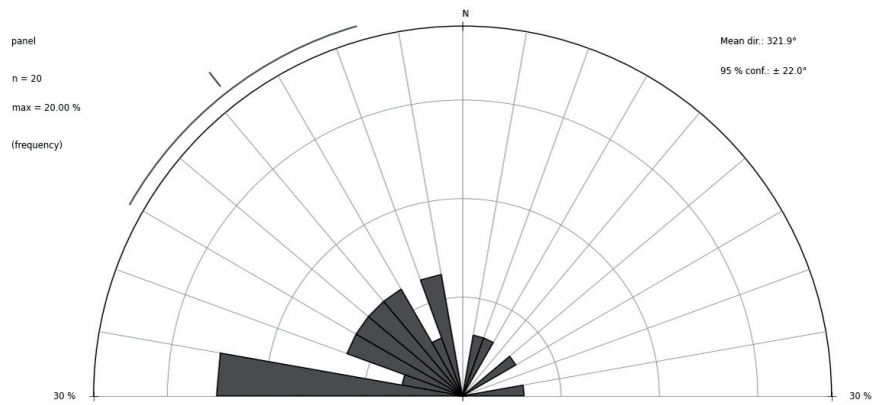


Figura 4.18 - Diagrama de roseta (N=20) com dados de fraturas de rochas granitoides da Folha Rio Bacajá.



Figura 4.19 - Fraturas N25E/85NW em granodiorito da Suíte Intrusiva Arapari, sudeste da Folha Rio Bacajá. Estação FB-79 (UTM 495245/9574522).

## 5 RECURSOS E POTENCIAL MINERAL

### 5.1 RECURSOS MINERAIS

Os principais bens minerais identificados na Folha Rio Bacajá são ouro, granitos para pedras ornamentais e brita, areia, argila e cobre.

**Ouro:** Ocorre em rochas metabásicas da Formação Itatá e em granitoides do Complexo Bacajaí que afloram no leste da área. O ouro se associa à calcopirita e piritita e ocorre em vênulas de espessura milimétrica que preenchem fraturas, falhas, planos de xistosidade e veios de quartzo (Figura 5.1 A-B). A análise química de um tonalito coletado em garimpo situado no leste da área (estação FB-116) apontou para uma concentração de ouro de 296 ppm.

Dados de microscopia eletrônica de varredura com EDS confirmaram a presença de ouro e piritita em metabasaltos da Formação Itatá (estação FB-153) (Figuras 5.2 e 5.3).

**Cobre:** Ocorre na Formação Itatá e em granitoides do Complexo Bacajaí que afloram no leste da área. Na Formação Itatá o cobre é observado na forma de calcopirita. Na Serra das Três Palmeiras, foram feitas sondagens pela companhia CODELCO em 2007. Nas metabásicas da Formação Itatá a calcopirita forma agregados paralelos à foliação, ou em veios de quartzo, ou disseminados. Em anfíbolitos com forte foliação, a calcopirita marca a lineação de estiramento. As rochas metabásicas têm tores de Cu entre 54 e 406 ppm, que se refletem nos dados de microscopia eletrônica de varredura e EDS (Figuras 5.2. e 5.3). Nos granitos, tonalitos e dioritos do leste da área a calcopirita pode ser vista em vênulas de espessura milimétrica associadas aos planos de fratura e de falha, e aos veios de quartzo.

**Rochas ornamentais:** Na Folha Rio Bacajá é comum a presença de grandes lajes de rochas granitoides e ortognaisses (Figura 5.4). A abundância, a grande variedade textural e estrutural, a diversidade de cores, a excelente preservação da alteração intempérica, a presença de domínios de rochas pouco fraturadas e a existência de serras com rocha sã exposta fazem com que a Folha Rio Bacajá possua um potencial altíssimo de aproveitamento para a produção de pedras ornamentais e brita. As

rochas paleoproterozoicas do Domínio Bacajá podem ser consideradas como altamente favoráveis à produção de pedras ornamentais. O grande potencial das rochas ornamentais na Folha Rio Bacajá é mencionado no Atlas de Rochas Ornamentais da Amazônica Brasileira (MELLO; CHIODI FILHO; CHIODI, 2011). Estes autores destacam a Suíte Intrusiva Arapari como uma unidade de forte potencial de aproveitamento. No presente trabalho, porém, pode-se verificar que este potencial existe também para o Complexo Bacajaí, e para a Suíte Intrusiva João Jorge.

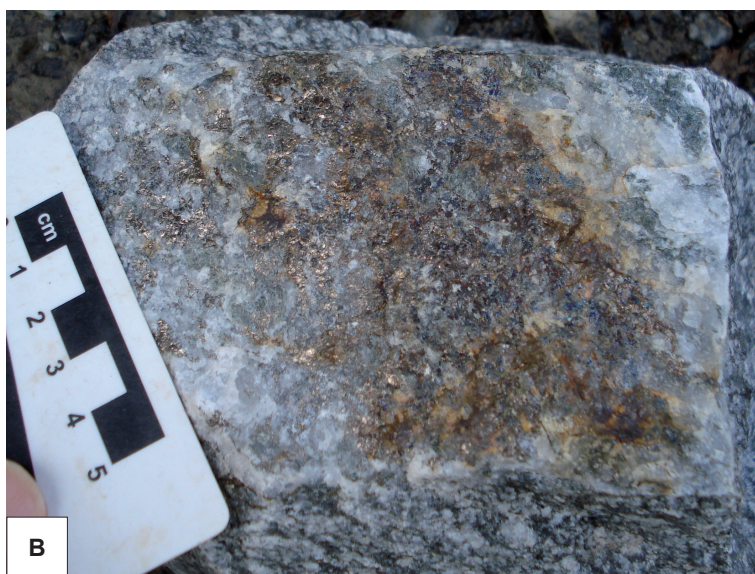
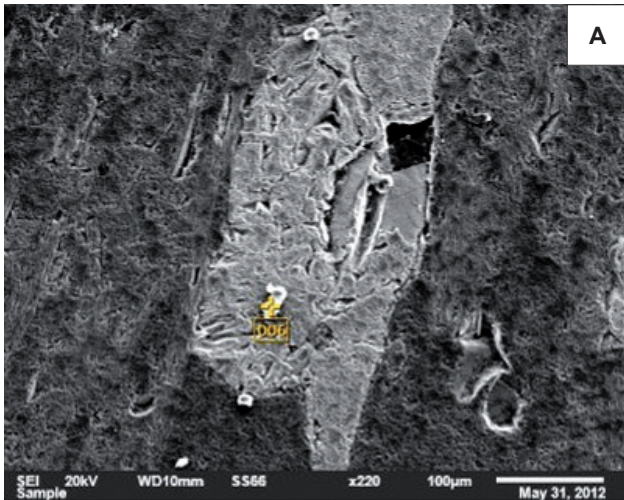


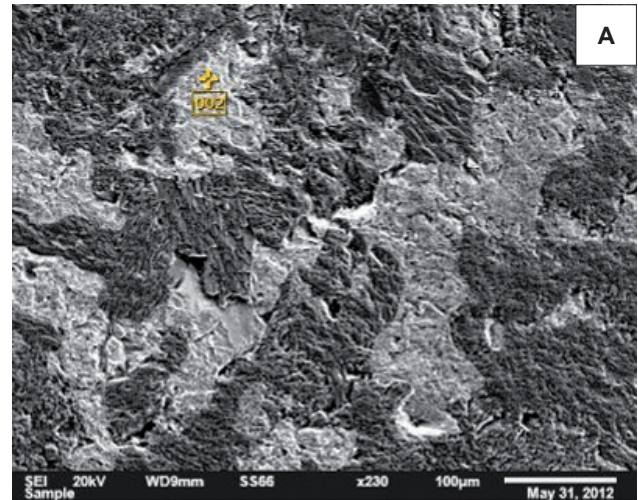
Figura 5.1 - A) Mineração de ouro em granitoides e dioritos (Estação FB-116, UTM 491151/9580022), na parte leste da Folha Rio Bacajá. O material é retirado de galeria subterrânea. B) Amostra de tonalito do ponto FB-116, mostrando fratura com veio de quartzo e calcopirita associada.





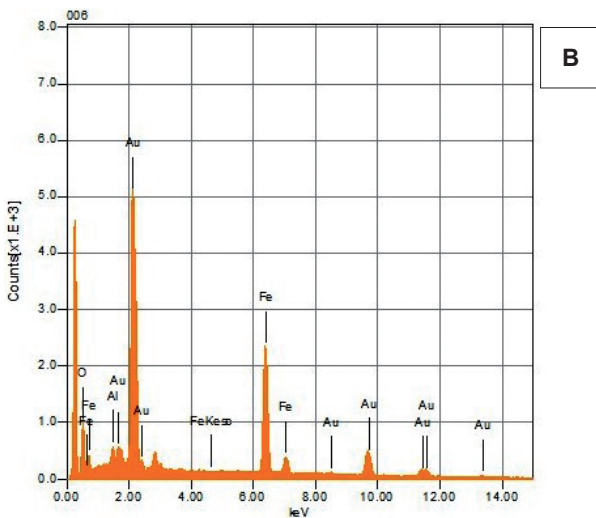
Volt : 20.00 kV  
 Mag. : x 220  
 Date : 2012/05/31  
 Pixel : 640 x 480

Acquisition Condition  
 Instrument : 6010LA  
 Volt : 20.00 kV  
 Current : ---  
 Process Time : T4  
 Live time : 30.00 sec.  
 Real Time : 35.54 sec.  
 DeadTime : 16.00 %  
 Count Rate : 10779.00 C



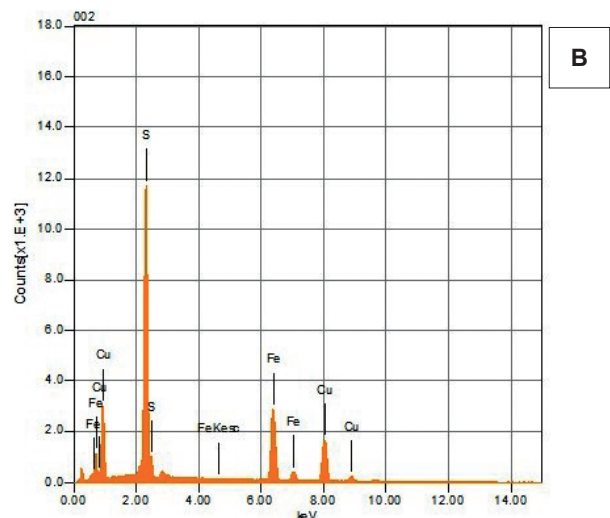
Volt : 20.00 kV  
 Mag. : x 230  
 Date : 2012/05/31  
 Pixel : 640 x 480

Acquisition Condition  
 Instrument : 6010LA  
 Volt : 20.00 kV  
 Current : ---  
 Process Time : T4  
 Live time : 30.00 sec.  
 Real Time : 36.63 sec.  
 DeadTime : 18.00 %  
 Count Rate : 12822.00 C



Chemical formula	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
O	14.32	51.39	0.83	28065	0.0662134	K
Al	1.02	2.17	0.35	11509	0.0053163	K
Fe	29.55	30.38	1.02	162006	0.2809242	K
Au	55.11	16.06	1.21	337945	0.3639949	M
Total	100.00	100.00				

Figura 5.2 – A) Imagem retroespalhada obtida em microscópio eletrônico de varredura. B) Análise por EDS de pirita de anfíbolito da Formação Itatá (Estação FB-153, UTM 444880/9588280).



Chemical formula	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
S	33.83	48.76	0.05	525218	0.3176395	K
Fe	31.16	25.78	0.18	203726	0.3532678	K
Cu	35.01	25.46	0.39	128939	0.3638016	K
Total	100.00	100.00				

Figura 5.3 - A) Imagem retroespalhada obtida em microscópio eletrônico de varredura. B) Análise por EDS de calcopirita de rocha metabásica da Formação Itatá (Estação FB-111, UTM 484893/9578354). A calcopirita está associada à pirita.

**Areia:** Ocorre nas planícies aluvionares de rios menores. Em rios encachoeirados e que possuem maior poder erosivo não há depósitos de areia, os quais tende a se localizar nas margens de rios menores. Não foi identificada nenhuma área em que já seja feita a extração de areia.

**Argila:** Ocorre nos mantos de alteração dos anfíbolitos da Formação Itatá e em planícies aluvionares. São argilas avermelhadas e podem mostrar forte potencial para o fabrico de tijolos e telhas.

## 5.2 POTENCIAL MINERAL

### 5.2.1 Depósitos de sulfeto maciço vulcanogênico (VMS)

O Grupo Três Palmeiras é constituído por metabasaltos e seus correspondentes de metamorfismo de contato de fácies hornblenda hornfels. Os metabasaltos possuem minerais de temperatura de fácies xisto verde, da zona da clorita, tais como anfibólio e



Figura 5.4 - Laje de granitoide na Folha Rio Bacajá (Estação FB-84, UTM 499910/9571328).

actinolita, assim como epidoto e calcita, em reposta à hidratação de piroxênio. Como sugerido nos capítulos anteriores, estas rochas possivelmente representam parte de fundo oceânico, o qual teria sido alçado sob a forma de uma faixa junto a arco magmático precoce.

Quando se compara as descrições de Arndt e Ganino (2012) para as rochas vulcânicas de fundo oceânico, portadoras de depósitos de sulfetos maciços, nota-se grande semelhança com os metabasaltos da Formação Itatá (Grupo Três Palmeiras), os quais podem ser considerados como alvos potenciais para depósitos de sulfeto maciço vulcanogênico (VMS), portadores de cobre, ouro e, subordinadamente, zinco e chumbo.

Velásquez et al. (2011) relatam a presença de ouro em metabasaltos paleoproterozoicos atribuídos a platôs oceânicos, cujas características geoquímicas se assemelham as dos metabasaltos e anfíbolitos da Formação Itatá.

### 5.2.2 Depósitos sedimentares exalativos (SE-DEX)

Considerando que os basaltos toleíticos da Folha Rio Bacajá têm características de basaltos de fundo oceânico, onde depósitos do tipo VMS poderiam ser esperados, pode-se sugerir que rochas sedimentares associadas aos metabasaltos são potencialmente favoráveis para conter depósitos sedimentares exalativos de cobre, chumbo e zinco. Porém, não foram preservadas rochas sedimentares associadas a bacias de ante-arco que poderiam assegurar a presença destes depósitos.

### 5.2.3 Depósitos apicais disseminados (tipo pórfiro)

Os corpos granitoides da Folha Rio Bacajá possuem características petrográficas, estruturais, geoquímicas e isotópicas de arcos magmáticos continen-

tais. Neste ambiente geotectônico são frequentes as mineralizações apicais disseminadas (sistema do tipo pórfiro) de cobre, ouro e molibdênio. A despeito da provável origem profunda dos magmas cálcio-alcálicos de arcos continentais, há nas associações graníticas da Folha Rio Bacajá evidências de colocação final em nível crustal relativamente raso. Entre estas evidências podem ser enumeradas a relativa abundância de mobilizados aplíticos, a presença de pegmatitos quartzo-feldspáticos e a existência de pegmatitos com textura gráfica. Candela (1997) menciona a importância de texturas gráficas como indicadores de super-resfriamento e rápida cristalização em níveis crustais rasos. Nestas condições há redução da capacidade de dissolução das fases fluidas no magma, o que controla a

separação desta fase fluida, a qual permite o transporte de metais.

O fator limitante para este modelo provisional seria a idade paleoproterozoica das rochas granitoides da Folha Rio Bacajá. Como os depósitos do tipo pórfiro são apicais (BIONDI, 1986; ARNDT; GANINO, 2012), é muito provável que os topos das câmaras magmáticas já tenham sido erodidos. Entretanto, alguns exemplos paleoproterozoicos de cobre pórfiro e molibdênio pórfiro podem ser vistos na literatura (SARKAR et al., 1996).

Como mais a oeste, na Província Aurífera do Tapajós, há depósitos apicais disseminados algo mais novos, com idades em torno de 1980 Ma (LAMARÃO; DALL'AGNOL, 2004), pode-se pensar que regionalmente os granitoides de 2,1 Ga poderiam não ter sido extensivamente erodidos.

### 5.2.4 Depósitos de Au orogenético

Na Folha Rio Bacajá há zonas de cisalhamento dúctil de fácies anfíbolito e dúctil-rúptil de fácies xisto verde. Estas zonas possuem largura decamétrica e afetam tanto granitoides como rochas metabásicas. Uma importante zona de cisalhamento dúctil-rúptil passa pela localidade de Bom Jardim, situada a oeste da Folha Rio Bacajá e adentra a área de estudo. Esta zona de cisalhamento, formada em condições de fácies xisto verde, zona da biotita ou da clorita, deu origem a veios de quartzo. A canalização de fluidos ao longo destas zonas de cisalhamento é um mecanismo potencial para originar depósitos de ouro associado aos veios de quartzo.

### 5.2.5 Depósitos de Au em sistemas hidrotermais associados a auréolas de contato

A história metamórfica das rochas metabásicas da Formação Itatá (Grupo Três Palmeiras) envolveu uma fase inicial de metamorfismo de natureza hidrotermal, provavelmente em ambiente de fundo



oceânico. Nas fases de metamorfismo subsequentes houve pelo menos dois importantes pulsos de magmas intermediários a ácidos os quais foram responsáveis pelo metamorfismo de contato sobre as rochas metabásicas. A formação de auréolas de contato desencadeou reações de desidratação e, em consequência, o aumento da pressão de fluidos. A liberação de fluidos poderia controlar a formação de veios, vênulas e fraturas hidráulicas provocadas pelas intrusões graníticas sobre as rochas metabásicas. Ao longo dos veios poderiam se concentrar sulfetos de ouro e cobre.

### 5.2.6 Depósitos de Au associados a *gossans*

Como descritos nos capítulos anteriores, a Serra das Três Palmeiras é sustentada por crostas lateríticas ferruginosas, desenvolvidas sobre os

metabasaltos toleíticos. Estas rochas são potencialmente mineralizadas em ouro. A considerar o clima tropical úmido atuante na região amazônica e o potencial em mineralizações de ouro dos toleítos, a formação destas crostas ferruginosas permite sugerir a presença de depósitos de ouro associado a *gossans*.

### 5.2.7 Água subterrânea

No fim da estação seca, que ocorre geralmente no fim de novembro, algumas áreas ao longo da rodovia Transamazônica e de suas vicinais podem sofrer com a falta de água. O aproveitamento de água subterrânea de aquíferos fraturados pode ser viável em locais da Folha Rio Bacajá, cujas rochas foram afetadas por famílias de fraturas ou por zonas de cisalhamento rúptil, rúptil-dúctil e dúctil-rúptil.

## 6 CONCLUSÕES

A integração dos dados obtidos em campo, com dados petrográficos, geocronológicos e geofísicos contribuiu para o avanço na cartografia geológica da Folha Rio Bacajá.

Este trabalho permitiu confirmar a presença de rochas arqueanas do Complexo Aruanã no nordeste da Folha, pela datação de um monzogranito em  $2586 \pm 5$  Ma. Neste Complexo, foi cartografado um pequeno corpo de rochas metabásicas, denominadas de Anfibolito Armezinho.

O Grupo Três Palmeiras foi individualizado nas formações Itatá e Bacajá. Metabasaltos e anfibolitos foram caracterizados na Formação Itatá, afloram na parte centro sul da Folha Rio Bacajá, sob a forma de um corpo alongado na direção WNW. São quimicamente toleítos comparáveis a basaltos de fundo oceânico. A evolução metamórfica dos metabasaltos e anfibolitos envolveu uma fase de metamorfismo oceânico, seguida de pelo menos dois pulsos de aquecimento, provocados pela intrusão dos magmas das suítes Arapari e João-Jorge. Durante uma das fases de metamorfismo termal, houve deformação associada e causada provavelmente pela expansão lateral na colocação final das câmaras por inflação (*ballooning*). Finalmente estas rochas foram afetadas por uma zona de cisalhamento de direção N50E, de natureza dúctil, e de condições de fácies xisto verde.

Os metagranitoides do Complexo Bacajá se apresentam em corpos normalmente elípticos, alongados na direção NW e WNW. Embora várias estruturas magmáticas (acamamento e foliação magmática com componente de estado sólido) tenham sido preservadas, há evidências de metamorfismo de contato (fácies hornblenda hornfels), causado pelas intrusões riacianas mais jovens. Quimicamente são rochas fracamente peraluminosas, cálcio-alcálicas de médio potássio, comparáveis aos granitoides do tipo I Cordilheirano, de margens continentais ativas. Uma idade de  $2112 \pm 8$  Ma foi obtida em um milonito monzogranítico, com  $T_{DM}$  de 2,31 Ga e valor de  $\epsilon Nd$  de +0,56.

As rochas granitoides da Suíte Intrusiva Arapari compreendem a fase principal da construção do arco magmático paleoproterozoico do Domínio Bacajá. Nesta suíte predominam tonalitos, granodioritos e monzogranitos sin-tectônicos, os quais exibem acamamento ígneo e foliação magmática com componente no estado sólido. São rochas metaluminosas a fracamente peraluminosas, pertencentes à série cálcio-alcálica de médio a alto potássio, comparáveis aos granitoides do tipo I Cordilheirano de margens continentais ativas. Neste trabalho foi obtida uma idade preliminar de 2072  $\pm$  4 Ma, além de idades  $T_{DM}$  de 2,10 a 2,17 Ga, com

valores de  $\epsilon Nd$  de +2,11 a +3,04, que sugerem a participação de fontes mantélicas na geração destes magmas.

A Suíte Intrusiva João Jorge foi subdividida em dois grupos, sendo que um deles é representado por corpos alongados na direção WNW, constituídos por monzogranitos e sienogranitos, e o outro aflora em corpos menores levemente alongados, que englobam sienitos, álcali-feldspato sienitos e quartzo monzonitos com foliação incipiente. Estas rochas possuem assinatura shoshonítica e sua colocação seria controlada por anisotropias estruturais pré-existentes. Um sienito datado forneceu idade de cristalização de  $2076 \pm 2$  Ma. Os dados isotópicos Sm-Nd indicaram idade modelo  $T_{DM}$  de 2,21 Ga e um valor de  $\epsilon Nd$  de +1,51, sugerindo participação mantélica na formação do magma.

O conjunto de granitoides cálcio-alcálicos da Folha Rio Bacajá reflete a construção de arcos magmáticos sucessivos ao longo de cerca de 50 Ma. Os granitoides mais precoces teriam sido aquecidos pela intrusão dos plútons posteriores.

O magmatismo mesozoico é marcado pela presença de diques básicos do Diabásio Rio Pajeú. A cartografia destes diques, baseada em dados aeromagnetométricos e em dados de campo, permitiu mostrar a predominância das direções NE e NNE.

Na Folha Rio Bacajá o potencial para ouro foi comprovado em um garimpo de ouro, mas também há áreas potenciais para exploração de rochas para pedra ornamental e brita, areia, argila e cobre. As unidades da Folha Rio Bacajá têm potencial metalogenético para conter depósitos de Cu, Au, Zn e Pb do tipo VMS e de Cu, Pb e Zn do tipo SEDEX associados às rochas do Grupo Três Palmeiras; depósitos apicais disseminados de Cu, Au e Mo associados aos granitoides cálcio-alcálicos; depósitos orogênicos de ouro associados às zonas de cisalhamento; depósitos de ouro associados a sistemas hidrotermais de auréolas de contato, e depósitos de ouro em gossans. A presença de aquíferos fraturados também pode ser viável na Folha Rio Bacajá.

Estudos posteriores poderiam enfocar na prospecção mineral através de coleta de sedimentos de corrente para a prospecção de cobre e ouro.

Foi observado que a distinção de corpos graníticos com semelhanças petrográficas e estruturais não é uma tarefa simples. Adensar o número de datações geocronológicas das rochas granitoides contribuiria sobremaneira para a cartografia das unidades granitoides e distinção dos diferentes pulsos magmáticos.

Datações Ar-Ar em minerais de zonas miloníticas poderiam auxiliar na melhor compreensão da evolução estrutural da Folha Rio Bacajá, e permiti-



riam distinguir milonitos associados ao final da colocação de plútons sin-tectônicos, de zonas miloníticas de escape lateral posteriores ao resfriamento das câmaras magmáticas.

# REFERÊNCIAS

- ARNDT, Nicholas; GANINO, Clément. **Metals and Society: an Introduction to economic Geology**. Springer, 2012. 162 p. (Springer Geochemistry/Mineralogy, v. 2)
- ARTH, Joseph G.; BARKER, Fred. Rare-earth partitioning between hornblende and dacitic liquid and implications for the genesis of trondhjemitic-tonalitic magmas, **Geology**, v. 4, p. 534-536, 1976.
- ARZI, Avner Arie. Critical phenomena in the rheology of partially melted rocks. **Tectonophysics**, v. 44, p.173-184, 1978.
- BALK, Robert. **Structural behaviour of igneous rocks: with special Reference to interpretations**. Geological Society of America, 1937. 177 p.
- BARBEY, Pierre. Layering and schlieren in granitoids: a record of interactions between magma emplacement, crystallization and deformation in growing plutons. **Geologica Belgica**, v.12, n. 2-4, p.109-133, 2009.
- BARBEY, Pierre et al. Igneous banding, schlieren and mafic enclaves in calc-alkaline granites: The Budduso pluton (Sardinia). **Lithos**, v.104, p.147-163, 2008.
- BARROS, Carlos Eduardo de Mesquita; BARBEY, Pierre; COSTA JR., Pedro Roberto. Venulação e fraturamento hidráulico em rochas metabásicas encaixantes do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás. In: KLEIN, Evandro Luiz; VASQUEZ, Marcelo Lacerda; ROSA-COSTA, Lucia Travassos da (Ed.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG-Núcleo Norte, 2002.
- BARROS, Carlos Eduardo de Mesquita et al. Estruturas sinmagmáticas e idade de zircão de granitos (evaporação de Pb) paleoproterozoicos da parte leste do domínio Bacajá, Província Maroni-Itacaiúnas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 293-304, 2007.
- BARROS, Carlos Eduardo de Mesquita et al. The syntectonic Paleoproterozoic calc-alkaline granitoids from the Maroni-Itacaiúnas Province, Northern Brazil. In: SYMPOSIUM ON MAGMATISM, CRUSTAL EVOLUTION AND METALLOGENESIS OF AMAZONIAN CRATON, 6-9, Aug. 2006, Belém, PA. **Abstracts volume and field trips guide...** Belém, PA: UFPA/PRONEX; SBG: Núcleo Norte, 2006. 150 p.
- CANDELA, P. A. A review of shallow, ore-related granites: textures, volatiles, and ore metals. **Journal of Petrology**, v.38, p. 1619-1633, 1997.
- CORDANI, U. G. et al. Crustal Evolution of the Southern American Platform. In: CORDANI, U.G. et al. **Tectonic Evolution of South America**, Rio de Janeiro, 2000, p. 1-40.
- BESSER, Marcell Leonard. **Petrologia das rochas granitoides da folha Rio Bacajá, Província Maroni-Itacaiúnas**. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BIONDI, João Carlos. **Depósito de minerais metálicos de filiação magmática**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1986. 604 p. V. 1.
- CARNEIRO, Cleyton de Carvalho. **Modelagem espacial de dados aerogeofísicos e interpretação de imagens SAR aplicados ao mapeamento geológico e metalogenético da região central do Domínio Bacajá, Estado do Pará**. 147 f. 2010. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- CARNEIRO, Cleyton de Carvalho et al. Semiautomated geological mapping using self-organizing maps in airborne geophysics in the Brazilian Amazon. **Geophysics**, v. 77, n. 4, p. K17-K24, 2012.
- CARVALHO, Bruna Borges; JANASI, Valdecir de Assis; HENRIQUE-PINTO, Renato. Geochemical and Sr–Nd–Pb isotope constraints on the petrogenesis of the K-rich Pedra Branca Syenite: Implications for the Neoproterozoic post-collisional magmatism in SE Brazil. **Lithos**, v. 205, p. 39-59, 2014.
- CATTEL, A. C.; TAYLOR, Rex N. Archaean basic magmas. In: HALL, R. P; HUGHES, D. J. **Early Precambrian basic magmatism**. Glasgow: Blackie e Son Limited, 1990. 486 p.
- CESARE, Bernardo. Synmetamorphic veining: origin of andalusite-bearing veins in the Vedrette di Ries contact aureole, Eastern Alps, Italy. **Journal of metamorphic Geology**, v. 12, p. 643-653, 1994.
- COSTA, Antônio Gilberto. **Rochas ígneas e metamórficas: texturas e estruturas**. Belo Horizonte: UFMG, 2013. 193 p.
- DAVIS, George H.; REYNOLDS; Stephen J. **Structural geology of Rocks and Regions**. California: John Wiley, 1996.
- DELOR, Claude et al. Transamazonian crustal growth and reworking as revealed by the 1:500.000-scale geological map of French Guiana (2nd edition). **Géologie de la France**, n. 2-3-4, p. 5-57, 2003.
- DIOH, Edmond et al. Diversity of the Palaeoproterozoic granitoids of the Kédougou inlier (eastern Sénégal): Petrographical and geochemical constraints. **Journal of African Earth Sciences**, v. 44, p. 351-371, 2006.
- DONNELLY, Kathleen E. et al. Origin of enriched ocean ridge basalts and implications for mantle dyna-



- mics. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 226, p. 347-366, 2004.
- DUTROW, Barbara; NORTON, Denis. Evolution of fluid pressure and fracture propagation during contact metamorphism. **Journal of metamorphic Geology**, v. 13, n. 6, p. 677-687, 1995.
- EGAL, Emmanuel et al. Late Eburnean granitization and tectonics along the western and northwestern margin of the Archean Kénéma-Man domain (Guinea, West African Craton). **Precambrian Research**, v. 117, p. 57-84, 2002.
- FARACO, Maria Telma Lins et al. Levantamento geológico da região ao norte da Província Carajás. In: HORBE, Adriana Maria Coimbra; SOUZA, Valmir da Silva (Coord.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG - NO, 2005. v.4. p. 32-43.
- FOWLER, Mike et al. Petrogenesis of high Ba–Sr plutons from the Northern Highlands Terrane of the British Caledonian Province. **Lithos**, v. 105, p.129–148, 2008.
- FROST, B. Ronald et al. A geochemical classification for granitic rocks. **Journal of Petrology**, v. 42, n. 11, p. 2033-2048, 2001.
- GASQUET, Dominique et al. Structure, Sr-Nd isotope geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the granitoids of the Dabakala area (Côte d'Ivoire): evidence for a 2.3 Ga crustal growth event in the Palaeoproterozoic of West Africa? **Precambrian Research**, v. 127, p. 329-354, 2003.
- HANSON, Brooks. Effects of fluid production on fluid flow during regional and contact metamorphism. **Journal of metamorphic Geology**, v.10, p. 87-97, 1992.
- HORBE, Adriana Maria et al. A laterização da gênese das superfícies de aplainamento da região de Presidente Figueiredo Balbina, nordeste do Amazonas. In: REIS, Nelson Joaquim; MONTEIRO, Marcos Antonio Soares. **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém: SBG -Núcleo Norte, 2001. v. II. p. 146-176.
- HURLEY, P. M. et al. Test of continental drift by comparison of radiometric ages. **Science**, v. 157, n. 3788, p. 495-500, 1967.
- HUTTON, Donald H. W. Granite emplacement mechanisms and tectonic controls: inference from deformation studies. **Philosophical Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, v. 79, p. 245-255, 1988.
- IRVINE, Thomas Neil; BARAGAR, William Archer Robertson. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 8, p. 523-546, 1971.
- ISSLER, R. S. et al. Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha SA. 22 - Belém**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, il. p. 1/3–1/60. (Levantamentos de recursos naturais, 5), 1974.
- JOÃO, Xafi da Silva Jorge; VALE, Armínio Gonçalves; LOBATO, Tomaz de Aquino Massoud (Org.). **Altamira, folha SA.22-Y-D**: texto explicativo. Estado do Pará. Brasília: CPRM, 1987. Escala 1:250.000. 31 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.
- KAMENETSKY, Vadim S. et al. Enriched End-member of Primitive MORB Melts: Petrology and Geochemistry of Glasses from Macquarie Island (SW Pacific). **Journal of Petrology**, v. 41, n. 3, p. 411-430, 2000.
- LAMARÃO, Cláudio Nery; DALL'AGNOL, Roberto. Química mineral de anfibólios e biotitas e condições de cristalização de granitóides Paleoproterozóicos da região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 1, p. 95-108, 2004.
- LAMEYRE, Jean; BOWDEN, Peter. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. **Journal of Volcanology Geothermal Research**, v. 14, p. 169–186, 1982.
- LE MAITRE, Roger Walter et al. **Igneous rocks**: a classification and glossary of terms. 2nd ed. New York, USA: Cambridge University Press, 2004.
- MACAMBIRA, Edésio Maria Buenano; RICCI, Paulo dos Santos Freire. Aspectos geoquímicos do Diabásio Rio Pajeú – Enxame de diques no sudeste do Cráton Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 13., 09-14 out. 2011, Gramado/RS. **Anais...** Gramado RS: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2011. p. 685-688.
- MACAMBIRA, Edesio Maria Buenano; RICCI, Paulo dos Santos Freire. Geologia e recursos minerais da Folha Tucuruí SA.22-Z-C, Estado do Pará, Escala: 1:250.000. Belém: CPRM, 2014. 122 p.
- MACAMBIRA, Moacir José Buenano et al. New isotope evidences confirming the existence of a Paleoproterozoic terrain in the region at the north of the Carajas Mineral Province. In: SIMPOSIO SUL-AMERICANO DE GEOLOGÍA ISOTÓPICA, 4., Salvador, 2003. **Short Papers...**, 2003. v.1, p. 235-236.
- MACAMBIRA, Moacir José Buenano et al. Crustal growth of the central-eastern Paleoproterozoic domain, SW Amazonian craton: Juvenile accretion vs. reworking. **Journal of South America Sciences**, v. 27, p. 235-246, 2009.
- MACAMBIRA, Moacir José Buenano et al. Investigação do Limite Arqueano-Paleoproterozóico ao Norte da Província de Carajás, Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 17 - 22 out. 2004, Araxá. **Anais...**: Recursos Minerais e Desenvolvimento Socioeconômico. Araxá, MG: SBG. Núcleo Minas Gerais, 2004. 1 CD-ROM.
- MACAMBIRA, Moacir José Buenano et al. Novos dados geológicos e geocronológicos para a região ao norte da

- Província de Carajás; evidências para o estabelecimento do limite Arqueano-Paleoproterozóico no sudeste do Cráton Amazônico. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 4-9 nov. 2001, Belém, PA. **Resumos expandidos...**: verticalização mineral na Amazônia. Belém: SBG - Núcleo Norte, 2001. 1 CD-ROM.
- MACKENZIE, W. S.; DONALDSON, Colin Henry; GUILFORD, Cyril. **Atlas of igneous rocks and their textures**. 2. ed. London: Pearson, 1982. 148 p
- MARTIN, Hervé. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. **Lithos**, v. 46, p. 411-429, 1999.
- MARTIN, Hervé; MOYEN, Jean-François. Secular changes in tonalite-trondhjemite-granodiorite composition as markers of the progressive cooling of Earth. **Geology**, v. 30, n. 4, p. 319-322, 2002.
- MELLO, Ivan; CHIODI FILHO, Cid; CHIODI, Denize K. **Atlas de rochas ornamentais da Amazônia brasileira**. São Paulo: CPRM, 2011. 301 p.
- MIYASHIRO, Akiho. Volcanic rocks series in island arc and active continental margins. **American Journal of Science**, v. 274, p. 321-355, 1974.
- MONTEIRO, Pablo Condurú. **Investigação do limite entre domínios geocronológicos da região do médio rio Xingu, sudeste do Cráton Amazônico**. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, 2006.
- MOYEN, Jean-François. High Sr/Y and La/Yb ratios: The meaning of the "adakitic signature". **Lithos**, v.112, p. 556-574, 2009.
- MULLEN, Ellen D. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implication for petrogenesis. **Earth Planetary Science Letters**, v. 62, p. 53-62, 1983.
- PAWLEY, Mark J.; COLLINS, William J. The development of contrasting structures during the cooling and crystallization of a syn-kinematic pluton. **Journal of Structural Geology**, v. 24, p. 469-483, 2002.
- PATERSON, Scott R.; VERNON, Ron H.; FOWLER, Jr. Tony. Kenneth. Aureole systematics In Ribbe, P.H. **Reviews in Mineralogy: Contact Metamorphism**, v. 26, p. 673-722, 1991.
- PEARCE, Julian A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. **Lithos**, v. 100, p. 14-48, 2008.
- PEARCE, Julian A.; CANN, Joe R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 19, p. 290-300, 1973.
- PEARCE, Julian A.; HARRIS, Nigel, B.W.; TINDLE, Andrew G. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. **Journal of Petrology**, v. 25, part 4, p. 956-983, 1984.
- PEARCE, Julian A.; NORR, Michael J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb. Variations in volcanic rocks. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 69, p. 33-37, 1979.
- PENG, Touping et al. Late Neoproterozoic potassic high Ba-Sr granites in the Taishan granite-greenstone terrane: petrogenesis and implications for continental crustal evolution. **Chemical Geology**, v. 344, p. 23-41, 2013.
- PERICO, Edimar. **Análise Estrutural da Província Maroni-Itacaiúnas e da Bacia do Amazonas na Região de Altamira (PA)**. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- PONS, José et al. Mechanism of pluton emplacement and structural evolution of a 2.1 Ga juvenile continental crust: The Birimian of southwestern Niger. **Precambrian Research**, v. 70, p. 281-301, 1995.
- RICCI, Paulo dos Santos Freire; COSTA Expedito Jorge de Souza. Orogenic charnockitoids previously mapped as granulitic basement of the Bacajá Terrane (Eastern-Central Pará). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 17 - 22 out. 2004, Araxá. **Anais...**: Recursos Minerais e Desenvolvimento Socioeconômico. Araxá, MG: SBG. Núcleo Minas Gerais, 2004. 1 CD-ROM.
- ROLLINSON, Hugh R. **Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation**. Londres: Longman, 1993. 352 p.
- SANTOS, Darcyr Botelho dos et al. Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAM. Folha SB.21 - Tapajós: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1975. il. p. 15-99. (Levantamento de Recursos Naturais, 7).
- SANTOS, João Orestes Schneider. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil Central. In: BIZZI, Luiz Augusto et al. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG**. [Geology, tectonics and mineral resources of Brazil: text, maps and GIS]. Brasília: CPRM, 2003. p. 169-223.
- SANTOS, João Orestes Schneider et al. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. **Gondwana Research**, v. 3, n. 4, p. 453-488, 2000.
- SANTOS, Mário Vital dos et al. Litoestratigrafia das rochas pré-cambrianas na Bacia do médio rio Xingu - Altamira-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. **Resumos**. Belém: SBG, 1988. p. 363-377.
- SARKAR, Subir et al. Nature, origin and evolution of the granitoid-hosted early Proterozoic copper-molybdenum mineralization at Malanjkhand, Central India. **Mineralium Deposita**, v. 31, n. 5, p. 419-431, 1996.
- SCHMITT, Renata da Silva et al. 530 Ma syntectonic syenites and granites in NW Namibia - Their rela-



tion with collision along the junction of the Damará and Kaoko belts. **Gondwana Research**, v. 21, p. 362-377, 2012.

SHAND, Samuel James. **Eruptive rocks**. New York: Hafner Publishing Company, 1969. 488 p.

SILVA, Guilherme Galeão da et al. Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto Radam. Folha SB. 22 - Araguaia e parte da folha SC. 22 - Tocantins**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. il. p. 1/3- 1/143. (Levantamentos de recursos naturais, 4), 1974.

SMITH, T. E. Volcanic rocks of early proterozoic greenschist belts. In: CONDIE, K. C. (Ed.). **Proterozoic crustal evolution**. Amsterdam: Elsevier, 1992. p. 7-54. (Developments in Precambrian geology, 10)

SOUZA, Valmir da Silva; KOTSCHOUBEY, Basile. Geologia e mineralizações auríferas do garimpo do Manelão, região do médio rio Bacajá (PA). In: HORBE, A. M. C.; SOUZA, V. S. (Coord.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Manaus: SBG-Núcleo Norte, v. 4, p.151-163, 2005.

SOUZA, Valmir da Silva; MACAMBIRA, Moacir José Buenano; KOTSCHOUBEY, Basile. Idade de zircão do granito Felício Turvo, garimpo de ouro do Manelão, região do Bacajá (PA): implicações tectônicas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 8. , 9-13 nov. 2003, Manaus, AM. **Resumos expandidos...**: Geologia e desenvolvimento. Manaus: SBG, 2003. 1 CD-ROM.

SUN, Shen-su; MCDONOUGH, William F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. **Geological Society Publication** n. 42, p. 313-345, 1989.

TASSINARI, Colombo Celso Gaeta; MACAMBIRA, Moacir José Buenano. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. **Journal of International Geoscience**, Brazil, v. 22, n. 30, p. 174-182, 1999.

TASSINARI, Colombo Celso Gaeta; MACAMBIRA, Moacir José Buenano. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, Virgínio (Org.) et al. **Geologia do Continente Sul-Americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marque de Almeida. São Paulo: Beca, 2004.

VANDERHAEGHE, Olivier et al. Contrasting mechanism of crustal growth Geodynamic evolution of the Paleoproterozoic granite-greenstone belts of French Guiana. **Precambrian Research**, v. 92, p.165-193, 1998.

VASQUEZ, Marcelo Lacerda. **Geocronologia em zircão, monazita e granada e isótopos de Nd das associações litológicas da porção oeste do Domínio Bacajá**: evolução crustal da porção meridional da Província Maroni-Itacaiúnas – sudeste do Cráton Amazônico. 208 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

VASQUEZ, Marcelo Lacerda; MACAMBIRA, Moacir José Buenano; ARMSTRONG, Richard A. Zircon geochronology of granitoids from western Bacajá domain, southeastern Amazonian craton, Brazil: Neoproterozoic to Orosirian evolution. **Precambrian Research**, v. 161, p. 279-302. 2008.

VASQUEZ, Marcelo Lacerda; MACAMBIRA, Moacir José Buenano; GALARZA, Marco Antonio. Granitóides Transamazônicos da região Irixi-Xingu, Pará – novos dados geológicos e geocronológicos. In: HORBE, Adriana Maria Coimbra; SOUZA, Valmir da Silva (Coord.). **Contribuição à geologia da Amazônia**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas; SBG Núcleo Norte, 2005. v. 4. p. 16-31.

VASQUEZ, Marcelo Lacerda; ROSA-COSTA, Lúcia Travassos da (Org.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará**: texto explicativo. Belém: CPRM, 2008. 328 p.

VELÁSQUEZ, Germán et al. First occurrence of Paleoproterozoic oceanic plateau in the Guiana Shield: The gold-bearing El Callao Formation, Venezuela. **Precambrian Research**, v. 186, p. 181-192, 2011.

VIGNERESSE, Jean Louis; BARBEY, Pierre; CUNEY, Michel. Rheological transitions during partial melting and crystallization with application to felsic magma segregation and transfer. **Journal of Petrology**, v. 37, p. 1579-1600, 1996.

WATERS, Christopher L. et al. Perspective on the Genesis of E-MORB from Chemical and Isotopic Heterogeneity at 9-10°N East Pacific Rise. **Journal of Petrology**, v. 52, n. 3, p. 565-602, 2011.

WILSON, Marjorie. **Igneous petrogenesis**: a global tectonic approach. London: Unwin Hyman, 1989. 466 p.

# **ANEXO**



## SÚMULA DOS DADOS DE PRODUÇÃO

### 1. Geologia

Mapeamento Geológico (km <sup>2</sup> )	2800
Caminhamento Geológico (km)	1300
Afloramentos Estudados	170
Amostras de Rochas Coletadas	160
Recursos Minerais Cadastrados	1
Análises Petrográficas	135
Análises por Microscopia Eletrônica de Varredura	15

### 2. Geofísica

Interpretação de dados aeromagnetométricos (km <sup>2</sup> )	2800
Interpretação de dados aeroradiométricos (km <sup>2</sup> )	2800

### 3. Geoquímica

Amostras de rocha analisadas para elementos maiores e traço	36
---	----

### 4. Geocronologia

Datações Pb-Pb evaporação de zircão	4
Datações Sm-Nd rocha total	5



O Projeto Geologia e Recursos Minerais da Folha Rio Bacajá (SA.22-Y-D-VI), resulta da parceria entre o Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM e a Universidade Federal do Paraná, através do PRONAGEO, contrato CPRM-UFPR N° 071/PR/2009.

O PRONAGEO, programa implementado pela Diretoria de Geologia e Recursos Minerais, visa promover avanços na cartografia geológica básica na escala 1:100.000 em todo território nacional, através da interação entre o SGB/CPRM e universidades brasileiras, representadas por professores/pesquisadores nacionalmente reconhecidos, em geral líderes de grupos de pesquisa, os quais respondem diretamente pela qualidade do trabalho apresentado. Os resultados obtidos através do PRONAGEO têm demonstrado um importante avanço, tanto na cartografia geológica, quanto no estudo da potencialidade mineral em amplas áreas do território nacional.

Este produto resulta de levantamentos e análises de dados geológicos de campo, laboratoriais (geocronológicos, petrográficos, químicos), e da literatura, e de sua integração com dados aerogeofísicos de alta resolução (magnetometria e gamaespectrometria). Acompanha um mapa geológico elaborado em escala 1:100.000, utilizando-se tecnologia de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), sendo, portanto, um produto dinâmico, que permite diversas possibilidades de cruzamento de dados, novas interpretações e atualizações contínuas.

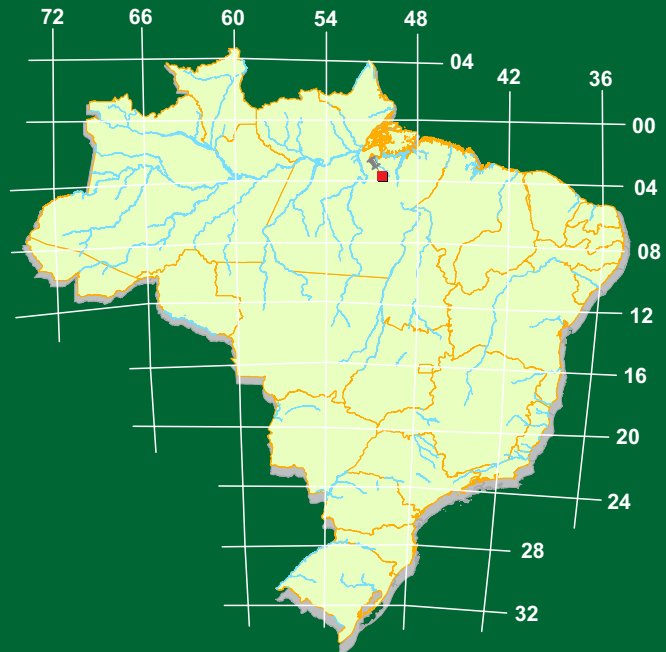
Este projeto deverá auxiliar empresas do setor mineral, pesquisas acadêmicas, e órgãos de planejamento do Governo Federal, e especialmente das esferas estadual e municipal, na medida em que serve como base para estudos geológicos mais detalhados e para o estabelecimento de políticas públicas visando o desenvolvimento regional.

Todos os dados e produtos gerados no Projeto Geologia e Recursos Minerais da Folha Rio Bacajá (SA.22-Y-D-VI) estão hospedados no banco de dados corporativo do SGB/CPRM (GEOBANK), que pode ser acessado pelo portal [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br).

## GEOLOGIA DA FOLHA RIO BACAJÁ\* SA.22-Y-D-VI

Escala: 1:100.000

### ESTADO DO PARÁ



FOLHA RIO BACAJÁ - SA.22-Y-D-VI

\* PARCERIA COM A UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ - UFPR

[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

#### SERVIÇO DE ATENDIMENTO AO USUÁRIO - SEUS

Tel: 21 2295-5997 - Fax: 21 2295-5897  
E-mail: [seus@cprm.gov.br](mailto:seus@cprm.gov.br)

#### OUVIDORIA

Tel: 21 2295-4697 - Fax: 21 2295-0495  
E-mail: [ouvidoria@cprm.gov.br](mailto:ouvidoria@cprm.gov.br)