



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS
GRANITÓIDES ARQUEANOS DA ÁREA DE VILA JUSSARA,
PROVÍNCIA CARAJÁS**

Dissertação apresentada por:

ALICE CUNHA DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol (UFPA)

**BELÉM
2013**

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

Silva, Alice Cunha da

Geologia, petrografia e geoquímica dos granitóides arqueanos da área de vila Jussara, Província Carajás / Alice Cunha da Silva; Orientador: Roberto Dall’Agnol – 2013

Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2013.

1. Geologia estratigráfica – Arqueano. 2. Província Carajás. 3. Subdomínio de Transição. 4. TTG. Granitóide. I. Dall’Agnol, Roberto, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 551.712098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS
GRANITÓIDES ARQUEANOS DA ÁREA DE VILA JUSSARA,
PROVÍNCIA CARAJÁS**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
ALICE CUNHA DA SILVA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

Data da Aprovação: 03 / 12 / 2012

Banca Examinadora:

Prof. ROBERTO DALL'AGNOL
(Orientador – UFPA)

Prof. ELTON LUIZ DANTAS
(Membro – UnB)

Prof. JOSÉ DE ARIMATÉIA COSTA DE ALMEIDA
(Membro – UFPA)

À minha filha Ana Laura.

AGRADECIMENTOS

A Deus;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo;

A Universidade Federal do Pará pela infraestrutura;

Ao Roberto Dall’Agnol pela valorosa orientação, contribuição pessoal e profissional e paciência.

Ao Daniel por sua constante presença;

A minha família e tudo que ela representa;

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitóides (GPPG) pelo companheirismo e inúmeras contribuições. Especialmente a Mayara, Patrick, Ari e Gilmara pelas discussões;

À doutoranda Fabriciana Guimarães pela contribuição, apoio, força e generosidade;

Às minhas amigas Joseanna, Kamilla e Katucha, pela amizade, constante incentivo e força;

Ao Davis pela oportunidade inicial, orientação, apoio e valiosas contribuições;

Aos colegas da Sala 3, Eleilson, Chrystophe, Bhrenno, Pablo, pelo companheirismo, momentos de descontração e ajuda;

À Denise Duarte, secretária do Geociam, por toda assistência prestada;

Aos professores, técnicos e funcionários do Instituto de Geociências;

A todos meus queridos amigos que sempre estiveram ao meu lado. Se eu fosse colocar o nome de todos aqui não caberia. Meu sincero MUITO OBRIGADA.

RESUMO

Mapeamento geológico, seguido de estudos petrográficos e geoquímicos, realizado nas proximidades de Vila Jussara, localidade situada a sul de Canaã dos Carajás, no Subdomínio de Transição da Província Carajás, permitiu avanço expressivo na caracterização de granitóides arqueanos anteriormente englobados no Complexo Xingu. A unidade mais antiga identificada na área possui idade mesoarqueana, é formada por hornblenda-biotita tonalitos e foi denominada de Tonalito São Carlos. Segue-se na estratigrafia, uma associação TTG mesoarqueana tonalítica-trondhjemitica-granodiorítica (Trondhjemitito Colorado) e Leucogranodioritos, distintos daqueles associados aos TTG, ainda sem denominação e idade definida. Além desses, possuem importante distribuição na área estudada corpos granitóides neoarqueanos (ca. 2,74-2,73 Ga.), anteriormente correlacionados à Suíte Planalto e designados informalmente neste trabalho como Granitóides Vila Jussara. Diques máficos seccionam todas as unidades anteriores. O Tonalito São Carlos e Trondhjemitito Colorado foram o alvo principal desta pesquisa, sendo, portanto, discutidos com maior profundidade. Os Leucogranodioritos e os Granitóides Vila Jussara tiveram uma caracterização petrográfica e geoquímica mais sucinta porque são objeto de estudo de outros pesquisadores. O principal objetivo em relação a essas unidades foi verificar sua afinidade petrográfica e geoquímica, e compará-las com as duas unidades tonalíticas estudadas. Isso era particularmente relevante no caso dos Granitóides Vila Jussara porque apresentam termos granodioríticos a tonalíticos passíveis de confusão com as rochas das duas associações tonalíticas. O Tonalito São Carlos possui características peculiares, como foliação de direção NE-SW a N-S, discordante do *trend* regional, e é composto por anfibólio-biotita tonalitos, com marcante recristalização dos cristais de plagioclásio e quartzo. Forneceu idade de ~2,93 Ga. (Pb-Pb por evaporação em zircão; Guimarães em preparação). Geoquimicamente diverge do Trondhjemitito Colorado por ser comparativamente empobrecido em sílica e enriquecido em TiO₂, Fe₂O₃, MgO, CaO e P₂O₅. Possui baixo fracionamento de elementos terras raras (ETR) pesados e anomalias de Eu discretas a ausentes. Suas características não permitem associa-lo com as típicas suítes TTGs arqueanas, tampouco à suíte Sanukitóide Rio Maria. Diverge igualmente do Trondhjemitito Bom Jardim e Suíte Pedra Branca, mas apresenta afinidade geoquímica com as variedades portadoras de anfibólio do Complexo Tonalítico Campina Verde da área de Canaã dos Carajás do Subdomínio de Transição. O Trondhjemitito Colorado possui bandamento composicional e foliação com orientação E-W a NW-SE, localmente N-S, com mergulhos fortes. São rochas bastante homogêneas petrograficamente, formadas por biotita tonalitos/trondhjemitos e,

subordinadamente, granodioritos, compostos essencialmente por quartzo e plagioclásio, tendo biotita e epidoto como principais ferromagnesianos. Mostram intensa recristalização, que afeta principalmente os cristais de plagioclásio e quartzo. Suas características geoquímicas são compatíveis com aquelas dos TTGs arqueanos. Possuem conteúdo relativamente baixo de ferromagnesianos e os ETR mostram sempre marcante fracionamento de ETR pesados (altas razões $[La/Yb]_n$) e, ora anomalias de Eu positivas, ora negativas e muito discretas ou mesmo ausentes. Essa unidade possui idade de 2,87 Ga. (Pb-Pb por evaporação em zircão). Os Leucogranodioritos exibem foliações predominantemente E-W e apresentam biotita, epidoto e muscovita como minerais varietais. Destaca-se o aspecto heterogranular dessa unidade, com fenocristais de plagioclásio e feldspato alcalino em meio a uma fina matriz recristalizada. Essa unidade encontra-se melhor exposta em área imediatamente a leste, onde está sendo estudada em maior detalhe. Dados químicos de suas rochas, indicam um caráter distinto em relação aos granodioritos da associação TTG (Trondhjemitó Colorado). Os Granitóides Vila Jussara são intrusivos no Trondhjemitó Colorado e no Tonalito São Carlos e formam corpos alongados preferencialmente segundo E-W na porção central da área estudada. Os granitos *stricto sensu* dominantes nessa unidade não foram alvo desta pesquisa. Porém, os granodioritos e tonalitos associados foram estudados devido à importância de uma clara separação entre os mesmos e granitóides mesoarqueanos de mesma classificação. Os dados petrográficos e geoquímicos demonstram que os granodioritos e tonalitos associados aos Granitóides Vila Jussara são distintos daqueles presentes no Tonalito São Carlos e Trondhjemitó Colorado. Isso foi corroborado por diversas datações realizadas que confirmaram a idade neoarqueana dos primeiros (2,75 a 2,72 Ga.; Pb-Pb por evaporação em zircão; Guimarães em preparação).

Palavras-chave: Geologia estratigráfica – Arqueano. Província Carajás. Subdomínio de Transição. TTG. Granitóide.

ABSTRACT

Geological mapping, followed by petrographic and geochemical studies, conducted near Vila Jussara, locality situated south of Canaã dos Carajás, in the Transition Subdomain of the Carajás Province, allowed significant advance in the characterization of Archean granitoids previously embraced in the Xingu Complex. The oldest unit identified in the area is a hornblende-biotite tonalite of Mesoarchean age (~2.93 Ga) named São Carlos Tonalite. It is followed stratigraphically by a Mesoarchean (~2.87 Ga) tonalitic-trondhjemitic-granodioritic association (TTG, Colorado Trondhjemite) and by a Leucogranodiorite of undefined age but distinct from those associated with the Colorado Trondhjemite. Additionally, in the study area, Neoproterozoic granitoid bodies (ca. 2.74 to 2.73 Ga, tonalites to granites), previously correlated to Planalto Suite and informally designated here as Vila Jussara Granitoids, were also mapped. Mafic dikes are intrusive in the Archean granitoids. The São Carlos Tonalite and Colorado Trondhjemite constitute the main goal of this research and, therefore, are discussed in more detail. The Leucogranodiorites and the Vila Jussara Granitoids are characterized in a more succinct way because they are being studied by other researchers. In this case, the aim was to make a preliminary characterization of these granitoids and compare them with the two studied tonalitic units. This was particularly relevant in the case of the Vila Jussara Granitoids because they have tonalitic to granodioritic varieties that could be confused with the rocks of the two tonalitic units. The São Carlos Tonalite has a dominant N-S foliation discordant with the E-W regional trend, is composed of amphibole-biotite tonalite, and shows a remarkable recrystallization of plagioclase and quartz. It yielded an age of ~2.93 Ga (Pb-Pb zircon evaporation; Guimarães in preparation) and is depleted in silica and enriched in TiO₂, MgO, Fe₂O₃ and CaO compared to the Colorado Trondhjemite. The São Carlos Tonalite displays relatively low (La/Yb)_n and discrete negative Eu anomalies. Its geochemical characteristics are distinct of those of typical Archean TTG suites, and also of the Rio Maria Sanukitoid Suite. On the other hand, the São Carlos Tonalite show strong geochemical contrast with the Bom Jardim Trondhjemite and Pedra Branca suite and significant analogies with the amphibole-bearing varieties of the Campina Verde tonalitic complex of the Canaã dos Carajás area in the northern part of the Subtransition Subdomain of the Carajás domain. The Colorado Trondhjemite shows compositional banding and E-W to NW-SE or, locally N-S, foliation with strong dips. It is composed of epidote-biotite tonalite/trondhjemite with subordinate granodiorite. Its rocks show intense recrystallization which affected mainly the plagioclase and quartz crystals. Their geochemical characteristics are consistent with those of

typical Archean TTG suites. The heavy REE are strongly fractionated [high (La/Yb)_n] and some samples show positive Eu anomalies and others absence of Eu anomaly or discrete negative Eu anomalies. An age of ~2.87 Ga (Pb-Pb zircon evaporation) was obtained for this granitoid. The Leucogranodiorite exhibit a dominant E-W foliation and, besides quartz and feldspars, have biotite, epidote and muscovite as main minerals. Most rocks are porphyritic with coarse- or medium-grained phenocrysts or phenoclasts of plagioclase and alkali feldspar in a fine-grained recrystallized matrix. This unit is better exposed immediately to the east of the mapped area, where it is being studied in greater detail. Geochemical data of these rocks indicate its distinct character compared to the granodiorites of the TTG association (Colorado Trondhjemite). The Vila Jussara Granitoids are intrusive in São Carlos Tonalite and Colorado Trondhjemite and form E-W elongated bodies in the central part of the study area. Granites (*stricto sensu*) are dominant in this unit which includes also granodiorites and tonalites. The granites were not included as a goal of our study but the latter rocks were studied because of the relevance of a clear separation between them and the studied Mesoarchean granitoids with the same petrographic classification. Petrographic and geochemical data show that the granodiorite and tonalite associated with Vila Jussara Granitoids are distinct from those found in the São Carlos Tonalite and Colorado Trondhjemite. This conclusion was corroborated by several Neoproterozoic ages obtained in representative granodiorites and tonalites of the Vila Jussara granitoids (2.75 to 2.72 Ga, Pb-Pb zircon evaporation; Guimarães in preparation).

Keywords: Stratigraphic geology – Archean. Carajás Province. Transitional Subdomain. TTG. Granitoid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Mapa de localização da área de pesquisa.	3
Figura 1-2 – Modelos de províncias geocronológicas do Cráton Amazônico.	5
Figura 1-3 – Mapa geológico simplificado da Província Carajás.	7
Figura 1-4 – Mapa de amostragem da área de trabalho nas cercanias de Vila Jussara.	25
Figura 2-1 – Mapa geológico da Província Carajás.	32
Figura 2-2 – Mapa geológico da área situada nas cercanias de Vila Jussara, SE do Pará.	38
Figura 2-3 – Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' para as rochas estudadas.	40
Figura 2-4 – Aspectos texturais do Tonalito São Carlos e do Trondhjemitó Colorado.	47
Figura 2-5 – Diagramas de Harker para os óxidos (% em peso) de elementos maiores de amostras representativas do Tonalito São Carlos e Trondhjemitó Colorado.	52
Figura 2-6 – Diagramas de Harker para os elementos traço de amostras representativas do Tonalito São Carlos e Trondhjemitó Colorado.	53
Figura 2-7 – Padrões de ETR de granitóides arqueanos da área de Vila Jussara. a) Tonalito São Carlos, b) e c) Trondhjemitó Colorado.	55
Figura 2-8 – Caracterização geoquímica do Tonalito São Carlos e Trondhjemitó Colorado	57
Figura 2-9 – Diagramas binários para comparação entre os TTGs do Domínio Rio Maria e os estudados. a) Diagrama Yb vs. La/Yb; b) Diagrama Sr/Y vs. La/Yb.	61
Figura 2-10 – Diagramas geoquímicos para comparações entre o Tonalito São Carlos e granitóides arqueanos com anfibólio da Província Carajás.	63
Figura 2-11 – Diagramas de variação para comparação das associações arqueanas de outros crátons com o Tonalito São Carlos e Trondhjemitó Colorado.	65
Figura 3-1 – Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' para os Leucogranodioritos Porfíricos e rochas afins.	75
Figura 3-2 – Aspectos petrográficos dos Leucogranodioritos Porfíricos.	76
Figura 3-3 - Diagramas de Harker para os óxidos (% em peso) de elementos maiores do Leucogranodiorito Porfírico e rochas afins.	79
Figura 3-4 - Diagramas de Harker para os elementos traço das amostras do Leucogranodiorito Porfírico e rochas afins	80
Figura 3-5 – Padrões dos ETR para as rochas do Leucogranodiorito Porfírico.	82
Figura 3-6 - Caracterização geoquímica das rochas estudadas.	83
Figura 3-7 - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' para as rochas associadas aos Granitos Vila Jussara.	88
Figura 3-8 – Aspectos texturais dos tonalitos/granodioritos associados aos Granitos Vila Jussara.	89
Figura 3-9 – Diagramas de Harker para os óxidos dos tonalitos e granodioritos associados aos Granitos Vila Jussara.	92
Figura 3-10 – Diagramas de Harker para os elementos traço dos Tonalitos e Granodioritos Associados aos Granitos Vila Jussara.	93

Figura 3-11 – Padrões de Elementos Terras Raras dos Tonalitos e Granodioritos Associados aos Granitos Vila Jussara. _____ 94

Figura 3-12 - Caracterização geoquímica dos Tonalitos e Granodioritos Associados aos Granitos Vila Jussara. _____ 95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 – Principais dados geocronológicos disponíveis para as rochas do Domínio Rio Maria. _	11
Tabela 1-2 - Principais dados geocronológicos disponíveis para as unidades da Bacia Carajás do Domínio Carajás. _____	14
Tabela 1-3 – Principais dados geocronológicos disponíveis para as rochas do Subdomínio de Transição. _____	21
Tabela 2-1 – Síntese dos dados geocronológicos das associações tonalítico-trondhjêmíticas do Domínio Rio Maria e da região de Canaã dos Carajás do Subdomínio de Transição. _____	34
Tabela 2-2 – Síntese dos principais dados geocronológicos sobre as associações tonalítico-granodioríticas com anfibólio da Província Carajás. _____	34
Tabela 2-3 – Composições modais do Tonalito São Carlos. _____	41
Tabela 2-4 – Composições modais do Trondhjemitó Colorado. _____	42
Tabela 2-5 – Composições químicas do Tonalito São Carlos. _____	50
Tabela 2-6 - Composições químicas do Trondhjemitó Colorado. _____	51
Tabela 3-1 – Composições modais dos Leucogranodioritos Porfíricos e rochas afins. _____	75
Tabela 3-2 – Composições químicas do Leucogranodiorito Porfírico e rochas afins. _____	78
Tabela 3-3 – Composições modais dos granitóides associados aos Granitos Vila Jussara. _____	86
Tabela 3-4 – Composições químicas dos tonalitos e granodioritos associados aos Granitos Vila Jussara. _____	90

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO	1
1.2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	4
1.3. GEOLOGIA DA PROVÍNCIA CARAJÁS	4
1.3.1. Domínio Rio Maria	6
1.3.1.1. <i>Greenstone Belts</i>	7
1.3.1.2. Associações Tonalito-Trondhjemitóide-Granodiorito (TTG)	8
1.3.1.3. Suíte Sanukitóide Rio Maria	9
1.3.1.4. Suíte Guarantã	9
1.3.1.5. Leucogranitos potássicos	10
1.3.2. Domínio Carajás	10
1.3.2.1. Bacia Carajás	12
1.3.2.1.1. <i>Supergrupo Itacaiúnas</i>	12
1.3.2.1.2. <i>Complexo Luanga</i>	13
1.3.2.1.3. <i>Granitos subalcalinos</i>	13
1.3.2.1.4. <i>Formação Águas Claras</i>	14
1.3.2.2. Subdomínio de Transição	15
1.3.2.2.1. <i>Ortogramulito Chicrim-Cateté</i>	15
1.3.2.2.2. <i>Diopsídio-Norito Pium</i>	16
1.3.2.2.3. <i>Complexo Xingu</i>	17
1.3.2.2.4. <i>Tonalito Bacaba</i>	17
1.3.2.2.5. <i>Granito Canaã dos Carajás</i>	17
1.3.2.2.6. <i>Trondhjemitóide Rio Verde</i>	18
1.3.2.2.7. <i>Complexo Tonalítico Campina Verde</i>	18
1.3.2.2.8. <i>Granito Bom Jesus</i>	18
1.3.2.2.9. <i>Granito Cruzadão</i>	19
1.3.2.2.10. <i>Granito Serra Dourada</i>	19
1.3.2.2.11. <i>Suíte Intrusiva Cateté</i>	19
1.3.2.2.12. <i>Suíte Pedra Branca</i>	19
1.3.2.2.13. <i>Suíte Plaquê</i>	20
1.3.2.2.14. <i>Suíte Planalto</i>	20
1.3.3. Magmatismo tipo-A Paleoproterozóico	22
1.4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	22
1.5. OBJETIVOS	23
1.6. MATERIAIS E MÉTODOS	24

1.6.1. Pesquisa Bibliográfica	24
1.6.2. Levantamentos de Campo e Amostragem	24
1.6.3. Petrografia	26
1.6.4. Geoquímica	26
CAPÍTULO 2	27
GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE ASSOCIAÇÕES TONALÍTICAS ARQUEANAS DE VILA JUSSARA, PROVÍNCIA CARAJÁS, PARÁ.	27
RESUMO	27
ABSTRACT	28
INTRODUÇÃO	29
CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	30
GEOCRONOLOGIA DOS GRANITÓIDES ARQUEANOS DA PROVÍNCIA CARAJÁS	31
Granitóides TTG da Província Carajás	31
Biotita-anfibólio-tonalitos/granodioritos da Província Carajás	33
GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA	35
ASPECTOS GERAIS	35
<i>Greenstone belts</i> (Grupo Sapucaia do Supergrupo Andorinhas)	35
Tonalito São Carlos	35
Trondhjemitó Colorado	36
Leucogranodiorito Porfirítico	36
Granitóides Vila Jussara	36
Diques	37
PETROGRAFIA	39
COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO	39
ASPECTOS TEXTURAIS	43
Tonalito São Carlos	43
Trondhjemitó Colorado	44
Enclaves	45
<i>Enclaves anfibolíticos</i>	45
<i>Enclaves tonalíticos</i>	45
MICROESTRUTURAS	46
GEOQUÍMICA	48
ELEMENTOS MAIORES E MENORES	48
ELEMENTOS TRAÇO	49
Elementos terras raras	54
CARACTERIZAÇÃO DA SÉRIE MAGMÁTICA	56
DISCUSSÕES	58
COMPARAÇÕES ENTRE O TONALITO SÃO CARLOS E O TRONDHJEMITO COLORADO	58
COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS TRAÇO E SUAS IMPLICAÇÕES	59
COMPARAÇÕES COM GRANITÓIDES DO DOMÍNIO RIO MARIA, DE CANAÃ DOS CARAJÁS E DE OUTROS CRÁTONS	59
IMPLICAÇÕES PARA EVOLUÇÃO DO SUBDOMÍNIO DE TRANSIÇÃO	65
CONCLUSÕES	66

Agradecimentos	67
REFERÊNCIAS	67
CAPÍTULO 3	73
3. CARACTERIZAÇÃO DOS DEMAIS GRANITÓIDES ARQUEANOS	73
3.1. LEUCOGRANODIORITOS PORFIRÍTICOS E ROCHAS AFINS	73
3.1.1. Petrografia	74
3.1.2. Geoquímica	76
3.1.2.1. Elementos maiores e menores	76
3.1.2.2. Elementos traço	77
3.1.2.3. Elementos terras raras	81
3.1.2.4. Caracterização geoquímica complementar	81
3.2. GRANITÓIDES ASSOCIADOS AOS GRANITOS VILA JUSSARA	83
3.2.1. Petrografia	84
3.2.1.1. Composições modais e classificação	84
3.2.1.2. Aspectos texturais e deformacionais	85
3.2.2. Geoquímica	89
3.2.2.1. Elementos maiores e menores	91
3.2.2.2. Elementos traço	91
3.2.2.3. Elementos terras raras	94
3.2.2.4. Caracterização geoquímica complementar	94
3.2.3. Breve comparação entre os tonalitos e granodioritos associados com o granito Vila Jussara e o Tonalito São Carlos e o Trondhjemito Colorado	96
CAPÍTULO 4	97
4. CONCLUSÕES	97
REFERÊNCIAS	100
ANEXO A – Pontos amostrados, suas coordenadas (UTM) unidades a que pertencem e estudo aos quais foram submetidos.	113

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

A Província Carajás (Vasquez & Rosa-Costa 2008) está situada no sudeste do Cráton Amazônico, representa uma das mais importantes províncias metalogenéticas do mundo e possui idade arqueana. Apresenta aspectos geológicos particulares e diversos problemas ainda sem solução, pois, apesar de terem sido realizados expressivos estudos geológicos, os mesmos são irregularmente distribuídos na província. Esta dissertação foi desenvolvida na região a sul da cidade de Canaã dos Carajás, que está inserida na Província Carajás, no denominado Subdomínio de Transição (Feio 2011), localizado na porção sul do Domínio Carajás e a norte do Domínio Rio Maria (Vasquez & Rosa-Costa 2008).

Na maior parte do Cráton Amazônico e, sobretudo, no Subdomínio de Transição da Província Carajás (PC), predominam mapeamentos geológicos em escalas regionais (1:250.000 ou 1:1.000.000) que permitem uma visão dos grandes traços da geologia regional, mas são insuficientes para uma perfeita individualização das principais unidades e para a compreensão da evolução crustal. Nesse contexto, à medida que estudos de detalhe ou semi-detalhe (escalas 1:100.000 ou 1:50.000 ou maior) são realizados, tem sido identificada na PC uma grande diversidade de unidades, ainda não caracterizadas em termos petrográficos e geoquímicos e, muitas vezes, de idades indefinidas.

Em razão do grande interesse econômico da PC, muitas pesquisas geológicas foram nela desenvolvidas nas últimas décadas, tanto por pesquisadores vinculados à Universidade Federal do Pará e a outras universidades do país, quanto pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e diversas empresas de mineração, com destaque para a Vale. Pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) e do Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) do Instituto de Geociências da UFPA concentraram esforços nos domínios Rio Maria e Carajás e contribuíram para o avanço no conhecimento geológico, petrológico, geoquímico e geocronológico sobre as unidades dessas regiões. No entanto, os estudos sobre o Subdomínio de Transição ainda eram até há poucos anos muito escassos e informações fundamentais a respeito das diferentes rochas granitóides expostas na região situada a sul de Canaã dos Carajás e a norte de Sapucaia ainda não estavam disponíveis. Em consequência, grande parte dos granitóides arqueanos aí ocorrentes não podia ser individualizada e era enquadrada no Complexo Xingu. Esse quadro começou a mudar a partir de esforço concentrado efetuado nos últimos anos por pesquisadores do GPPG, os quais

efetuaram ou estão desenvolvendo mapeamentos geológicos e estudos geoquímicos e geocronológicos sistemáticos nessa região (Oliveira *et al.* 2010, Feio 2011, Feio *et al.* 2012, 2012a, 2012b, Gabriel em prep., Santos, P.J.L. em prep., Guimarães, em prep., Teixeira em prep., entre outros) e também pela retomada do mapeamento geológico em escala 1:100.000 na região por parte da CPRM. A presente dissertação se insere no esforço integrado do GPPG para caracterizar as principais unidades arqueanas e esclarecer a geologia e evolução crustal do Subdomínio de Transição.

A área de pesquisa localiza-se a leste da cidade de Água Azul do Norte e a sul de Canaã dos Carajás (Figura 1-1), no sudeste do Estado do Pará. No centro-leste da área, 30 km a sul da cidade de Canaã dos Carajás, localiza-se Vila Jussara, principal centro urbano local.

Em trabalho anterior, foram identificados nas proximidades de Vila Jussara diversos granitóides arqueanos, enquadrados até então no Complexo Xingu (Silva, A.C. 2010). Dentre esses, se destacam diversas associações tonalítico-granodioríticas arqueanas. Nesta dissertação foram aprofundados o mapeamento geológico e os estudos de petrografia e adquiridos dados geoquímicos desses granitóides, com a finalidade de caracterizá-los de forma mais aprofundada e compará-los entre si e com associações granitóides arqueanas similares dos Domínios Carajás e Rio Maria.

O presente trabalho está vinculado às atividades do GPPG e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Geociências da Amazônia (INCT GEOCIAM), e foi desenvolvido em colaboração com a tese de doutorado de Fabriciana Vieira Guimarães e às dissertações de mestrado de Eleilson Oliveira Gabriel, Pablo José Leite dos Santos, Mayara Fraeda Barbosa Teixeira e Patrick Araújo dos Santos, todos vinculados ao GPPG.

Esta dissertação contém um capítulo introdutório, em que é situado o contexto geológico regional e destacados os principais aspectos geológicos e geocronológicos da Província Carajás, com ênfase nos granitóides arqueanos do Domínio Rio Maria e Subdomínio de Transição. Neste primeiro capítulo também são abordados a problemática, os objetivos e os métodos empregados para desenvolvimento da pesquisa. Os principais resultados obtidos na presente dissertação, relativos à caracterização de duas das principais associações granitóides arqueanas identificadas na área estudada (anfíbólio-biotita tonalitos (Tonalito São Carlos) e tonalito-trondhjemitó-granodiorito (Trondhjemitó Colorado)) são apresentados e discutidos em forma de artigo científico que compõe o Capítulo 2 da presente dissertação e foi submetido à periódico nacional da área de Geociências. No Capítulo 3 é feita uma breve apresentação e caracterização das demais litogias identificadas na área de trabalho e o Capítulo 4 apresenta uma discussão integrada dos resultados obtidos e as conclusões.

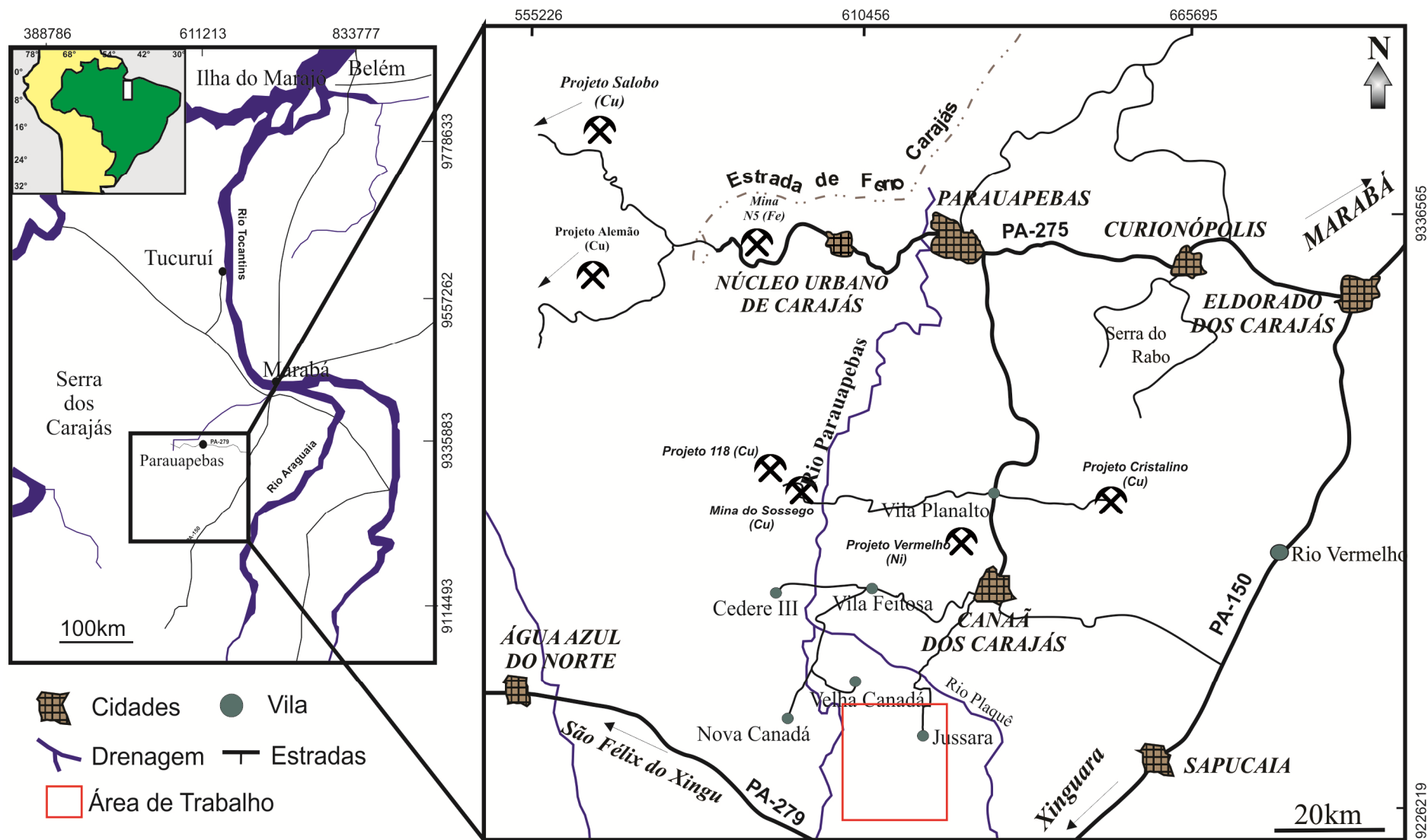


Figura 1-1 - Mapa de Localização da Área de Pesquisa.

1.2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Cráton Amazônico foi formado no Arqueano e Proterozóico e permanece estável desde 1,0 Ga. (Sato & Tassinari 1997). Com base em dados tectônicos e geocronológicos, diversos modelos geotectônicos foram propostos para o Cráton Amazônico (Santos *et al.* 2000, 2006; Tassinari & Macambira 1999, 2004). Tais modelos não apresentam diferenças muito acentuadas, mas divergem nas denominações e nos limites das províncias identificadas em cada um deles. No modelo de Tassinari & Macambira (2004), o cráton é subdividido em seis províncias geocronológicas (Figura 1-2a). O principal segmento arqueano corresponde a Província Amazônia Central, que é dividida em dois blocos tectônicos: Carajás e Xingu-Iricoumé. Já Santos *et al.* (2006) subdividem o cráton em sete províncias geocronológicas, sendo o maior segmento arqueano a Província Carajás, dividida nos Domínios Carajás e Rio Maria (Figura 1-2b). A Província Carajás (Figura 1-3) limita a norte com o Domínio Bacajá, correspondente ao extremo sul da província Maroni-Itacaiunas (Tassinari & Macambira 2004) ou Transamazonas (Santos *et al.* 2000). Neste trabalho, para situar o contexto geológico, será adotado o modelo de Santos *et al.* (2006), também utilizado por Vasquez & Rosa-Costa (2008), no mapa geológico do Estado do Pará.

Excetuando a Província Carajás, idades arqueanas foram obtidas em granitóides expostos na região do Amapá (Rosa-Costa *et al.* 2003, 2006; Rosa-Costa 2006) e Bacajá (Vasquez *et al.* 2008b, Macambira *et al.* 2009). Além disso, dados de isótopos de Nd mostram evidências de crosta arqueana no domínio vulcânico-plutônico que se estende do Xingu à região próxima de Itaituba (Teixeira *et al.* 2002, Lamarão *et al.* 2005).

1.3. GEOLOGIA DA PROVÍNCIA CARAJÁS

A Província Carajás tem como características principais sua idade predominantemente arqueana e aparente ausência de rochas geradas durante o Ciclo Transamazônico. Souza *et al.* (1996) subdividiram a província em dois domínios distintos, denominados de Bacia de Carajás e Rio Maria, o último também chamado de Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM). Esta proposta tem sido fortalecida ao longo do tempo (Santos *et al.* 2006, Dall'Agnol *et al.* 2006) e a existência dos dois domínios mencionados foi reconhecida no recente mapa geológico do estado do Pará (Vasquez *et al.* 2008a), com as denominações Domínio Carajás e Domínio Rio Maria, respectivamente. Araújo & Maia (1991), Araújo *et al.* (1994) e Costa *et al.* (1995) propuseram a denominação de Cinturão de Cisalhamento Itacaiunas para a região a norte do Domínio Rio Maria.

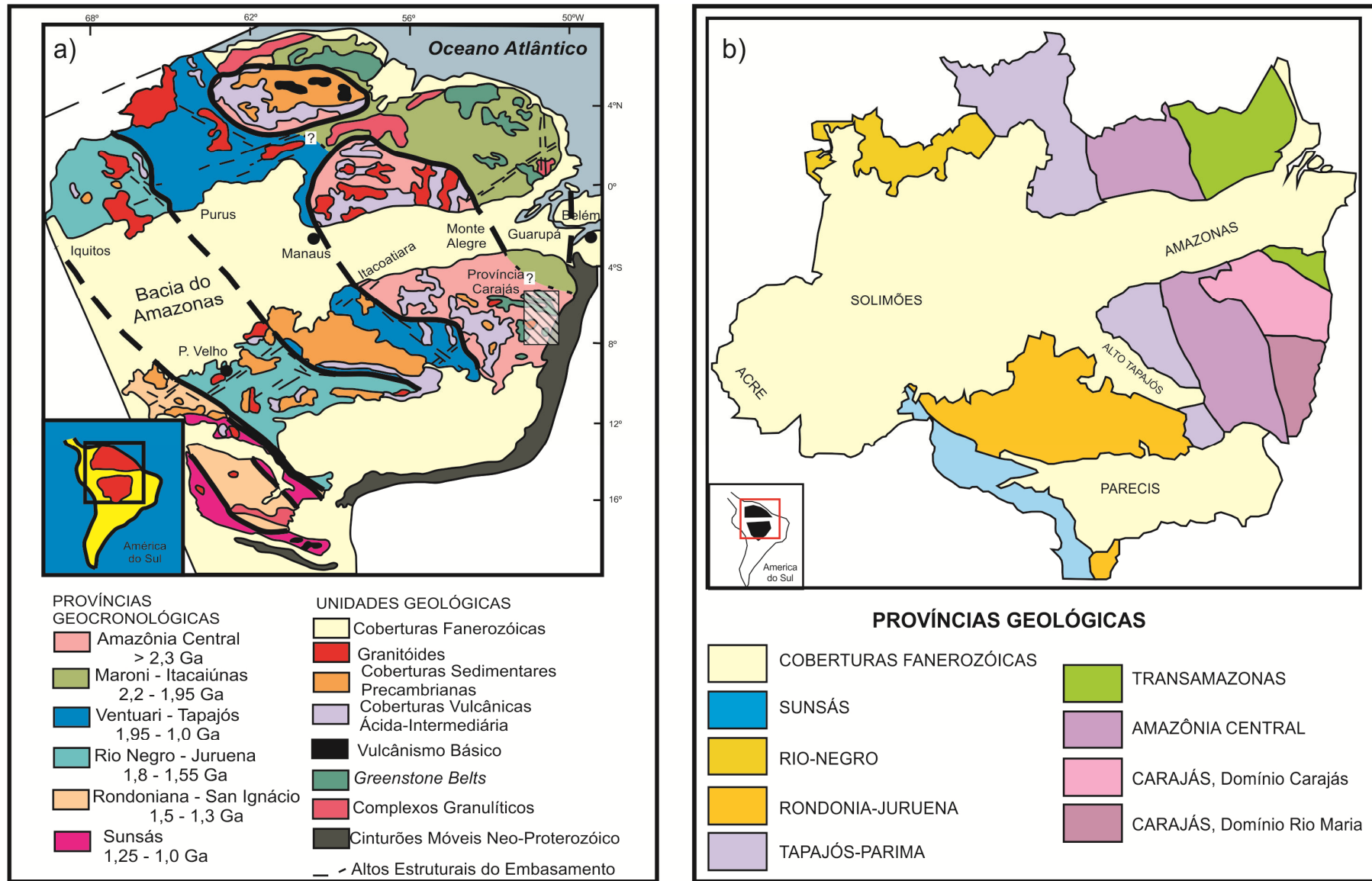


Figura 1-2 – Modelos de províncias geocronológicas do Cráton Amazônico: a) Tassinari & Macambira (2004); b) Santos *et al.* (2006).

Dall'Agnol *et al.* (2000, 2006) admitiram a existência entre a Bacia Carajás e o Domínio Rio Maria de um domínio interpretado como sendo um segmento do Domínio Rio Maria, de idade mesoarqueana, intensamente afetado por eventos magmáticos e tectônicos neoarqueanos atuantes durante a fase compressiva da evolução tectônica da Bacia Carajás. Dall'Agnol *et al.* (2000, 2006) o denominaram de Domínio de Transição, sendo que abrangia a região situada entre o norte de Xinguara e a borda sul da Bacia de Carajás (Figura 1-3). Para evitar maiores confusões na literatura, tendo em vista a subdivisão da Província Carajás em domínio Rio Maria e Carajás (Vasquez *et al.* 2008), Feio (2011) introduziu o termo Subdomínio de Transição. No entanto, para ela, o Subdomínio de Transição não representaria uma simples extensão do Domínio Rio Maria, pois, pelo menos na região de Canaã dos Carajás estudada em detalhe, há evidências de uma evolução distinta daquela do Domínio Rio Maria. Feio *et al.* (2012a) concluíram que a crosta arqueana de Canaã não mostra caráter juvenil e seria muito provavelmente um pouco mais antiga do que aquela do Domínio Rio Maria. As associações granitóides arqueanas abordadas neste trabalho estão situadas no Subdomínio de Transição.

No Paleoproterozóico, toda a Província Carajás foi afetada por um intenso magmatismo anorogênico (Dall'Agnol *et al.* 2005), representado pelas Suítes Jamon no Domínio Rio Maria e Serra dos Carajás no Domínio Carajás. Nas proximidades da mina do Sossego, está exposto o Granito Rio Branco (Santos *et al.* no prelo), representativo deste magmatismo anorogênico, e há outras ocorrências menores já identificadas no Subdomínio de Transição.

1.3.1. Domínio Rio Maria

Esse domínio é composto por *greenstone belts* (Supergrupo Andorinhas) e diversos grupos de granitóides arqueanos (Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001, Leite *et al.* 2004, Dall'Agnol *et al.* 2006, Oliveira *et al.* 2009, Almeida *et al.* 2010, 2011): granitóides da série tonalito-trondhjemitóide-granodiorito (Leite 2001, Dall'Agnol *et al.* 2006, Almeida 2010, Almeida *et al.* 2011, Guimarães *et al.* 2010); granitóides de afinidade sanukitóide de alto Mg da Suíte Rio Maria (Oliveira, M.A. *et al.* 2009, 2010); leucogranodioritos e leucomonzogranitos da Suíte Guarantã (Althoff *et al.* 2000, Almeida *et al.* 2010); e leucogranitos potássicos, representados pelos granitos Xinguara, Mata Surrão e similares (Duarte & Dall'Agnol 1996, Leite 2001, Leite *et al.* 1997, 2004, Almeida *et al.* 2013). Uma síntese dos principais dados geocronológicos das principais unidades do domínio é apresentada na Tabela 1-1.

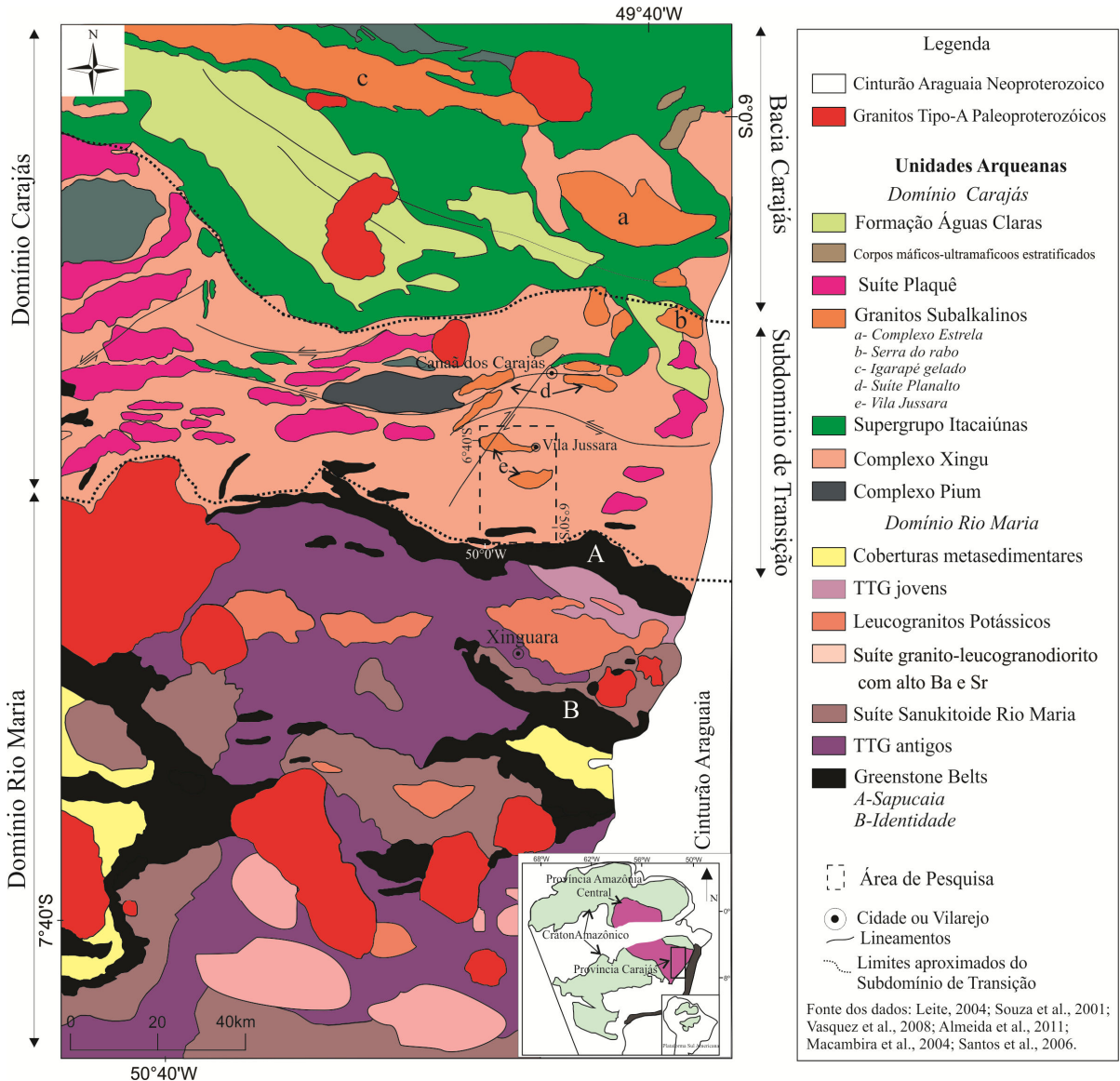


Figura 1-3 – Mapa geológico simplificado da Província Carajás (modificado a partir de Feio 2011). As linhas tracejadas marcam, no centro, o limite entre os domínios Rio Maria e Carajás e, a norte, o limite entre a Bacia Carajás e o Subdomínio de Transição.

1.3.1.1. *Greenstone Belts*

Os *greenstone belts* do Domínio Rio Maria são representados pelas sequências metavulcano-sedimentares de Sapucaia, Identidade, Lagoa Seca, Babaçu, Seringa e Pedra Preta, agrupadas no supergrupo Andorinhas (Huhn *et al.* 1988, DOCEGEO 1988). Vasquez & Rosa-Costa (2008) não utilizam o termo Supergrupo Andorinhas e dividem os *greenstone belts* deste domínio em seis grupos: Gradaús, Serra do Inajá, Lagoa Seca, Babaçu, Sapucaia e Tucumã.

Foram inicialmente descritos por Cordeiro (1982) e Hirata *et al.* (1982), como sendo constituídos por uma unidade basal (Babaçu), composta por espessos derrames de basaltos, com intercalações de talco-xistos, metatufos, metacherts e formações ferríferas bandadas, e

uma superior (Lagoa Seca), formada por metapelitos, metapsamitos e metariodacitos. Datações U-Pb, em zircão, forneceram idades de 2904 ± 22 Ma e 2971 ± 18 Ma (Macambira & Lancelot, 1992) e 2979 ± 5 Ma (Pimentel & Machado, 1994) para as rochas do grupo Lagoa Seca (Tabela 1-1). Os principais estudos geológicos e geoquímicos sobre o Supergrupo Andorinhas foram desenvolvidos por Souza (1994) e Souza *et al.* (1997, 2001).

1.3.1.2. Associações Tonalito-Trondhjemitó-Granodiorito (TTG)

Os granitóides da série TTG possuem ampla ocorrência no domínio Rio Maria, e foram alvo de muitos estudos durante as últimas décadas (Althoff 1996, Macambira & Lancelot 1996, Althoff *et al.* 2000, Leite, 2001, Leite *et al.* 2004, Dall’Agnol *et al.* 2006, Guimarães *et al.* 2010, Almeida *et al.* 2011).

As suítes TTG do Domínio Rio Maria até pouco tempo vinham sendo agrupadas em dois grupos principais: a primeira geração TTG era representada pelo Tonalito Arco Verde (2988 ± 5 Ma e 2948 ± 7 Ma – Macambira 1992; Rolando & Macambira 2002, 2003; Vasquez & Rosa-Costa 2008) e pelo Complexo Tonalítico Caracol (2948 ± 5 Ma a 2924 ± 2 Ma – Leite *et al.* 2004) e a segunda geração, mais jovem, seria constituída pelos Trondhjemitos Mogno ($2871 \pm ?$ Ma – Pimentel & Machado 1994, ou 2857 ± 13 Ma – Macambira *et al.* 2000) e Água Fria (2864 ± 21 Ma – Leite *et al.* 2004). Novos dados geoquímicos e geocronológicos (Guimarães *et al.* 2010, Almeida *et al.* 2011) modificaram substancialmente este cenário (Tabela 1-1). A idade e posição estratigráfica do Trondhjemitó Mogno foram radicalmente modificadas e uma nova unidade TTG, o Tonalito Mariazinha, foi reconhecida. Quatro unidades TTG foram formadas durante o intervalo entre 2,98 e 2,92 Ga. (Tabela 1-1): 1) Tonalito Arco Verde (2,98 – 2,93 Ga.; Macambira & Lafon 1995, Rolando & Macambira 2003, Almeida *et al.* 2011); 2) Trondhjemitó Mogno (~2,96 Ga.; Almeida *et al.* 2011); 3) Complexo Tonalítico Caracol (2,95 – 2,93 Ga.; Leite *et al.* 2004); 4) Tonalito Mariazinha (~2,92 Ga.; Almeida *et al.* 2011), que exibe orientação estrutural NE-SW a N-S, contrastante com o *trend* regional dominante NW-SE a E-W. As unidades TTG mais jovens foram reduzidas substancialmente, restringindo-se atualmente somente ao Trondhjemitó Água Fria (2,86 Ga.; Leite *et al.* 2004).

Almeida *et al.* (2011) distinguiram geoquimicamente três grupos de granitóides TTG no domínio Rio Maria. Esses grupos não têm equivalência direta com os diferentes episódios de geração de TTGs e uma mesma unidade pode ser composta por rochas de diferentes grupos geoquímicos. 1) Grupo com altas razões La/Yb, Sr/Y e Nb/Ta, derivado de magmas gerados a altas pressões (> 1,5 GPa) a partir de fontes com granada e anfibólio residual, representado

principalmente pelo Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha; 2) grupo com moderadas razões La/Yb, englobando magmas gerados a pressões intermediárias (~1,0–1,5 GPa), mas ainda no campo de estabilidade da granada, representado pelo Tonalito Caracol e o Trondhjemito Água Fria; 3) grupo com baixas razões La/Yb, Sr/Y e Nb/Ta, cristalizado a partir de magmas gerados a baixas pressões ($\leq 1,0$ GPa), de fonte anfibolítica com plagioclásio residual, correspondente a maioria das rochas do Tonalito Arco Verde.

As associações TTG do domínio Rio Maria derivaram da fusão parcial de fontes geoquimicamente similares aos metabasaltos do Supergrupo Andorinhas, que foram extraídas do manto no Mesoarqueano (Almeida *et al.* 2011).

1.3.1.3. Suíte Sanukitóide Rio Maria

A suíte sanukitóide Rio Maria é formada principalmente por granodioritos, com monzogranitos e quartzo-dioritos ou quartzo-monzodioritos subordinados, além de rochas acamadadas e enclaves máficos. As diversas datações em rochas desta unidade (Tabela 1-1) forneceram idades similares àquela de 2874 $-9/+10$ Ma obtida em sua área-tipo (Macambira & Lancelot 1996). O Granodiorito Rio Maria apresenta algumas características geoquímicas coincidentes com as das séries cálcio-alcálicas (Medeiros & Dall’Agnol 1988), porém pertence na realidade às séries de granitóides arqueanos ricos em Mg, pois exibe conteúdos relativamente baixos de Al_2O_3 , para as rochas daquela série, além de ser relativamente enriquecido em Ba, Sr, Cr, Ni e terras raras leves (Althoff *et al.* 1995, 2000, Leite 2001, Oliveira, M.A. *et al.* 2009, 2010). Segundo Huhn *et al.* (1988) e Vasques & Rosa-Costa (2008), o Tonalito Parazônia faria parte da segunda geração de TTGs do Domínio Rio Maria. Entretanto, Guimarães *et al.* (submetido) demonstraram que tais rochas possuem afinidade geoquímica com as associações sanukitóides daquele domínio e não com TTGs.

1.3.1.4. Suíte Guarantã

Essa suíte é formada por três plútons (Guarantã, Azulona e Trairão), localizados na região de Pau D’Arco, porção sul do Domínio Rio Maria. Geoquimicamente, as rochas da Suíte Guarantã apresentam razão $K_2O/Na_2O < 1$ e altos conteúdos de Ba e Sr, padrões de Terras Raras com fracionamento expressivo porém variável de ETR pesados em relação aos leves, e, em geral, anomalias de Eu ausentes ou pouco marcantes (Dias 2009, Almeida *et al.* 2010). Tais rochas foram interpretadas como produto de mistura em diferentes proporções de magmas de composição trondhjemítica do tipo TTG e leucogranítica rica em Ba e Sr, derivada de magmas sanukitóides (Almeida *et al.* 2010). As idades de cristalização dessa suíte

(Almeida *et al.* 2013; Tabela 1-1), determinadas pelos métodos de evaporação Pb/Pb em zircão (2864 ± 8 Ma) e LA-MC-ICPMS U-Pb em zircão (2875 ± 8 Ma e 2872 ± 7 Ma), são similares e próximas daquelas da Suíte Rio Maria.

1.3.1.5. Leucogranitos potássicos

Os leucogranitos potássicos fortemente fracionados (Almeida *et al.* 2013) são representados principalmente pelos granitos Xinguara (Leite *et al.* 1997) e Mata Surrão (Duarte *et al.* 1991, Althoff *et al.* 2000), além de pequenos *stocks* graníticos encontrados no Domínio Rio Maria. O Granito Xinguara (Leite 2001, Almeida *et al.* 2013) forneceu idades Pb/Pb em zircão de 2865 ± 1 Ma. Esta idade é similar a do Trondhjemito Água Fria e, somada com evidências de campo, indica que esses dois granitóides são contemporâneos e intrusivos no Complexo Tonalítico Caracol. Uma idade de 2928 ± 2 Ma, obtida pelo método Pb/Pb em zircão, foi interpretada como herdada de sua fonte (Leite *et al.* 2004). O Granito Mata Surrão, intrusivo no Tonalito Arco Verde (Duarte *et al.* 1991, Duarte & Dall'Agnol 1996, Althoff *et al.* 2000), forneceu idade Pb/Pb em rocha total de 2872 ± 10 Ma (Rodrigues *et al.* 1992, Lafon *et al.* 1994) e Pb/Pb em zircão de 2871 ± 7 Ma (Althoff *et al.* 1998).

1.3.2. Domínio Carajás

O Domínio Carajás é subdividido em Bacia Carajás, a norte, e Subdomínio de Transição, a sul (Figura 1-3). Pelo fato de conter muitas das principais jazidas minerais da província, a Bacia Carajás foi alvo de muitos estudos que redundaram em propostas estratigráficas que evoluíram ao longo do tempo (Gibbs *et al.* 1986, Docegeo 1988, Machado *et al.* 1991, Araújo & Maia 1991, Nogueira *et al.* 1995). Embora seu embasamento ainda não esteja bem caracterizado, até mesmo por se encontrar em grande parte recoberto pelas unidades que compõem a bacia, as unidades neoarqueanas que constituem a bacia propriamente dita acham-se razoavelmente bem conhecidas. O quadro é bem distinto no Subdomínio de Transição, cuja litoestratigrafia e magmatismo ainda se encontram muito pobremente definidos.

Tabela 1-1 – Principais dados geocronológicos disponíveis para as rochas do Domínio Rio Maria. Modificada a partir de Almeida *et al.* (2011), Feio (2011) e Vasquez & Rosa-Costa (2008).

Unidade Litoestratigráfica	Idade de Formação (Ma)	Método		
Leucogranitos Potássicos	Granito Mata Surrão	2872±10 ¹	Pb-Pb rt	
	Granito Xinguara	2865±1 ¹¹	Pb-Pb zr	
Suíte Guarantã	Leucogranodioritos-leucogranitos	2871±7 ⁷	Pb-Pb zr	
	Granito Guarantã	2864±8 ¹⁶	Pb-Pb zr	
	Granito Guarantã	2870±16 ¹⁶	U-Pb zr	
	Granodiorito Trairão	2869±12 ¹⁶	U-Pb zr	
Suíte Rio Maria	Granodiorito Rio Maria	2874+9/-10 ³	U-Pb zr	
	Granodiorito Rio Maria	2872±5 ²	U-Pb zr, tit	
	Granodiorito Rio Maria	2877±6 ⁹	Pb-Pb zr	
	Granodiorito Rio Maria (Quartzo-diorito)	2878±4 ⁶	Pb-Pb zr	
	Tonalito Parazônia (Quartzo-diorito)	2876±2 ¹⁵	Pb-Pb zr	
	Tonalito Parazônia (Tonalito)	2858 ²	U-Pb tit	
Associações Tonalito-Trondhjemito-Granodiorito (TTGs)	Trondhjemito Água Fria	2864±21 ¹¹	Pb-Pb zr	
		2843±10? ¹⁴	U-Pb zr	
	Tonalito Mariazinha	2912±5 ¹⁴	U-Pb zr	
		2925±3 ¹⁴ , 2917±5 ¹⁴ , 2924±2 ¹¹	Pb-Pb zr	
		2948±5, 2936±3 ¹¹	Pb-Pb zr	
	Trondhjemito Mogno	2857±13, 2900±21 ¹²	Pb-Pb zr	
		2871±? ²	U-Pb tit	
		2961±2 ¹⁴	Pb-Pb zr	
		2961±16 ¹⁴	U-Pb zr	
		2968±2 ¹⁴	Pb-Pb zr	
		2972±9 ¹⁴	U-Pb zr	
		2959±5, 2959±2 ¹⁴	Pb-Pb zr	
	Tonalito Arco Verde	2964±2 ¹³	Pb-Pb zr	
		2948±7 ¹⁰	Pb-Pb zr	
		2953±8, 2926±2 ¹⁴	Pb-Pb zr	
		2948±4, 2941±5 ¹⁴	U-Pb zr	
		2937±3 ¹⁴	Pb-Pb zr	
		2973±11 ¹⁴	Pb-Pb zr	
	Greenstone Belts	Grupo Tucumã	2868 ± 8 ⁵	Pb-Pb zr
		Grupo Lagoa Seca	2971±18 ³	U-Pb zr
2904+29/-22 ³			U-Pb zr	
2979±5 ²			U-Pb zr	
Grupo Gradaús		3002±3 ⁴	U-Pb zr	
Grupo Babaçu		3046 ± 32 ⁸	Sm-Nd rt	
Grupo Serra do Inajá	2988 ± 4 ¹⁰	U-Pb T zr		

Abreviaturas: T: ID-TIMS; rt: rocha total; tit: titanita; zr: zircão.

Referências: 1 - Rodrigues *et al.* (1992); 2 - Pimentel & Machado (1994); 3 - Macambira & Lancelot (1996); 4 - Althoff *et al.* (1998); 5 - Avelar *et al.* (1999); 6 - Dall'Agnol *et al.* (1999a); 7 - Althoff *et al.* (2000); 8 - Souza *et al.* (2001); 9 - Rolando & Macambira (2002); 10 - Rolando & Macambira (2003); 11 - Leite *et al.* (2004); 12 - Galarza *et al.* (2008); 13 - Vasquez & Rosa-Costa (2008b); 14 - Almeida *et al.* (2011); 15 - Guimarães *et al.* (no prelo); 16 - Almeida *et al.* (2013).

1.3.2.1. Bacia Carajás

A assembleia de embasamento deste subdomínio provavelmente corresponde às unidades que ocorrem na porção norte do Subdomínio de Transição, correspondente à região de Canaã dos Carajás (Feio 2011). Tais unidades serão descritas a seguir no item referente ao Subdomínio de Transição. A principal unidade da bacia (Fig. 3) é o Supergrupo Itacaiúnas (Wirth *et al.* 1986, Docegeo 1988, Machado *et al.* 1991) constituído principalmente por vulcanismo máfico e formações ferríferas. Além dessa unidade, tem-se o magmatismo máfico-ultramáfico do Complexo Luanga (Machado *et al.* 1991) e um grande número de intrusões de granitos subcalinos (Complexo Granítico Estrela, granitos Serra do Rabo, Igarapé Gelado e Velho Salobo – Machado *et al.* 1991, Barros *et al.* 2004, 2009, Sardinha *et al.* 2006), sucedidos por extensa sedimentação (Formação Águas Claras, Nogueira *et al.* 1995).

1.3.2.1.1. Supergrupo Itacaiúnas

O Supergrupo Itacaiúnas (Docegeo 1988) apresenta idades U-Pb em zircão em torno de 2,76 Ga. (Machado *et al.* 1991 – Tabela 1-2). Compõem este supergrupo os grupos Igarapé Salobo, Grão-Pará, Igarapé Bahia, Igarapé Pojuca e Rio Novo. Vasquez & Rosa-Costa (2008) não reconhecem esta megaunidade e descrevem individualmente os grupos inclusos nesta, aos quais foram acrescentados os grupos Aquiri, São Félix e São Sebastião.

As unidades são constituídas, de modo geral, por metabasaltos com proporções variadas de rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas félsicas a intermediárias, além de formações ferríferas bandadas e metassedimentares clásticas. Estas sequencias diferem daquelas do Domínio Rio Maria por serem mais jovens e não terem komatiítos na sua assembleia (Vasquez *et al.* 2008a). A natureza dessas associações metavulcânicas ainda é controversa, sendo interpretadas ora como associações toleíticas geradas em ambientes de *rift* continental (Gibbs *et al.* 1986, Docegeo 1988, Olszewski *et al.* 1989, Oliveira *et al.* 1993, Macambira 2003, Silva *et al.* 2005), ora como séries cálcio-alcálicas geradas em arcos magmáticos (Meirelles e Dardenne 1991, Teixeira 1994, Lindenmayer *et al.* 2005, Lobato *et al.* 2005). Zucchetti (2007) propôs que os metabasaltos do Grupo Grão-Pará possuem características geoquímicas de arco continental, extravasado sobre crosta continental atenuada, em ambiente de retroarco, possuindo, portanto as duas assinaturas.

1.3.2.1.2. *Complexo Luanga*

O Complexo Luanga é representado por rochas ultrabásicas e básicas acamadadas (Medeiros Filho & Meireles 1985), que forneceram idade U-Pb em zircão de 2763 ± 6 Ma, atribuída à cristalização/intrusão desta unidade (Machado *et al.* 1991). Tais corpos seriam derivados de magmas toleííticos relacionados a um arco de ilha neoarqueano (Suíta 1988) ou a *rift* continental (Ferreira Filho *et al.* 2007).

1.3.2.1.3. *Granitos subalcalinos*

No Domínio Carajás, os granitos sintectônicos subalcalinos neoarqueanos são representados pelo Complexo Granítico Estrela, granitos Serra do Rabo, Igarapé Gelado e Velho Salobo.

O Complexo Granítico Estrela (Barros 1997) é formado predominantemente por monzogranitos deformados em regime dúctil (Barros 1991, Barros & Dall’Agnol 1994, Barros *et al.* 1997). Uma idade Pb-Pb, por evaporação de zircão de 2763 ± 7 Ma foi obtida em rocha representativa deste complexo e atribuída à sua cristalização (Barros *et al.* 2001).

Sardinha *et al.* (2006) denominaram de Granito Serra do Rabo, dois stocks sintectônicos, localizados próximo à terminação leste da Falha Carajás, compostos predominantemente por álcali-feldspato-granitos, com sienogranitos subordinados, com idade U-Pb em zircão de 2743 ± 2 Ma (Sardinha *et al.* 2006).

O Granito Igarapé Gelado, individualizado por Barbosa (2004), está localizado no extremo norte do domínio Carajás. É formado por granodioritos e monzogranitos, com tonalitos, leucomonzogranitos e sienogranitos subordinados. A datação desta unidade pelo método Pb-Pb em zircão forneceu uma idade de 2731 ± 26 Ma (Barbosa 2004), a qual foi interpretada como idade mínima de cristalização.

O Granito Velho Salobo, apresenta estruturas planares, quimismo alcalino, levemente sódico, e caráter metaluminoso (Lindenmayer 1990, Lindenmayer *et al.* 1994). Machado *et al.* (1991) obtiveram uma idade (U-Pb em zircão) de 2573 ± 3 Ma para estas rochas. Souza *et al.* (1996) obtiveram uma idade similar pelo método Pb-Pb em rocha total, em granitos situados a sul da área de ocorrência do Granito Velho Salobo, que poderiam representar uma prolongação desse maciço.

Tabela 1-2 - Principais dados geocronológicos disponíveis para as unidades da Bacia Carajás do Domínio Carajás. Modificada a partir de Feio (2011) e Vasquez & Rosa-Costa (2008).

Unidade Litoestratigráfica		Idade de Formação (Ma)	Método	
Cobertura sedimentar	Formação Águas Claras	2778 a 3020 ³	U-Pb T zrd	
		2871 ± 3 a 3048 ± 2 ⁶	U-Pb T zrd	
Granitos subalcalinos	Granito Velho Salobo	2573 ± 2 ²	U-Pb T zr	
	Granito Igarapé Gelado	2731 ± 26 ⁷	Pb-Pb zr	
	Granito Serra do Rabo	2743 ± 1,6 ⁸	U-Pb T zr	
	Complexo Granítico Estrela	2763 ± 7 ⁹	Pb-Pb zr	
Complexo Luanga		2763 ± 6 ²	U-Pb T zr	
Supergrupo Itacaiúnas	Grupo Igarapé Salobo		2761±3, 2555±4/-3 ²	U-Pb zr
			2497±5 ²	U-Pb tit
	Grupo Igarapé Pojuca		2732 ± 3 ²	U-Pb T zr
			2757 ± 81, 2719 ± 80 ¹⁴	Sm-Nd rt
	Grupo Grão-Pará	Formação Carajás	2740 ± 8, 2743 ± 11 ⁵	U-Pb S zr
			2751 ± 4 ¹³	U-Pb T zr
			2757 ± 18 ⁴	Pb-Pb zr
		Formação Parauapebas	2593 ± 260 ¹⁵	Sm-Nd rt
			2759 ± 2 ²	U-Pb T zr
			2758 ± 39 ¹	U-Pb T zr
	Grupo Igarapé Bahia		2760 ± 11, 2757 ± 7 ⁵	U-Pb S zr
			2748±34 ¹⁶	U-Pb S zr
			2747 ± 1, 2745 ± 1 ¹¹	Pb-Pb zr
			2776 ±12, 2758 ±36 ¹¹	Pb-Pb rt
			2765 ±36 ¹¹ , 2751 ± 81 ¹²	Pb-Pb rt
Grupo Rio Novo		2758 ± 75 ¹¹ , 2759 ± 24 ¹²	Sm-Nd rt	
		2658 ± 213 ¹⁰	Sm-Nd rt	

Abreviaturas: S - SHRIMP; T: ID-TIMS; rt: rocha total; zr: zircão; zrd: zircão detrítico.

Referências: 1 – Wirth *et al.* (1986); 2 – Machado *et al.* (1991); 3 – Mougeot *et al.* (1996); 4 – Macambira *et al.* (1996); 5 – Trendall *et al.* (1998); 6 – Macambira *et al.* (2001); 7 – Barbosa (2004); 8 – Sardinha *et al.* (2001); 9 – Barros *et al.* (2001b); 10 – Reis *et al.* (2001); 11 – Galarza (2002); 12 – Santos (2002); 13 – Krymsky *et al.* (2002); 14 – Pimentel *et al.* (2003); 15 – Lobato *et al.* (2005). 16 – Tallarico *et al.* (2005).

1.3.2.1.4. Formação Águas Claras

A Formação Águas Claras é uma cobertura siliciclástica arqueana, não metamorfisada, distribuída amplamente na porção central da estrutura sigmoidal da Serra dos Carajás (Nogueira *et al.* 1995). Foi subdividida em dois membros: 1) Inferior: pelitos, siltitos e arenitos, com características de plataforma marinha; 2) Superior: arenitos, depositados sob condições litorâneas e fluviais. Segundo Soares *et al.* (1994), a Formação Águas Claras é

cortada por vários diques de gabro e comporta vários *sills* de diabásio, com idade de 2,71 Ga. (Mougeot *et al.* 1996) considerada idade mínima de deposição desta formação.

1.3.2.2. Subdomínio de Transição

O Subdomínio de Transição é uma peça chave para o entendimento da evolução da Província Carajás. Embora seja considerado atualmente como parte do Domínio Carajás, essa hipótese não se encontra inteiramente demonstrada, pois ele se situa no limite com o Domínio Rio Maria e já foi interpretado como sendo uma extensão daquele domínio retrabalhada durante o Neoarqueano (Dall’Agnol *et al.* 2006). Porém, a evolução crustal e magmatismo arqueanos da região de Canaã dos Carajás indicam diferenças expressivas com a do Domínio Rio Maria e não fortalecem a hipótese mencionada (Feio *et al.* 2012a). Além disso, a evolução geológica da maior parte do Subdomínio de Transição ainda é pouco conhecida, embora este quadro esteja mudando gradativamente com o avanço dos estudos em desenvolvimento nesta região da província (Oliveira, D.C. *et al.* 2010, Gabriel em prep., Guimarães em prep., Silva, em prep.).

Até então, as seguintes unidades foram identificadas neste subdomínio: Ortogranulito Chicrim-Cateté (Vasquez *et al.* 2008a), Diopsídio-Norito Pium (Hirata *et al.* 1982, Pidgeon *et al.* 2000, Santos *et al.* 2008), Complexo Xingu (Silva *et al.* 1974, Machado *et al.* 1991), Tonalito Bacaba (Moreto *et al.* 2011), Granito Canaã dos Carajás (Gomes 2003, Feio *et al.* 2012a), Trondhjemito Rio Verde, Complexo Tonalítico Campina Verde, granitos Bom Jesus, Cruzadão e Serra Dourada (Feio *et al.* 2012a), Suíte Intrusiva Cateté (Macambira & Vale 1997), Suíte Pedra Branca (Sardinha *et al.* 2004, Gomes & Dall’Agnol 2007, Feio *et al.* 2012a), e pelas Suítes Plaquê (Araújo & Maia 1991, Avelar *et al.* 1999) e Planalto (Huhn *et al.* 1999, Oliveira M. A. 2003, Gomes 2003, Sardinha *et al.* 2004, Vasquez *et al.* 2008a, Oliveira D. C. 2010, Feio *et al.* 2012).

1.3.2.2.1. Ortogranulito Chicrim-Cateté

Conforme sintetizado por Feio (2011, p. 27), o Ortogranulito Chicrim-Cateté foi inicialmente descrito ao longo do rio Cateté por Araújo & Maia (1991) como um ortogranulito, correlacionável ao Complexo Pium. Entretanto, Ricci & Carvalho (2006) e Santos *et al.* (2008) não consideram que o Complexo Pium seja formado por granulitos e sim por rochas ígneas gabróicas. Neste sentido, os granulitos - charnockito a enderbitito - da região entre a Aldeia Indígena Chicrim e rio Cateté seriam considerados os únicos representantes do

embasamento granulítico do Domínio Carajás, denominados por Vasquez *et al.* (2008b) como Ortogranulito Chicrim-Cateté.

1.3.2.2.2. *Diopsídio-Norito Pium*

Além do Ortogranulito Chicrim-Cateté ocorre no Subdomínio de Transição o Diopsídio-Norito Pium (Pidgeon *et al.* 2000, Santos *et al.* 2008, Vasquez *et al.* 2008a) anteriormente designado como Complexo Pium e interpretado como sendo formado por rochas granulíticas (Docegeo 1988). Essa unidade compreende, segundo Feio (2011), gabros, dioritos e variedades com hiperstênio, ricas em quartzo, maciços a foliados, e engloba enclaves de granulitos charnockíticos a enderbíticos, considerados por Ricci (2006) como pertencentes à unidade ortogranulito Chicrim-Cateté.

Existem muitas controvérsias a respeito da idade e significado genético do Ortogranulito Chicrim-Cateté e do Diopsídio-Norito Pium. Conforme sumarizado por Feio (2011, p. 28), “Pidgeon *et al.* (2000) obtiveram idades variadas em uma rocha de composição enderbítica na área-tipo Pium. A idade mais antiga, de 3002 ± 14 Ma, foi interpretada como idade de cristalização do protólito do granulito e a idade mais jovem, de 2859 ± 9 Ma, corresponderia ao metamorfismo granulítico. No entanto, Ricci & Carvalho (2006) argumentam que a rocha datada por Pidgeon *et al.* (2000) seria, na realidade, um xenólito do Ortogranulito Chicrim-Cateté incluso no Diopsídio-Norito Pium. Já Santos *et al.* (2008) concluíram que as ocorrências de rochas noríticas nos domínios do Complexo Pium são mais antigas e possível fonte do ortopiroxênio-quartzo-diorito. Desta forma, a rocha datada por Pidgeon *et al.* (2000) seria possivelmente da variedade quartzo-diorítica, cujos cristais de zircão conservariam em seu núcleo restos de zircão da rocha norítica de idade mais antiga (3,0 Ga.), enquanto suas bordas, com idade de 2,85 Ga., marcariam a idade de geração e cristalização do quartzo-diorito.” Dados mais recentes revelam que tanto os gabros noríticos e hornblenda gabros quanto as rochas tonalíticas, granodioríticas, monzograníticas e sienograníticas associadas aos gabros na principal área de ocorrência do Complexo Pium possuem idades neoarqueanas variáveis entre 2732 ± 1 Ma e 2747 ± 1 Ma (Galarza *et al.* 2012) e Santos R.D. *et al.* (2012) consideram que os gabros, quartzo-gabros e enderbitos do complexo são ligados geneticamente por processos de diferenciação a partir de um mesmo magma ou por diferentes graus de fusão parcial a partir de fonte norítica.

1.3.2.2.3. *Complexo Xingu*

Silva *et al.* (1974) foram os primeiros a utilizar a denominação Complexo Xingu para designar uma associação litológica heterogênea, que incluía granulitos, gnaisses, migmatitos, granitóides diversos, faixas de *greenstone belts* e complexos básicos-ultrabásicos (Cordeiro & Saueressig 1980, Ianhez *et al.* 1980, Medeiros Filho & Meireles 1985, Docegeo 1988).

No entanto, de forma semelhante ao que ocorreu no Domínio Rio Maria (Leite 2001, Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008a) o avanço do conhecimento geológico (Sardinha *et al.* 2004, Feio 2011, Gomes 2003, Oliveira D. C. *et al.* 2010) têm demonstrado que o referido complexo é na realidade formado por diversos corpos de granitóides, passíveis de serem individualizados, o que pode provavelmente levar ao abandono da denominação de Complexo Xingu também no Subdomínio de Transição.

Avelar *et al.* (1999) obtiveram uma idade de 2972 ± 16 Ma (Pb/Pb em zircão) para um gnaisse granodiorítico desta unidade. Machado *et al.* (1991) obtiveram em um possível leucossoma de rochas gnáissicas, idades de 2859 ± 2 e 2860 ± 2 Ma (Tabela 1-3), interpretadas como último episódio de migmatização, afetando este complexo.

1.3.2.2.4. *Tonalito Bacaba*

A rocha encaixante do depósito de Óxido de Fe-Cu-Au (IOCG) de Bacaba, a NW de Canaã dos Carajás, é uma rocha tonalítica foliada de granulação fina, contendo hornblenda e biotita, a qual é intrudida por inúmeros pequenos corpos de rochas máficas. Esse tonalito foi estudado principalmente em furos de sondagem e datado, tendo sido obtidas pelo método U–Pb LA-MC-ICPMS em zircão idades próximas de 3,0 Ga. (Moreto *et al.* 2011; Ver Tabela 1-3). A expressão em superfície desta unidade encontra-se, ainda, mal definida, porém Feio *et al.* (2012a) admitiram que ela se estenderia a partir do alvo Bacaba para oeste.

1.3.2.2.5. *Granito Canaã dos Carajás*

Esta unidade foi descrita originalmente por Gomes (2003) e denominada Granito Canaã dos Carajás por Feio *et al.* (2012a, b). É formada por biotita-monzogranitos fortemente deformados, dobrados e milonitizados mostrando foliação penetrativa E-W com mergulhos verticais. Uma idade de $\sim 2,93$ Ga foi obtida para este granito pelo método Pb/Pb por evaporação em zircão (Sardinha *et al.* 2004). Idades um pouco mais antiga (2959 ± 6 Ma) e mais jovem (2864 ± 12 Ma), fornecidas pelo método U–Pb LA-MC-ICPMS em zircão, foram

interpretadas, respectivamente, como de cristalização da unidade e relacionada a retrabalhamento do granito (Feio *et al.* 2012a).

1.3.2.2.6. *Trondhjemito Rio Verde*

São trondhjemitos homogêneos a bandados, em que camadas de biotita trondhjemito se alternam a camadas de biotita tonalito. Possuem pronunciada foliação E-W a N com mergulhos verticais. Nele estão inclusos *enclaves* métricos de anfibolitos, possivelmente associados aos *greenstone belts*. As rochas do Trondhjemito Rio Verde forneceram idades variadas (Feio *et al.* 2012a) desde 2923 ± 15 (U–Pb LA-MC-ICPMS em zircão) e 2929 ± 3 Ma a 2868 ± 4 Ma (Evaporação de Pb em zircão).

1.3.2.2.7. *Complexo Tonalítico Campina Verde*

Esta unidade ocorre a partir de Vila Planalto para norte em forma de faixa alongada segundo EW. Foi descrita originalmente por Feio *et al.* (2012a) que ressaltaram sua relativa heterogeneidade, sendo constituída por biotita-tonalito a granodiorito com diorito e monzogranitos subordinados e por biotita-hornblenda tonalito com granodioritos e monzogranitos subordinados. Apresenta uma notável foliação magmática orientada em geral próximo de EW. Apresenta idades entre 2,87 a 2,85 Ga. e foi seccionada pelo Granito Serra Dourada (Feio *et al.* 2012a).

1.3.2.2.8. *Granito Bom Jesus*

O Granito Bom Jesus é constituído por biotita-monzogranitos a sienogranitos (Feio *et al.* 2012a, b), com foliação NE-SW a E-W e mergulhos verticais ou para SE ou para S. O Granito Bom Jesus e o Trondhjemito Rio Verde ocorrem intimamente associados, e é muito comum a ocorrência de intercalação entre bandas do granito e do trondhjemito, sugerindo que ambas as unidades foram submetidas a um mesmo evento de deformação dúctil. Forneceu pelo método U–Pb LA-MC-ICPMS em zircão idades muito variáveis e por U–Pb SHRIMP em zircão, uma idade de 2833 ± 6 Ma (intercepto superior), com evidência de zircões herdados datados de 3017 ± 5 Ma e 3074 ± 6 Ma (Feio *et al.* 2012a). No entanto, tais idades não são consistentes com as relações de campo entre o Granito Bom Jesus e o Trondhjemito Rio Verde, que sugerem contemporaneidade entre tais unidades. Há, portanto, necessidade de estudos geocronológicos complementares dessa unidade.

1.3.2.2.9. *Granito Cruzadão*

O Granito Cruzadão (Feio *et al.* 2012a, b) é composto por rochas que variam de biotita-monzogranitos a sienogranitos, com foliação dominante NW-SE a EW. Acha-se localmente associado a hornblenda tonalitos, correlacionados tentativamente ao Complexo Tonalítico Campina Verde. A idade de 2,85 Ga. foi considerada como representativa da cristalização desta unidade (Feio *et al.* 2012a), porém, tal como no Granito Bom Jesus, as idades obtidas por U–Pb LA-MC-ICPMS em zircão se mostraram muito variadas e vários grãos, possivelmente herdados, indicaram idades mais antigas.

1.3.2.2.10. *Granito Serra Dourada*

O Granito Serra Dourada (Feio *et al.* 2012a, b) é um *stock* subcircular de biotita monzogranito intrusivo no Tonalito Bacaba e no Complexo Tonalítico Campina Verde. Encontra-se comparativamente menos deformado que os demais granitóides arqueanos, mas possui localmente foliação E-W vertical e exhibe milonitização ao longo de zonas de cisalhamento. Feio *et al.* (2012a) obtiveram idade de 2831 ± 6 Ma para essa unidade, ligeiramente mais jovem que a idade de 2860 ± 22 Ma obtida por Moreto *et al.* (2011), ambas pelo método U–Pb LA-MC-ICPMS em zircão.

1.3.2.2.11. *Suíte Intrusiva Cateté*

A Suíte Intrusiva Cateté (Macambira & Vale 1997), conforme sumarizado por Feio (2011), é composta por corpos máfico-ultramáficos, alongados e alinhados preferencialmente segundo E-W e N-S. Estão incluídos nesta unidade os corpos conhecidos como Serra da Onça, Serra do Puma, Ourilândia, Vermelho, entre outros. Estudos geocronológicos de Macambira & Tassinari (1998) no corpo Serra da Onça, pelo método Sm-Nd (rocha e minerais) determinaram uma idade de $2378 \pm 55,5$ Ma, admitida como idade mínima de cristalização desta suíte. Lafon *et al.* (2000) obtiveram pelo método U-Pb em zircão uma idade de 2766 ± 6 Ma no gabro do corpo Serra da Onça.

1.3.2.2.12. *Suíte Pedra Branca*

A Suíte Pedra Branca (Feio *et al.* 2012a) recebeu anteriormente a denominação informal de Associação Tonalítica-Trondhjemitica (ATT) com alto Zr, Y e Ti (Sardinha *et al.* 2004, Gomes & Dall’Agnol 2007). Essa suíte é composta predominantemente por tonalitos e trondhjemitos, com hornblenda e biotita como minerais máficos principais. Suas rochas

encontram-se fortemente deformadas e comumente mostram um bandamento magmático, com alternância de bandas tonalíticas e trondhjemíticas, e foliação E-W subvertical. Possui idades em torno de 2,75 Ga. (Sardinha *et al.* 2004, Feio *et al.* 2012a).

1.3.2.2.13. *Suíte Plaquê*

Essa suíte foi originalmente descrita por Araújo *et al.* (1988) e Araújo & Maia (1991) como corpos de leucogranitos foliados. Idades de 2729 ± 29 Ma (Avelar 1996) e 2736 ± 24 Ma (Avelar *et al.* 1999) foram obtidas pelo método Pb-Pb em zircão. É composta por muscovita-biotita leucogranitos, com assinatura metaluminosa a peraluminosa, o que levou Araújo *et al.* (1988) a caracterizarem tais granitóides como do tipo-S. Alguns granitos ocorrentes na região originalmente incluídos nesta suíte tem sido mais recentemente caracterizados como granitos subalcalinos tipo-A (Gomes *et al.* 2004, Sardinha 2005) ou como granitos hidratados da série charnoquítica (Feio *et al.* 2012) e correlacionados com os granitos tipo Planalto (Huhn *et al.* 1999, Oliveira, M. A. 2003, Silva, M. L. T. 2009, Souza 2009, Santos 2009, Oliveira, D. C. 2010, Feio *et al.* 2012).

1.3.2.2.14. *Suíte Planalto*

A Suíte Planalto (Huhn *et al.* 1999, Oliveira, M. A. 2003, Gomes 2003, Vasquez *et al.* 2008a, Oliveira, D. C. 2010, Feio *et al.* 2012, 2012a), foi descrita originalmente como um *stock* de composição granítica milonitizado nas bordas, com baixa taxa de deformação na porção central. Essa suíte é composta por biotita-hornblenda monzogranitos a sienogranitos com álcali feldspato granito associado. É composta por granitos de idade entre 2,74 Ga. e 2,73 Ga. (Huhn *et al.* 1999, Sardinha *et al.* 2004, Oliveira, D. C. *et al.* 2010, Feio *et al.* 2012 e Feio *et al.* 2012a) que possuem características geoquímicas similares às de granitos tipo-A, embora Feio *et al.* (2012) tenham sugerido que possam corresponder a granitos hidratados da série charnoquítica.

Tabela 1-3 – Principais dados geocronológicos disponíveis para as rochas do Subdomínio de Transição. Modificada a partir de Feio (2011), Feio *et al.* (2012a) e Vasquez & Rosa-Costa (2008).

Unidade Litoestratigráfica	Idade de Formação (Ma)	Método
Suíte Planalto	2747±2 ¹	Pb-Pb zr
	2734±2, 2754±2 ²	Pb-Pb zr
	2731±1, 2733±2, 2736±4 ³	Pb-Pb zr
	2710±10, 2729±17, 2706±5 ³	U-Pb L zr
	2738±3, 2730±5 ⁹	U-Pb S zr
Suíte Plaquê	2727 ± 29 ⁴	Pb-Pb zr
	2736 ± 24 ¹¹	Pb-Pb zr
Suíte Pedra Branca	2749±6 ⁵	Pb-Pb zr
	2765±39 ⁵	U-Pb T zr
	2750±5 ⁹	U-Pb L zr
Suíte Intrusiva Cateté	2378 ± 55 ¹²	Sm-Nd rt
	2766 ± 6 ¹³	U-Pb S zr
Granito Serra Dourada	2860±22 ⁷	U-Pb L zr
	2831±6 ⁹	U-Pb L zr
Granito Cruzadão	2845±15 ⁹	U-Pb L zr
	2857±8 ⁹ , 2875±12 ⁹	U-Pb L zr
	3053±8 ⁹	U-Pb L zr h
Granito Bom Jesus	2833±6 ⁹	U-Pb S zr
	3017±5, 3074±6 ⁹	U-Pb S zr h
Complexo Tonalítico Campina Verde	2872±1 ⁹	Pb-Pb zr
	2850±7 ⁹	U-Pb L zr
Trondhjemito Rio Verde	2820±22 ⁹ , 2923±15 ⁹	U-Pb L zr
	2869±4 ⁹ , 2929±3 ⁹	Pb-Pb zr
Granito Canaã dos Carajás	2928±1 ⁵	Pb-Pb zr
	2959±6 ⁹	U-Pb L zr
Complexo Tonalítico Bacaba	2997±5, 2993±7 ⁷ , 3005±8 ⁷	U-Pb L zr
Complexo Xingu	2872±16 ⁸ , 2872±2 ² , 2974±15 ⁸	Pb-Pb zr
	2859±2 ⁶	U-Pb T zr
Diopsídio-Norito Pium	3002±14 ¹⁰	U-Pb S zr
	2859±9 ¹⁰	U-Pb S zr

Abreviaturas: L: LA-ICP-MS; S: SHRIMP; T: ID-TIMS; Pb-Pb: Evaporação de Pb; rt: rocha total; zr: zircão; h: herdado.

Referências: 1- Huhn *et al.* (1999); 2- Oliveira *et al.* (2010); 3- Feio *et al.* (2012); 4- Avelar (1996); 5- Sardinha *et al.* (2004); 6- Machado *et al.* (1991); 7- Moreto *et al.* (2011); 8- Avelar *et al.* (1999); 9- Feio *et al.* (2012a); 10- Pidgeon *et al.* (2000); 11 – Avelar *et al.* (1999); 12 – Macambira & Tassinari (1998); 13 – Lafon *et al.* (2000); 14 – Silva, A.C. *et al.* 2010.

1.3.3. Magmatismo tipo-A Paleoproterozóico

Em torno de 1,88 Ga., a Província Carajás foi cenário de um extenso magmatismo anorogênico que afetou seus diferentes domínios. Os granitos tipo-A oxidados intrusivos nas rochas arqueanas do Domínio Rio Maria foram agrupados na Suíte Jamon, e os granitos tipo-A moderadamente reduzidos, intrusivos em rochas arqueanas do Domínio Carajás e Subdomínio de Transição foram reunidos na Suíte Serra dos Carajás (Dall’Agnol *et al.* 1999, 2005, 2006, Oliveira, D. C. 2006). Diques félsicos a máficos, contemporâneos aos granitos proterozóicos, seccionam tanto as unidades arqueanas quanto os próprios granitos paleoproterozóicos (Gastal 1987, Huhn *et al.* 1988, Souza *et al.* 1990).

1.4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Foram reconhecidas na área de Vila Jussara diversas variedades de tonalitos, trondhjemitos e granodioritos (Silva *et al.* 2010), anteriormente enquadrados no Complexo Xingu, assim como corpos graníticos correlacionados até o momento à Suíte Planalto. Esta grande variedade de rochas sugere uma complexidade evolutiva que só poderá ser esclarecida com base em estudos detalhados dos diferentes tipos de rochas aí identificados. Excetuando os granitos, tais litologias necessitam de uma melhor caracterização dos seus aspectos geológicos, geoquímicos e geocronológicos para definir se correspondem às clássicas séries de tonalito-trondhjemitito-granodiorito (TTG) arqueanas e se possuem ou não origem independente. Grande variedade de rochas similares foi identificada no Domínio Rio Maria e na porção norte do Subdomínio de Transição, conforme discutido anteriormente. A falta de uma caracterização adequada dos diferentes granitóides arqueanos impede também avanços na compreensão da evolução magmática e tectônica do Subdomínio de Transição e de suas relações com o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás.

Algumas questões importantes acerca do magmatismo naquela área carecem de respostas:

- As associações de biotita-tonalitos e trondhjemitos identificadas na área de Vila Jussara são correlacionáveis a alguma das unidades TTG identificadas no Domínio Rio Maria? Constituem ou não associações distintas das já reconhecidas na região de Canaã dos Carajás da Província Carajás?
- Os hornblenda-biotita-tonalitos e granodioritos constituem uma unidade distinta dos biotita-tonalitos e trondhjemitos? Caso positivo, são correlacionáveis a outros granitóides já descritos na Província Carajás? Quais?

- Os leucogranodioritos porfiríticos identificados são similares àqueles descritos em Rio Maria, tais como os da Suíte Guarantã e Granodiorito Grotão?
- Os granitóides arqueanos de Vila Jussara seriam semelhantes em idades e assinatura geoquímica aos do Domínio Rio Maria? Aos descritos na área de Canaã dos Carajás? Alternativas?
- Em um sentido mais amplo, qual o significado tectônico do Subdomínio de Transição no contexto da Província Carajás?

1.5. OBJETIVOS

Considerando o estágio atual de conhecimento das rochas granitóides arqueanas do Subdomínio de Transição, englobadas de modo geral no Complexo Xingu, pretende-se com este trabalho contribuir para a caracterização e individualização dessas rochas granitóides na área de Vila Jussara. Optou-se por dar maior ênfase às associações tonalíticas-trondhjemíticas (prováveis TTG) e aos biotita-anfibólio tonalitos e granodioritos que, uma vez caracterizados, foram comparados com associações similares do Domínio Rio Maria (Oliveira *et al.* 2009, 2010, Almeida *et al.* 2010, 2011) e da região de Canaã dos Carajás (Feio 2011, Feio *et al.* 2012a) e de outros terrenos arqueanos. Portanto, o objetivo geral do trabalho é caracterizar em termos petrográficos e geoquímicos dois dos principais tipos de granitóides arqueanos ocorrentes nas proximidades de Vila Jussara, definir sua distribuição areal e, se possível, posicionamento estratigráfico. Cabe assinalar que estão sendo desenvolvidos em paralelo (Guimarães em prep.) datações geocronológicas e estudos isotópicos que deverão contribuir para o alcance desses objetivos.

Podem, ainda, ser destacados os seguintes objetivos específicos:

- Individualizar os principais granitóides arqueanos presentes nas proximidades de Vila Jussara, estudar suas relações de contato com outras unidades e o arranjo espacial das suas estruturas planares e lineares;
- Efetuar a caracterização petrográfica dos principais granitóides arqueanos, com ênfase nas associações TTG e nos anfibólio-biotita tonalitos e granodioritos, que ocorrem na área mapeada, definindo as suas variedades, composições modais, história de cristalização, transformações pós-magmáticas e feições deformacionais;

- Definir as características geoquímicas destas rochas e, com base nisso, estimar suas séries magmáticas e ambientes de formação, bem como buscar uma compreensão preliminar da sua evolução petrogenética;
- Comparar as características geológicas, petrográficas e geoquímicas das rochas estudadas com granitóides arqueanos que ocorrem no Domínio Rio Maria, na região de Canaã dos Carajás da porção norte do Subdomínio de Transição e em outros terrenos arqueanos.

1.6. MATERIAIS E MÉTODOS

1.6.1. Pesquisa Bibliográfica

Envolveu o levantamento bibliográfico referente à geologia da região enfocada, principalmente sobre os granitóides arqueanos do Domínio Rio Maria e Subdomínio de Transição. Além disso, buscou-se o aprofundamento em temas como a caracterização petrográfica, geoquímica e petrogenética de granitóides arqueanos, com destaque para TTGs, associações sanukitóides e leucogranodioritos-leucogranitos. Foram pesquisadas também publicações referentes à geologia de terrenos arqueanos, com ênfase em evolução crustal, geoquímica, geologia estrutural e geocronologia.

1.6.2. Levantamentos de Campo e Amostragem

O mapeamento geológico envolveu trabalhos prévios de cartografia na escala 1:30.000 da área, com exame digital de imagens de satélite, mosaicos de RADAR (SRTM – *Shuttle RADAR Topography Mission*) e de cartas aero-radiométricas, com a finalidade de levantar os principais lineamentos e feições estruturais, além de estradas, limites de fazendas e drenagens para elaboração de mapas geológicos pré-campo. Nos trabalhos de campo foram realizados perfis em estradas principais e vicinais e, por vezes, em caminhamentos, resultando a descrição de cerca de 100 afloramentos (Anexo 1) em seus aspectos litológicos e estruturais e exame de possíveis relações de contato, acompanhada da coleta sistemática de amostras para estudos petrográficos e geoquímicos. Para a localização dos pontos amostrados foi utilizado um aparelho GPS (*Global Position System*), que permitiu a posterior confecção de mapa de amostragem (Figura 1-4).

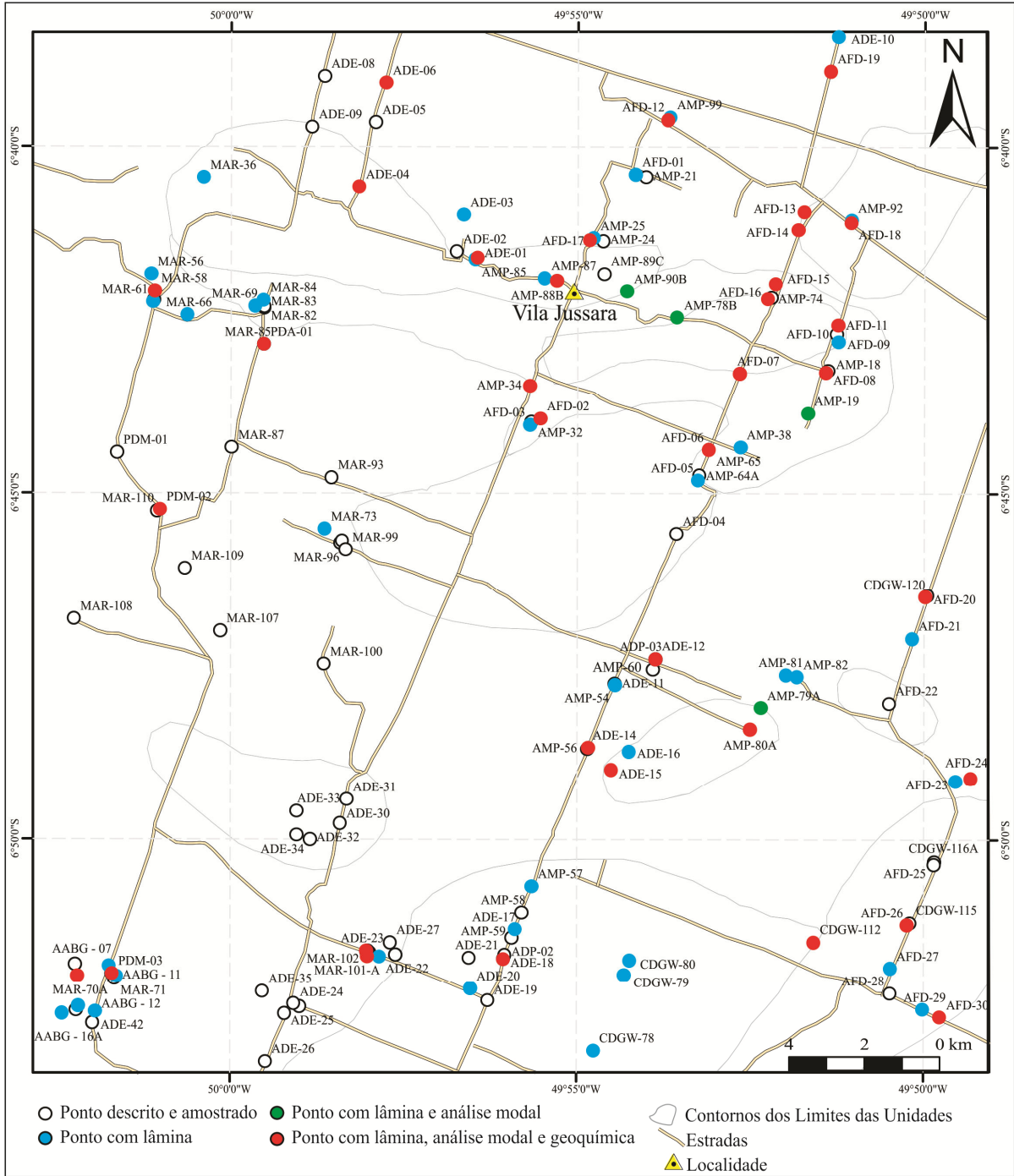


Figura 1-4 – Mapa de amostragem da área de trabalho nas cercanias de Vila Jussara.

1.6.3. Petrografia

Na petrografia, foi feito um exame macroscópico das amostras que permitiu identificar preliminarmente as principais associações, visualizar as suas características dominantes e selecionar amostras para a confecção de cerca de 100 lâminas delgadas. A descrição macroscópica foi seguida de estudo em microscópio petrográfico, envolvendo: identificação dos minerais (Kerr 1959, Deer *et al.* 1992) e descrição sistemática; estudo das texturas magmáticas, deformacionais e de alteração (Bard 1980, Mackenzie *et al.* 1982, Hibbard 1995, Passchier & Trouw 1996, Vernon 2004); obtenção de composições modais (Chayes 1956, Hutchison 1974) de cerca de 60 lâminas, com emprego de contador automático de pontos Swift e contagem de cerca de 2.000 pontos por lâmina; e classificação das rochas conforme estabelecido pela IUGS (Streckeisen 1976, Le Maitre *et al.* 2002). Após a classificação das amostras, estas foram representadas no mapa geológico, para estimar a distribuição das diferentes variedades petrográficas. As fases minerais e aspectos texturais de difícil identificação ou interpretação por meio de microscopia ótica foram estudadas complementarmente com auxílio de microscópio eletrônico de varredura (MEV) no Instituto de Geociências (IG)-UFPA.

1.6.4. Geoquímica

Após prévia seleção petrográfica, foram realizadas análises químicas em rocha total em 41 amostras representativas das unidades estudadas (16 amostras do Trondhjemitó Colorado, 6 do Tonalito São Carlos, 9 de Leucogranodioritos Porfíricos e 10 amostras provenientes das rochas associadas ao Granito Vila Jussara. Tais análises foram realizadas no Acme Analytical Laboratories Ltda. (Vancouver, Canadá). Os conteúdos de elementos maiores e menores foram dosados por ICP-ES e os de elementos-traço, incluindo terras raras, foram determinados por ICP-MS. As análises permitiram discriminar e classificar com maior precisão as unidades estudadas, assim como compará-las com outros granitóides. Foram seguidos os princípios descritos em Ragland (1989) e Rollison (1993), inicialmente com a utilização de diagramas de variação do tipo Harker (1965), envolvendo os óxidos maiores plotados contra sílica (índice de diferenciação), bem como diagramas de elementos binários, contrapondo elementos ou razões de elementos como Rb, Ba, Sr, Y, Zr, Y e Yb, Sr/Ba, Rb/Sr. Diagramas de terras raras foram utilizados para comparar as assinaturas geoquímicas das diferentes unidades.

CAPÍTULO 2

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE ASSOCIAÇÕES
TONALÍTICAS E TRONDHJEMÍTICAS ARQUEANAS DE VILA JUSSARA,
PROVÍNCIA CARAJÁS, PARÁ.**

Alice Cunha da Silva^{1,2}, Roberto Dall’Agnol^{1,2}, Fabriciana Vieira Guimarães^{1,2}, Davis Carvalho de Oliveira^{1,2}

RESUMO

Dentre os granitóides arqueanos que afloram no Subdomínio de Transição da Províncias Carajás, nas proximidades de Vila Jussara, destacam-se duas associações designadas neste trabalho de Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado. O segundo é intrudido por Leucogranodioritos Porfiríticos de idade indefinida e Granitóides tipo Vila Jussara (2,74 a 2,72 Ga.). O Tonalito São Carlos possui idade mesoarqueana (~2,93 Ga.) e é formado principalmente por hornblenda-biotita tonalitos, com padrão estrutural NE-SW a N-S, discordante do *trend* regional. Essas rochas são marcadas por forte recristalização de plagioclásio e quartzo. Diverge geoquimicamente do Trondhjemito Colorado por ser empobrecido em sílica e enriquecido nos óxidos constituintes dos minerais máficos. Possui baixo fracionamento de Elementos Terras Raras (ETR) pesados e anomalias de Eu discretas a ausentes. Suas características não permitem associa-lo com as típicas suítes TTGs arqueanas, tampouco à suíte Sanukitóide Rio Maria. A variedade com anfibólio do Complexo Tonalítico Campina Verde possui algumas características geoquímicas semelhantes às do Tonalito São Carlos. O Trondhjemito Colorado é uma associação tonalítica-trondhjemítica-granodiorítica (TTG) mesoarqueana (2,87 Ga.), com foliação de orientação E-W a NW-SE, localmente N-S, com mergulhos fortes. São rochas homogêneas petrograficamente, formadas por biotita tonalitos/trondhjemitos, compostos essencialmente por quartzo e plagioclásio, tendo biotita e epidoto como principais ferromagnesianos. Assim como o Tonalito São Carlos esta unidade possui acentuada recristalização de quartzo e plagioclásio, no entanto em menor intensidade que a primeira. Suas características geoquímicas são compatíveis com aquelas dos TTGs arqueanos. Os ETR mostram acentuado fracionamento de ETR pesados, com dois tipos de padrões, um com anomalias de Eu negativas discretas ou até ausentes e um segundo com anomalias de Eu positivas, acompanhadas por decréscimo em ETR leves. Esses padrões anômalos do segundo grupo foram interpretados como resultantes da desestabilização de allanita, provavelmente em zonas de cisalhamento.

Palavras-Chave: Província Carajás, Subdomínio de Transição, Arqueano, TTG, Tonalito.

ABSTRACT

The Archean granitoids exposed near Vila Jussara, in the Transition Subdomain of the Carajás Province are diversified and include the São Carlos Tonalite and Colorado Trondhjemite, recognized for the first time and named in this work. The São Carlos Tonalite (2.93 Ga) and the Colorado trondhjemite (2.87 Ga) have Mesoarchean ages. The latter is intruded by both Porphyritic Leucogranodiorites of indeterminate age and the Vila Jussara Granitoids (2.75 to 2.72 Ga.). The São Carlos tonalite is formed mainly by hornblende-biotite tonalite, with NE-SW to N-S foliation, discordant to the regional trend. These rocks are characterized by strong recrystallization of plagioclase and quartz crystals. Compared to the Colorado Trondhjemite, it is depleted in silica and enriched in the oxides of the mafic minerals constituents, has low fractionation of heavy Rare Earth Elements (REE) and discrete to absent Eu anomalies. Its characteristics are distinct of those of typical Archean TTG suites and differ also of the Rio Maria Sanukitóide Suite. The São Carlos Tonalite is similar in some geochemical characteristics to the amphibole-bearing variety of the Campina Verde Tonalitic Complex. The Colorado Trondhjemite is composed of epidote-bearing biotite trondhjemites with subordinate tonalites and rare granodiorites (TTG), with foliation oriented along E-W to NW-SE, locally N-S, with strong dips. This granitoid shows also recrystallization of quartz and plagioclase, however with a lower intensity compared to the São Carlos Tonalite. The Colorado trondhjemite geochemical characteristics are consistent with those of Archean TTG suites. It show pronounced HREE fractionation with high (La/Yb)_n and two types of REE patterns, one with discrete negative to nearly absent Eu anomalies, and a second one with accentuated positive Eu anomalies, in most cases, accompanied by a slight decrease in LREE. The second REE pattern probably resulted of the destabilization of allanite along shear zones which cause the remobilization of light REE.

Keywords: Carajás Province, Transitional Subdomain, Archean, TTG, Tonalite.

1 - Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) e INCT de Geociências na Amazônia (GEOCIAM), Instituto de Geociências (IG), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém (PA), Brasil.

2 - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), IG-UFPA, Belém (PA), Brasil.

E-mail: alicecunha@ufpa.br, robdal@ufpa.br, fabricia@ufpa.br, davis@ufpa.br

INTRODUÇÃO

A Província Carajás é o principal segmento arqueano do Cráton Amazônico, sendo dividida nos domínios Rio Maria e Carajás (Figura 2-1). O Subdomínio de Transição, embora pertencente ao Domínio Carajás, foi interpretado inicialmente como sendo um terreno similar ao Domínio Rio Maria, porém afetado pelos eventos neoarqueanos atuantes exclusivamente no Domínio Carajás (Dall’Agnol *et al.* 2006). Porém, estudos desenvolvidos na região de Canaã dos Carajás, na porção extremo norte do Subdomínio de Transição, sugeriram uma evolução distinta daquela área em relação ao Domínio Rio Maria (Feio *et al.* 2012a). Portanto, este subdomínio é uma região chave para o entendimento da compartimentação e da evolução tectônica da Província Carajás. Ele é formado por diversas unidades arqueanas, com idades entre 3,0 a 2,72 Ga., com dominância de granitóides, que eram anteriormente em sua grande maioria incluídos no Complexo Xingu, mas que, com o avanço das pesquisas nesta região, vêm sendo caracterizados e individualizados (Oliveira *et al.* 2010, Silva, A. C. *et al.* 2010, Feio *et al.* 2012a). Sabe-se hoje que esses granitóides são muito variados em composição e provavelmente também em idades, sugerindo evolução e origem distintas. Portanto, são essenciais avanços no conhecimento desses diferentes granitóides arqueanos para o entendimento do papel do Subdomínio de Transição da Província Carajás. Além disso, tem sido dada grande atenção na literatura internacional à diversidade de granitóides arqueanos (Sylvester 1994, Martin 1994, Champion & Sheraton 1997, Smithies & Champion 2000, Moyen *et al.* 2003, Lobach-Zhuchenko *et al.* 2005, Champion & Smithies 2007, Oliveira *et al.* 2009, Barros *et al.* 2009, Almeida *et al.* 2011, Feio *et al.* 2012, 2012a, 2012b, Moyen & Martin 2012), e, em consequência, feitos esforços para aprimorar sua caracterização e definição de processos de formação de seus magmas.

Este trabalho visa caracterizar a geologia, petrografia e geoquímica de duas associações granitóides arqueanas identificadas nas proximidades de Vila Jussara, no sudeste do Pará (Encarte da Figura 2-1). Uma é formada por anfibólio-biotita tonalitos e foi designada como Tonalito São Carlos, e a outra por tonalito-trondhjemitos com granodioritos subordinados, denominada Trondhjemito Colorado. Visa-se com isso estabelecer comparações entre os granitóides arqueanos estudados e aqueles da Província Carajás e avançar na compreensão do entendimento da compartimentação e evolução tectônica do Subdomínio de Transição do Domínio Carajás e das suas relações com o Domínio Rio Maria. Esse estudo deve permitir igualmente situar os granitóides estudados em relação às principais associações arqueanas.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Carajás (Santos *et al.* 2000), dividida nos Domínios Carajás e Rio Maria (Figura 2-1, Vasquez *et al.* 2008a), se situa na porção sudeste do Cráton Amazônico, sendo considerada como o domínio oriental da Província Amazônia Central por Tassinari & Macambira (2004).

O Domínio Rio Maria é composto por *greenstone belts* do Supergrupo Andorinhas com idades que variam de 2,98 a 2,90 Ga. (Macambira & Lancelot 1992, Pimentel & Machado 1994) e diversos grupos de granitóides arqueanos: granitóides da série tonalito-trondhjemito-granodiorito - TTG (Althoff *et al.* 2000, Leite 2001, Dall’Agnol *et al.* 2006, Guimarães *et al.* 2010, Almeida *et al.* 2011) com idades entre 2,98-2,86 Ga. (Tabela 2-1); granitóides das séries sanukitóides de alto Mg da Suíte Rio Maria (Medeiros & Dall’Agnol 1988, Souza 1994, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001, Oliveira *et al.* 2006, 2009, 2010), que possuem idades de ~2,87 Ga.; leucogranodioritos e leucomonzogranitos da Suíte Guarantã, representados pelos plútons Guarantã, Azulona e Trairão (~2,87 Ga. - Althoff *et al.* 2000, Dias 2009, Almeida *et al.* 2010, 2013); e leucogranitos potássicos, representados pelos granitos Xinguara, Mata Surrão e similares (Leite *et al.* 1997, Duarte *et al.* 1991, Althoff *et al.* 2000) que forneceram idades de 2,87 a 2,86 Ga. (Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2013, Rodrigues *et al.* 1992, Lafon *et al.* 1994, Althoff *et al.* 1998). Foi individualizado, ainda, o Quartzo-diorito Parazônia (correspondente ao Tonalito Parazônia de Huhn *et al.* 1988), que forneceu uma idade de 2875 ± 2 Ma e foi incluído na Suíte Sanukitóide Rio Maria (Guimarães *et al.* no prelo).

Sem considerar os estudos mais recentes, muito deles ainda inéditos, as seguintes unidades haviam sido identificadas em mapeamentos regionais no Subdomínio de Transição (Figura 2-1; Araujo & Maia 1991): Ortogranulito Chicrim-Cateté (Vasquez *et al.* 2008a); Diopsídio-Norito Pium (Hirata *et al.* 1982, Pidgeon *et al.* 2000, Santos *et al.* 2008) com idades de 3,0 e 2,85 Ga. (Pidgeon *et al.* 2000) e caráter granulítico ou magmático ainda gerando controvérsias (Ver: Vasquez *et al.* 2008b, Feio *et al.* 2012); Complexo Xingu (Silva *et al.* 1974, Machado *et al.* 1991) formado predominantemente por rochas granitóides cujas idades variam de 2,97 a 2,86 Ga. (Tabela 2-1); Suíte Intrusiva Cateté (Macambira & Vale 1997) de 2,76 Ga. (Lafon *et al.* 2000), Suíte Pedra Branca (Gomes & Dall’Agnol 2007), com idade de ~2,75 Ga. (Sardinha *et al.* 2004, Feio *et al.* 2012a); e pelas Suítes Plaqué e Planalto, com idades entre 2,74-2,72 Ga. (Avelar *et al.* 1999, Huhn *et al.* 1999, Oliveira, M. A. 2003,

Gomes 2003, Sardinha *et al.* 2004, Vasquez *et al.* 2008a, Oliveira, D. C. 2010, Feio *et al.* 2012, 2012a).

Mapeamentos geológicos mais detalhados e um número expressivo de datações geocronológicas adicionais levaram à identificação de novas unidades na região de Canaã dos Carajás na porção norte do Subdomínio de Transição (ver mapa geológico em Feio *et al.* 2012a, Fig. 2): Tonalito Bacaba (Moreto *et al.* 2011) com idade próxima de 3,0 Ga.; Granito Canaã dos Carajás (2,96 Ga., Feio *et al.* 2012a); Trondhjemitó Rio Verde, formado a cerca de 2,87-2,85 Ga. (Feio *et al.* 2012a); Complexo Tonalítico Campina Verde (2,87 a 2,85 Ga., Feio *et al.* 2012a), granitos Bom Jesus (3,0 a 2,83 Ga.), Cruzadão (2,85 Ga.) e Serra Dourada (2,83 Ga., todos estudados por Feio *et al.* 2012a, 2012b). Além das unidades mencionadas, foram estudadas ainda na região as Suítes Pedra Branca e Planalto (Feio *et al.* 2012, 2012a).

Em torno de 1,88 Ga., toda província foi palco de magmatismo granítico anorogênico representado pelos corpos graníticos das Suítes Jamon e Serra dos Carajás e por diques félsicos a máficos contemporâneos (Barros *et al.* 1995, Silva Jr. *et al.* 1999, Dall’Agnol *et al.* 2005, Oliveira 2006, Almeida *et al.* 2006, Oliveira, D.C. *et al.* 2009).

GEOCRONOLOGIA DOS GRANITÓIDES ARQUEANOS DA PROVÍNCIA CARAJÁS

Não cabe aqui uma revisão detalhada dos dados geocronológicos disponíveis sobre todas as variedades de granitóides arqueanos já identificados na Província Carajás, mas é importante sumarizar as informações existentes sobre associações similares às duas associações selecionadas para estudo no presente trabalho, ou seja, o Tonalito São Carlos e o Trondhjemitó Colorado. As mesmas são apresentadas a seguir.

Granitóides TTG da Província Carajás

O magmatismo TTG é amplamente exposto na Província Carajás, sendo representado no Domínio Rio Maria por quatro suítes formadas durante o intervalo entre 2,98 e 2,92 Ga. (Tabela 2-1): 1) Tonalito Arco Verde (2,98–2,93 Ga.; Macambira & Lafon 1995, Rolando & Macambira 2003, Almeida *et al.* 2011); 2) Trondhjemitó Mogno (~2,96 Ga.; Almeida *et al.* 2011); 3) Complexo Tonalítico Caracol (2,95–2,93 Ga.; Leite *et al.* 2004); 4) Tonalito Mariazinha (~2,92 Ga.; Guimarães *et al.* 2010, Almeida *et al.* 2011). Além dessas suítes, foi identificada uma associação TTG mais jovem, denominada de Trondhjemitó Água Fria (~2,86 Ga.; Leite *et al.* 2004). Segundo Almeida *et al.* (2011), geoquimicamente, podem ser distinguidos três grupos de granitóides TTG no domínio Rio Maria: 1) grupo com altas razões La/Yb, Sr/Y e Nb/Ta, representado principalmente pelo Trondhjemitó Mogno e Tonalito

Mariazinha; 2) grupo com moderadas razões La/Yb, que engloba a maior parte das amostras do Tonalito Caracol e Trondhjemito Água Fria, mas também parte daquelas das demais unidades; 3) grupo com baixas razões La/Yb, Sr/Y e Nb/Ta, onde dominam as rochas do Tonalito Arco Verde. Apesar das dominâncias mencionadas, todas as unidades apresentam variações composicionais, não podem ser enquadradas em um único grupo e, nos casos dos Tonalitos Arco Verde e Caracol, suas amostras se distribuem pelos três grupos.

Na região de Canaã dos Carajás do Subdomínio de Transição, apenas o Trondhjemito Rio Verde, com idades de ~2,87 a 2,85 Ga., foi considerado similar às séries TTG (Feio *et al.* 2012a). Além desta unidade, foi individualizada uma segunda associação tonalítico-trondhjemítica, a Suíte Pedra Branca, de idade neoarqueana e características geoquímicas inteiramente distintas dos típicos TTGs arqueanos (Gomes & Dall’Agnol 2007, Feio *et al.* 2012a).

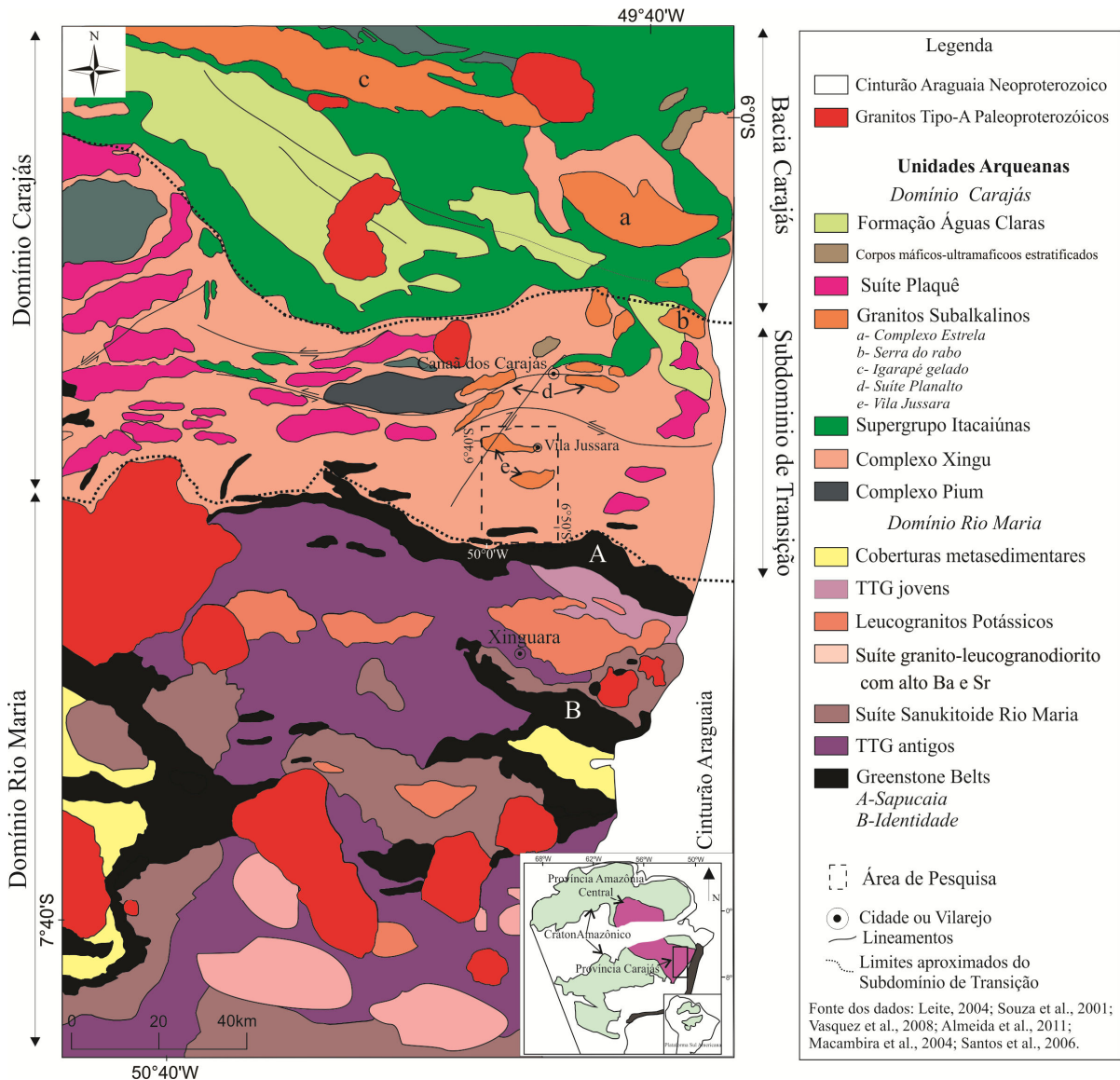


Figura 2-1 – Mapa geológico da Província Carajás (modificado a partir de Feio 2011).

Biotita-anfibólio tonalitos/granodioritos da Província Carajás

As associações granitóides arqueanas do Domínio Rio Maria que mais se aproximam em termos mineralógicos dos tonalitos portadores de anfibólio identificados na área estudada são as associações sanukitóides, formadas predominantemente por granodioritos, porém com variações para termos intermediários, quartzo-dioríticos a quartzo-monozodioríticos. Tais rochas costumam ser portadoras de anfibólio como principal fase ferromagnésiana e são representadas pela Suíte Rio Maria (Oliveira, M.A. *et al.* 2009, 2010) e pelo Quartzo-diorito Parazônia (Guimarães *et al.* no prelo). Diversas variedades dessas unidades foram datadas e os resultados obtidos são muito similares e sempre próximos de 2,87 Ga. (Tabela 2-2 e referências apresentadas na mesma). Em termos do que se conhece sobre o Domínio Carajás, as principais associações com as características mencionadas são o Tonalito Bacaba (Moreto *et al.* 2011) e o Complexo Tonalítico Campina Verde (Feio *et al.* 2012a). Além disso, a oeste da área estudada, foram descritas associações de rochas afins nas proximidades de Água Azul do Norte (Gabriel *et al.* 2010), que forneceram idade Pb-Pb em zircão de 2884 ± 1.7 Ma (Sousa, S.D. *et al.* 2010).

Tabela 2-1 – Síntese dos dados geocronológicos das associações tonalítico-trondhjêmíticas do Domínio Rio Maria e da região de Canaã dos Carajás do Subdomínio de Transição.

	Unidade Litoestratigráfica	Idade de Formação (Ma)	Método
Domínio Rio Maria	Trondhjemitó Água Fria	2864±21 ¹	Pb-Pb zr
		2843±10? ⁶	U-Pb zr
	Tonalito Mariazinha	2912±5 ⁶	U-Pb zr
		2925±3 ⁶ , 2917±5 ⁶ , 2924±2 ¹	Pb-Pb zr
	Complexo Tonalítico Caracol	2948±5, 2936±3 ¹	Pb-Pb zr
	Trondhjemitó Mogno	2857±13, 2900±21 ⁴	Pb-Pb zr
		2871±? ²	U-Pb tit
		2961±2 ⁶	Pb-Pb zr
		2961±16 ⁶	U-Pb zr
		2968±2 ⁶	Pb-Pb zr
2972±9 ⁶		U-Pb zr	
Tonalito Arco Verde	2959±5, 2959±2 ⁶	Pb-Pb zr	
	2964±2 ⁵	Pb-Pb zr	
	2948±7 ³	Pb-Pb zr	
	2953±8, 2926±2 ⁶	Pb-Pb zr	
	2948±4, 2941±5 ⁶	U-Pb zr	
	2937±3 ⁶	Pb-Pb zr	
Subdomínio de Transição	Suíte Pedra Branca	2973±11 ⁶	Pb-Pb zr
		2749±6 ¹⁰	Pb-Pb zr
		2765±39 ¹⁰	U-Pb T zr
	Trondhjemitó Rio Verde	2750±5 ⁹	U-Pb L zr
		2820±22 ⁹	U-Pb L zr
		2869±4 ⁹	Pb-Pb zr
		2929±3 ⁹	Pb-Pb zr
	Complexo Xingu*	2923±15 ⁹	U-Pb L zr
		2872±16 ⁸	Pb-Pb zr
		2859±2 ⁷	U-Pb T zr
2872±2 ¹¹		Pb-Pb zr	
2974±15 ⁸		Pb-Pb zr	

Abreviaturas: L: LA-ICP-MS; S: SHRIMP; T: ID-TIMS; Pb-Pb: Evaporação de Pb; zr: zircão. *O Complexo Xingu foi incluído porque engloba um grande volume rochas TTG. Fonte dos dados: 1 - Leite *et al.* (2004); 2 - Pimentel & Machado (1994); 3 - Rolando & Macambira (2003); 4 - Macambira *et al.* (2000); 5 - Vasquez *et al.* (2008); 6 - Almeida *et al.* (2011); 7 - Machado *et al.* (1991); 8 - Avelar *et al.* (1999); 9 - Feio *et al.* 2012a; 10 - Sardinha *et al.* (2004).; 11 - Silva, A.C. 2010.

Tabela 2-2 – Síntese dos principais dados geocronológicos sobre as associações tonalítico-granodioríticas com anfibólio da Província Carajás.

	Unidade Litoestratigráfica	Idade de Formação (Ma)	Método
Domínio Rio Maria - Suíte Rio Maria	Granodiorito Rio Maria	2874±9/-10 ⁷	U-Pb zr
	Granodiorito Rio Maria	2872±5 ²	U-Pb zr, tit
	Granodiorito Rio Maria	2877±6 ³	Pb-Pb zr
	Granodiorito Rio Maria (Quartzo-diorito)	2878±4 ¹	Pb-Pb zr
	Quartzo-diorito Parazônia	2876±2 ⁴	Pb-Pb zr
Subdomínio de Transição	Complexo Tonalítico Campina Verde	2872±1 ⁵	Pb-Pb zr
		2850±7 ⁵	U-Pb L zr
	Tonalito Bacaba	2997±5 ⁶	U-Pb L zr
		2993±7 ⁶	U-Pb L zr
		3005±8 ⁶	U-Pb L zr

Fonte dos dados: 1 - Dall'Agnol *et al.* (1999); 2 - Pimentel & Machado (1994); 3 - Rolando & Macambira (2003); 4 - Guimarães *et al.* (no prelo); 5- Feio *et al.* 2012a; 6- Moreto *et al.* (2011); Macambira & Lancelot (1996).

GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA

ASPECTOS GERAIS

Silva, A.C. *et al.* (2010) e Santos *et al.* (2010) identificaram em mapeamentos geológicos em escala 1:50.000 efetuados nas proximidades de Vila Jussara, diversos granitóides arqueanos até então não individualizados e englobados indistintamente no Complexo Xingu. O mapeamento permitiu melhor visualização das feições estruturais, relações de campo e área de ocorrência dessas rochas (Figura 2-2). Dentre os granitóides identificados destacam-se anfíblio-biotita tonalitos e biotita-tonalito/trondhjemitos com granodioritos subordinados (TTGs), para os quais está se propondo neste trabalho, respectivamente, as designações de Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado. As melhores exposições do Tonalito São Carlos se situam no extremo sudeste e aquelas do Trondhjemito Colorado no extremo sudoeste e centro-oeste da área mapeada (Figura 2-2). Essas duas associações granitóides, foco central do presente trabalho, se distinguem por suas idades, orientação estrutural e assinatura geoquímica, como será demonstrado adiante. Além destas unidades, há na área estudada ocorrências expressivas de Granitóides Vila Jussara, anteriormente correlacionados aos granitos da Suíte Planalto (Silva, M.L.T. *et al.* 2010), Leucogranodioritos Porfíricos e diques máficos e félsicos (Figura 2-2) que não serão discutidos em detalhe no presente trabalho. Zonas de cisalhamento orientadas em torno de E-W afetaram as unidades arqueanas e causaram a milonitização dos diferentes granitóides.

***Greenstone belts* (Grupo Sapucaia do Supergrupo Andorinhas)**

As ocorrências de *Greenstone Belts* na área de trabalho são bastante restritas e, excetuando as exposições identificadas no extremo sudeste da mesma (Figura 2-2), não são representáveis na escala de mapeamento adotada. *Enclaves máficos* presentes nos diferentes granitóides arqueanos foram interpretados como sendo anfíbolitos derivados dos *greenstone belts*.

Tonalito São Carlos

É composto por rochas de aspecto homogêneo, com bandamento composicional pouco evidente. A unidade é constituída por três *stocks* alongados segundo NE-SW que se distribuem na porção leste da área mapeada e fornecem baixos valores radiométricos nos mapas aero-radiométricos. Suas rochas exibem foliações dominantes nesse mesmo sentido, com variações em torno de N-S ou que tendem a se amoldar aos limites dos corpos. Engloba

enclaves máficos e seus contatos com as demais unidades são marcados por lineamentos expressivos, interpretados como falhamentos, ou não se acham expostos no terreno. Dados geocronológicos preliminares (Guimarães em preparação) forneceram idade de $2934 \pm 8,6$ Ma (Pb-Pb em zircão por evaporação) para amostra representativa desse granitóide.

Trondhjemitó Colorado

É a unidade com maior distribuição na área de pesquisa e se caracteriza por definir baixos radiométricos em levantamentos aero-radiométricos. Suas rochas são bandadas e localmente intensamente dobradas. O bandamento define foliação geralmente orientada segundo o *trend* regional E-W ou, localmente, próximo de N-S, com mergulhos fortes. Bandas de cisalhamento modificam a trajetória da deformação. *Enclaves* máficos de composição anfibolítica e tonalítica/quartzo-diorítica alongados conforme a foliação da rocha são comuns. Veios e vênulas quartzo-feldspáticas concordantes e discordantes em relação à foliação intersectam as rochas desta unidade. Trabalhos anteriores (Silva A. C. *et al.* 2010) revelaram idade de 2872 ± 2 Ma para essas rochas.

Leucogranodiorito Porfirítico

Ocorre como um *stock* na porção sul da área (Figura 2-2) e suas rochas apresentam foliação orientada predominantemente próximo de E-W ou, muito localmente, NE-SW. Fornece valores radiométricos ligeiramente superiores aos dos tonalitos São Carlos e Colorado. As relações de contato com as demais unidades não foram observadas e o seu posicionamento estratigráfico acima do Trondhjemitó Colorado representa uma interpretação preliminar. Dados geocronológicos (Guimarães, em preparação) e estudos mais detalhados desse granitóide estão sendo efetuados em corpos expostos a leste da área mapeada (Teixeira, em preparação).

Granitóides Vila Jussara

Esses granitóides afloram em cinco corpos alinhados segundo E-W na porção centro-norte da área de pesquisa, os quais fornecem anomalias radiométricas positivas nos canais de Th, U e contagem total e foram englobados anteriormente na Suíte Planalto (Silva M. L. T. 2010; Oliveira, D.C. *et al.* 2010). As rochas dominantes são biotita-anfibólio granitos que formam as porções centrais dos corpos maiores ou a totalidade dos corpos menores (Figura 2-2). Na porção central da área, os corpos são zonados e os granitos são envolvidos por granodioritos e, subordinadamente, tonalitos. As foliações presentes nessas últimas variedades

se orientam geralmente segundo NW-SE a E-W e acompanham o padrão observado nos granitos. Estudos geocronológicos preliminares em biotita-anfibólio granodioritos/tonalitos forneceram idades variáveis entre 2.720 Ma e 2.750 Ma (Guimarães em preparação) e confirmam a contemporaneidade entre estas rochas e os granitos Vila Jussara, que possuem idades semelhantes (2.754 ± 2 Ma, Silva, M.L.T. *et al.* 2010; 2734 ± 2 , Oliveira, D.C. *et al.* 2010). O estudo dos granitos dominantes na associação não se enquadra entre os objetivos do presente trabalho, porém a caracterização dos granodioritos e tonalitos associados a eles se reveste de grande importância para permitir sua comparação com os demais granitóides tonalíticos estudados e justificar assim a sua eventual distinção.

Diques

Diversos diques máficos e, mais raramente, félsicos de direção preferencial N-S a NE-SW seccionam todas as unidades arqueanas.

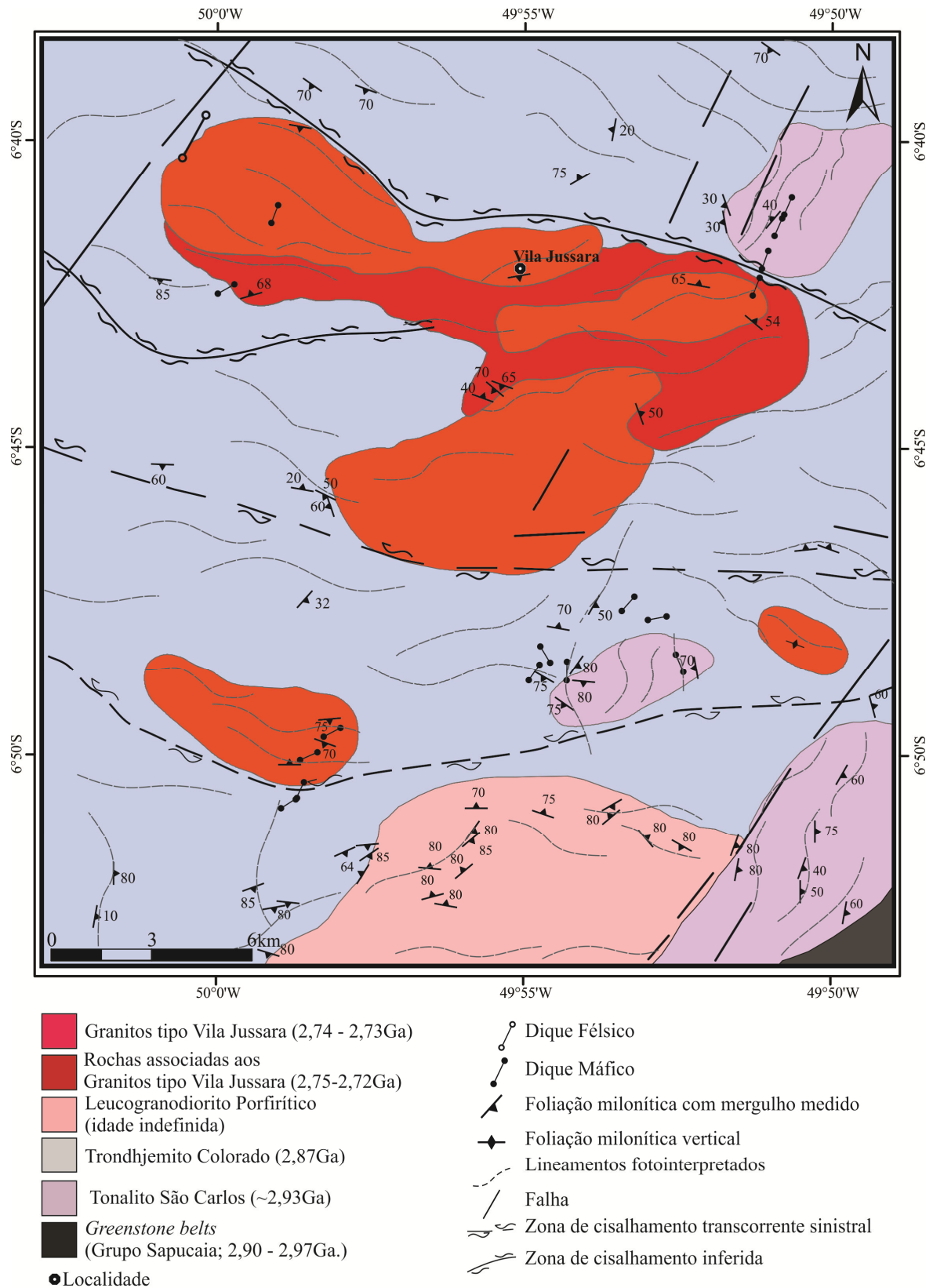


Figura 2-2 – Mapa geológico da área situada nas cercanias de Vila Jussara, SE do Pará. (Modificado a partir de Araújo & Maia 1991, Silva, A. C. *et al.* 2010, Santos *et al.* 2010, Silva, M. L. T. *et al.* 2010).

PETROGRAFIA

COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO

O estudo petrográfico revelou variações composicionais discretas tanto no Tonalito São Carlos quanto no Trondhjemitito Colorado (Tabelas 2-3 e 2-4, respectivamente). Foram realizadas 6 análises modais em amostras do Tonalito São Carlos e 15 análises no Trondhjemitito Colorado, cujos resultados foram lançados nos diagramas Q-A-P (Streckeisen 1976) e Q-A+P-M' (Figura 2-3).

Conforme Le Maitre (2002), o Tonalito São Carlos é constituído por anfibólio-biotita tonalito, na quase totalidade das amostras, e biotita-anfibólio tonalito (Tabela 2-3, Figura 2-3). Os minerais máficos variam entre 11,7 a 24,9% (média de 17,5 %), plagioclásio entre 54,3 e 66,6% (média 59%), quartzo entre 32,4 e 45,6% (média 40,6%) e feldspato alcalino, quando presente, varia de 0,8 a 0,9%. Biotita, anfibólio e epidoto são os principais minerais ferromagnesianos. Opacos, allanita, titanita, zircão e apatita são as fases acessórias. A alteração secundária é no geral pouco expressiva, sendo marcada pela formação de epidoto, carbonato e clorita, mas se observa forte escapolitização em algumas amostras. Mostram comportamento similar ao da série cálcico- alcalina trondhjemitica de baixo potássio ou cálcico-alcálica tonalítica-trondhjemitica (Figura 2-3).

As rochas do Trondhjemitito Colorado variam de tonalitos a trondhjemitos (conforme conteúdo de minerais máficos respectivamente maior ou menor que 10%), com granodioritos subordinados, mas ainda com composições próximas a trondhjemiticas, e portanto serão tratadas como tal (Figura 2-3). Os tonalitos possuem média dos máficos de 14,5%, enquanto os trondhjemitos ficam com média de 7,4% e os granodioritos de 4,2%. O plagioclásio nessa unidade varia de 41,4 a 60,1% (média de 53,3%), quartzo varia entre 20,5 e 38,2% (média de 32,5%), feldspato potássico entre 0 e 7,8% (média de 2,8%). A biotita e o epidoto são os principais minerais ferromagnesianos. O anfibólio ocorre apenas como fase acessória e em uma única amostra de granodiorito. A muscovita ocorre em algumas amostras e o aumento em seu conteúdo modal parece estar diretamente relacionado ao aumento no conteúdo de epidoto magmático. Os minerais acessórios são allanita, opacos, titanita, apatita e zircão e as fases secundárias são epidotos, muscovita, carbonato, clorita e escapolita. O Trondhjemitito Colorado exhibe comportamento similar ao da série cálcico-alcálica trondhjemitica de baixo potássio ou cálcico-alcálica tonalítica-trondhjemitica (Figura 2-3).

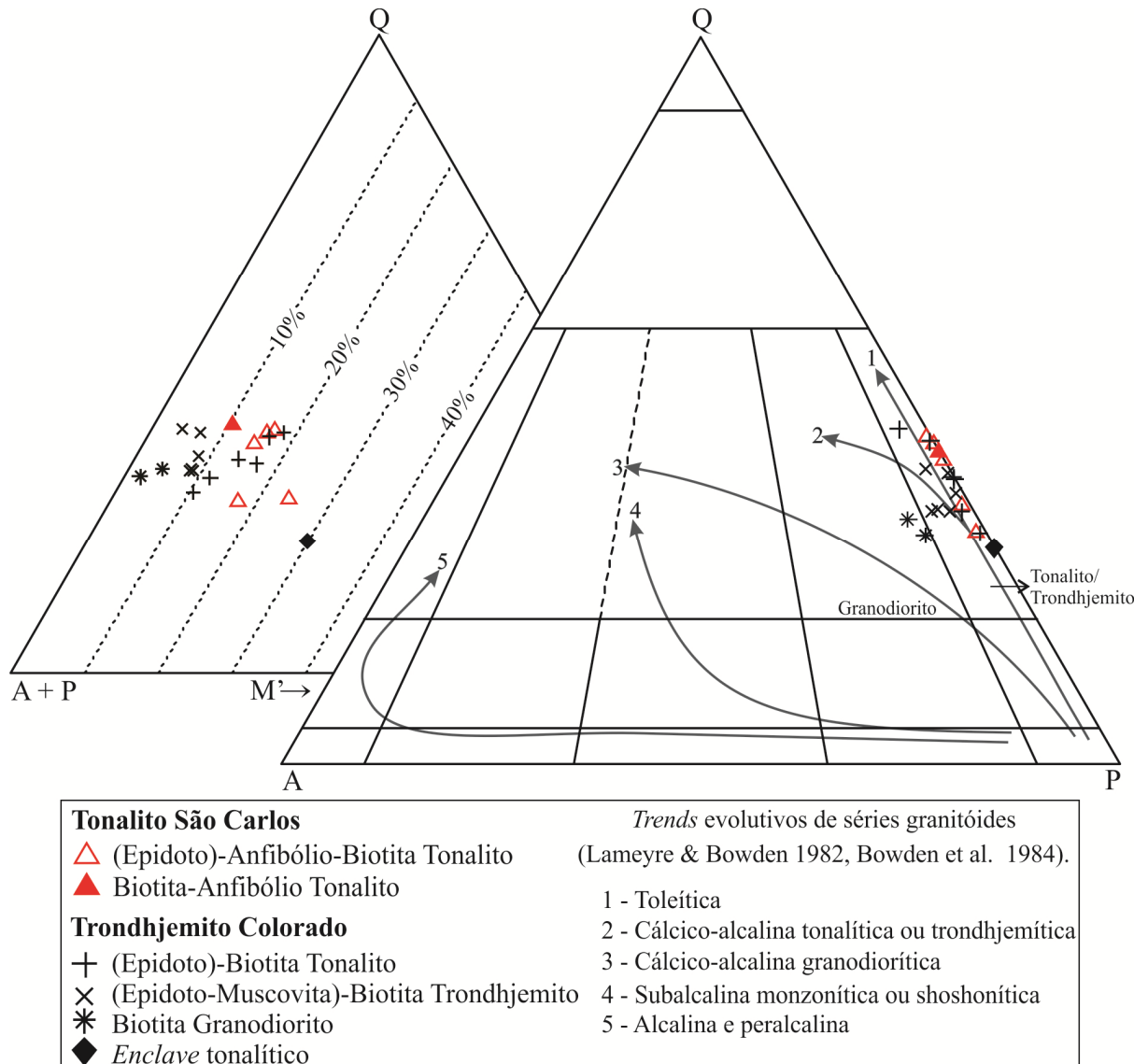


Figura 2-3 – Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976) para as rochas estudadas.

Tabela 2-3 – Composições modais do Tonalito São Carlos.

Litologia	Biotita- Anfibólio Tonalito	(Epidoto)-Anfibólio-Biotita Tonalito				
Amostra/ Mineral	AMP- 92*	AMP- 80A*	AFD- 26/ CDGW- 115*	AFD- 13A*	AFD-30A*	ADE- 15*
Plagioclásio	50	45,3	53,9	47,5	43,9	48,2
Quartzo	38	36,5	26,2	26,7	36,9	35,1
Feldspato Potássico	-	-	0,8	0,6	-	-
Anfibólio	7	1,4	1,1	11,4	1,5	5,2
Biotita	4	14,3	16,2	12,8	11,5	9,5
Epidoto (p)	-	0,9	0,9	-	3,6	1,2
Allanita	-	-	-	-	0,4	-
Opacos	0,7	-	Tr	0,7	0,1	Tr
Titanita	-	Tr	-	Tr	0,2	0,1
Apatita	-	-	-	-	Tr	0,1
Zircão	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	-
Epidotos (s)	-	1,1	0,7	0,1	-	-
Clorita (s)	0,1	0,1	-	-	-	Tr
Carbonato (s)	-	1,1	-	Tr	-	-
Escapolita (s)	-	-	-	-	1,6	-
A+P	50	45,3	54,7	48,1	43,9	48,2
Máficos	11,8	16,7	18,2	24,9	17,3	16,1
Plagioclásio**	56,82	55,38	66,63	63,50	54,33	57,86
Quartzo**	43,18	44,62	32,39	35,70	45,67	42,14
Feldspato Alcalino**	-	-	0,99	0,80	-	-
Nº de Pontos	2000	2000	1800	2000	2000	2000

* = amostra com análise química; (s) = mineral secundário; - = mineral não observado na amostra; Tr = mineral presente na rocha, mas não registrado na contagem modal; ** = recalculado a 100%.

Tabela 2-4 – Composições modais do Trondhjemito Colorado.

Litologia	(Epidoto)-Biotita Tonalito						Enclave (<i>tnl.</i>)	(Epidoto-Muscovita)-Biotita Trondhjemito						Biotita Granodiorito	
	AFD- 14*	AMP- 34B*	AMP- 79A	AMP- 90B	AMP- 99*	MAR- 70A*		MAR- 101A*	ADE- 01A*	AFD- 19*	AFD- 20*	AMP- 60*	MAR- 85*	MAR- 102*	AFD- 17*
Plagioclásio	52,2	55,7	60,1	41,4	46,1	49,6	48,1	55,4	57	54,2	56,6	52,4	54,5	58,8	54,9
Quartzo	33,7	30,4	28,4	37,7	37,1	32,5	20,5	32,1	32	31,5	38,2	37,6	33	30,5	32
Feldspato Potássico	-	1,2	0,6	2,6	0,2	-	-	3,7	2,5	4,3	0,4	2,5	0,8	7,1	7,8
Anfibólio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Biotita	13,8	10,2	9,7	14,6	15,5	13,5	26,4	7,1	7,7	7,6	4	5	7,6	1,9	4,3
Muscovita ^(p)	-	0,9	-	Tr	-	0,9	2,1	-	-	0,9	0,5	0,5	2,4	0,8	-
Epidoto ^(p)	Tr	0,9	0,2	0,3	Tr	2,9	1,9	0,4	Tr	1	Tr	0,9	0,5	0,1	-
Allanita	-	-	-	0,1	-	-	Tr	0,1	0,2	Tr	-	0,4	0,1	Tr	-
Opacos	0,1	0,2	0,1	1,4	0,5	0,2	0,6	0,7	0,4	Tr	-	0,3	Tr	0,1	Tr
Titanita	-	0,2	Tr	1,5	0,3	Tr	-	0,2	-	-	-	Tr	-	-	0,1
Apatita	Tr	-	0,5	-	Tr	Tr	-	Tr	Tr	-	-	-	-	-	-
Zircão	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	-	-	Tr	Tr	Tr	-	Tr	-	-	Tr
Epidoto ^(s)	Tr	Tr	0,1	-	-	Tr	-	Tr	Tr	0,1	-	0,1	0,1	Tr	0,5
Muscovita ^(s)	-	-	-	-	-	-	-	-	Tr	0,1	-	0,1	-	Tr	-
Clorita ^(s)	Tr	-	-	Tr	-	-	-	-	Tr	-	-	-	-	-	-
Carbonato ^(s)	Tr	-	-	-	-	-	Tr	-	Tr	-	-	-	0,2	-	-
Escapolita ^(s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Tr	0,4	-
A+P	52,2	56,9	60,7	44	46,3	49,6	48,1	59,1	59,5	58,5	57	54,9	55,3	65,9	62,7
Máficos	13,9	11,5	10,5	17,9	16,3	16,6	28,9	8,5	8,3	8,6	4	6,6	8,2	2,1	4,5
Plagioclásio**	60,77	63,8	67,45	50,67	55,28	60,41	70,12	60,75	62,3	60,22	59,45	56,65	61,72	61	57,97
Quartzo**	39,23	34,82	31,87	46,14	44,48	39,59	29,88	35,2	34,97	35	40,13	40,65	37,37	31,64	33,79
Feldspato Alcalino**	-	1,37	0,67	3,18	0,24	-	-	4,06	2,73	4,78	0,42	2,70	0,91	7,37	8,24
Nº de Pontos	2000	2000	2000	1862	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1800	2000	1800

* = amostra com análise química; (s) = mineral secundário; - = mineral não observado na amostra; Tr = mineral presente na rocha, mas não registrado na contagem modal; ** = recalculado a 100%.

ASPECTOS TEXTURAIS

Tonalito São Carlos

Macroscopicamente são rochas homogêneas, com foliação incipiente. Exibe textura granular a granoblástica, inequigranular, com fenocristais ou porfiroclastos de granulação média de plagioclásio e anfibólio em matriz fina fortemente recristalizada (Figura 2-4a). São rochas com acentuado grau de recristalização que causa obliteração de suas características magmáticas primárias. Exibem, por vezes, microbandamento composicional, com alternância de bandas enriquecidas em minerais félsicos e outras em máficos.

O *plagioclásio* ocorre como cristais hipidiomórficos, inequigranulares de granulação média ou como porfiroclastos ocelares de contornos irregulares envoltos por finos cristais de plagioclásio, quartzo, biotita e anfibólio provenientes de recristalização (Figura 2-4b). Os cristais finos de plagioclásio da matriz exibem, assim como o quartzo, texturas em mosaico. As maclas de deformação predominam sobre as maclas de crescimento e *kinks* são comuns. Em algumas amostras observa-se forte saussuritização.

O *quartzo* apresenta-se sempre recristalizado, na forma de subgrãos e neogrãos, e define agregados de cristais finos intensamente estirados conforme a foliação da rocha, os quais contornam os fenocristais de plagioclásio e anfibólio.

O *feldspato alcalino* mostra disposição intersticial e foi afetado pela deformação imposta a essas rochas. São cristais xenomórficos, com granulação fina ou raramente média, dispersos na rocha ou presentes no interior do plagioclásio, possivelmente representando antipertitas.

Os cristais de *anfíbólio* são hipidiomórficos, inequigranulares de granulação média, localmente fina. Forma fenocristais com textura poiquilítica (Figura 2-4a), com inclusões de plagioclásio, biotita e opacos. Mostra substituição localizada para biotita.

A *biotita* se apresenta como cristais hipidiomórficos, finos, associada aos agregados de anfibólio, titanita e opacos orientados conforme a foliação da rocha. Ocorre, ainda, inclusa em plagioclásio e anfibólio.

O *epidoto* forma cristais subautomórficos de granulação fina que geralmente se desenvolvem como coroas em torno de cristais subautomórficos de allanita.

A titanita ocorre como cristais hipidiomórficos a automórficos, de granulação fina, muitas vezes associados a opacos ou formando coroas que envolvem os cristais dos mesmos. Minerais opacos são hipidiomórficos, finos e estão associados à titanita e anfibólio. Apatita,

zircão e monazita (?) aparecem como diminutos cristais inclusos em plagioclásio, anfibólio e biotita.

Epidoto, carbonato e escapolita são produtos da alteração do plagioclásio e a clorita é originada a partir da biotita.

Trondhjemito Colorado

Macroscopicamente mostram bandamento composicional definido pela alternância de bandas de coloração cinza escuro (tonalíticas) a cinza claro (trondhjemíticas). Exibem textura granular a granoblástica poligonal média a fina, com fenocristais ou porfiroclastos de plagioclásio (Figura 2-4c). É marcante a intensa deformação e recristalização a que foram submetidas tais rochas e que originaram texturas protomiloníticas a miloníticas. Ela afeta principalmente os cristais de plagioclásio e quartzo, os quais desenvolvem subgrãos e neogrãos, muitas vezes mascarando a textura original. Possuem microbandamento composicional definido pela alternância de bandas quartzo-feldspáticas com níveis relativamente enriquecidos em micas.

Os cristais de *plagioclásio* são inequigranulares e tiveram suas feições texturais ígneas obliteradas pela recristalização. Dois tipos de cristais são observados: porfiroclastos ovalados de granulação média e contornos irregulares, que constituem resquícios do plagioclásio original, e cristais finos com textura em mosaico que envolvem e tendem a contornar os cristais maiores. O zoneamento composicional é pouco evidente e as maclas podem ser de crescimento e também de deformação, predominando as primeiras. Nas porções mais deformadas são observadas microfraturas e *kinks*.

O *quartzo* é o mineral mais afetado pela recristalização. Forma principalmente agregados de cristais finos dispostos ao redor de porfiroclastos de plagioclásio, produto de cominuição. Persistem, no entanto, alguns cristais xenomórficos médios a finos, estirados e com forte extinção ondulante, os quais exibem subgrãos e neogrãos em suas bordas.

Os cristais de *feldspato alcalino* são finos, intersticiais, xenomórficos e possuem contatos curvos (Figura 2-4d). São tardios na cristalização magmática e também foram afetados pela recristalização, formando cristais em mosaico. Apenas nas variedades granodioríticas constatou-se a presença escassa de lamelas sódicas (pertitas). São comuns manchas irregulares finas de feldspato alcalino em cristais de plagioclásio, que podem representar antipertitas ou, substituição do plagioclásio pelo feldspato potássico (Figura 2-4e).

A *biotita* forma agregados de lamelas, de granulação fina a média, orientadas conforme a foliação da rocha, associadas com muscovita e epidoto, com os quais possui

contatos retos. As micas geralmente se amoldam aos cristais de plagioclásio e podem formar *microkinks* (Figura 2-4f), e a biotita também se apresenta como inclusões nestes. Os cristais de *Epidoto* magmático são hipidiomórficos a idiomórficos e, por vezes, mostram zoneamento composicional ou formam coroas envolvendo allanita.

Os minerais acessórios são: allanita em cristais hipidiomórficos a automórficos, finos, por vezes zonada; opacos em cristais finos hipidiomórficos a automórficos os quais podem apresentar coroas de titanita e epidoto; a titanita ocorre, ainda, em cristais finos isolados; apatita e zircão formam diminutos cristais prismáticos hipidiomórficos a idiomórficos, inclusos em plagioclásio, biotita e quartzo.

Os minerais produtos de alteração secundária são: mica branca, carbonato, epidoto e escapolita, formados a partir do plagioclásio, e clorita, produto de alteração da biotita.

Enclaves

Enclaves de composição anfibolítica e tonalítica são encontrados no interior das rochas do Trondhjemito Colorado. São *enclaves* alongados, que possuem a mesma orientação da foliação da rocha.

Enclaves anfibolíticos

Estes *enclaves* mostram características petrográficas que permitem correlacioná-los aos *greenstone belts*. São rochas bastante deformadas, com granulação fina a muito fina, com níveis ricos em anfibólio, biotita e opacos, intercalados a níveis predominantemente félsicos (quartzo-feldspáticos). Duas variedades de anfibolitos podem ser reconhecidas: uma com granulação fina, que possui anfibólio e biotita como minerais máficos dominantes, e outra com granulação muito fina que possui somente anfibólio como mineral máfico e tem como característica principal a substituição do plagioclásio por epidoto e carbonato.

Enclaves tonalíticos

Tais *enclaves* possuem dimensões centimétricas, formas alongadas e apresentam contatos irregulares com a encaixante com evidências de reabsorção. São bastante deformados e possuem granulação fina a muito fina. Mostram associação mineralógica similar às encaixantes, porém os *enclaves* diferem pelo maior conteúdo modal de minerais máficos que atingem proporção em torno de 30%.

MICROESTRUTURAS

As amostras do Tonalito São Carlos e do Trondhjemito Colorado se encontram recristalizadas, no entanto a recristalização é mais intensa no primeiro. As rochas de ambas unidades exibem textura granular a granoblástica e mostram foliação penetrativa, caracterizada pela orientação preferencial dos minerais máficos e do quartzo, em geral contornando porfiroclastos ovalados de plagioclásio, que se encontram envolvidos por finos cristais resultantes de redução de grão e recristalização.

Os aspectos texturais descritos acima indicam que as rochas estudadas passaram por dois estágios de deformação, um estágio onde os efeitos dinâmicos causados por esforços orientados prevaleceram sobre os efeitos termais e um segundo estágio dominado por efeitos térmicos, responsável pela recristalização dos minerais e desenvolvimento de texturas em mosaico (Paschier & Trouw 1996, Fraga 2002, Vernon 2004).

Os efeitos da recristalização dinâmica nas rochas são indicados pelo caráter bimodal de sua granulação, pelo desenvolvimento de foliação e pela forma ocelar dos plagioclásios. As micas revelam os efeitos da deformação, sobretudo por meio da orientação e dobramentos dos seus cristais. No plagioclásio, os aspectos mais marcantes são a granulação bimodal com porfiroclastos médios ovalados circundados em suas bordas por agregados de finos cristais provenientes de recristalização, a presença comum de maclas de deformação e, finalmente, a ausência de zoneamento composicional em seus cristais, que sugere ter sido sua composição homogeneizada. Os efeitos da deformação são, porém, ainda mais marcantes no quartzo, cujos cristais começam por mostrar extinção ondulante, sofrem microgranulação e desenvolvem subgrãos dispostos segundo *ribbons* alongados. A migração de limite de grãos é indicada pelos contatos serrilhados e irregulares dos cristais neoformados e pela geração de novos grãos de granulação semelhante.

O fato de a deformação ser claramente dúctil e de a recristalização ter afetado não só o quartzo, mas também o plagioclásio revela que foram atingidas temperaturas elevadas, provavelmente situadas no intervalo entre 500°C e 650°C durante o processo (Paschier & Trouw 1996, Fraga 2002, Vernon 2004).

A recristalização estática atuou no sentido de estabilizar a energia do sistema após cessado o esforço. Sua atuação é revelada pela textura em mosaico, presente em grande parte das amostras estudadas e responsável pela textura granoblástica conferida a elas.

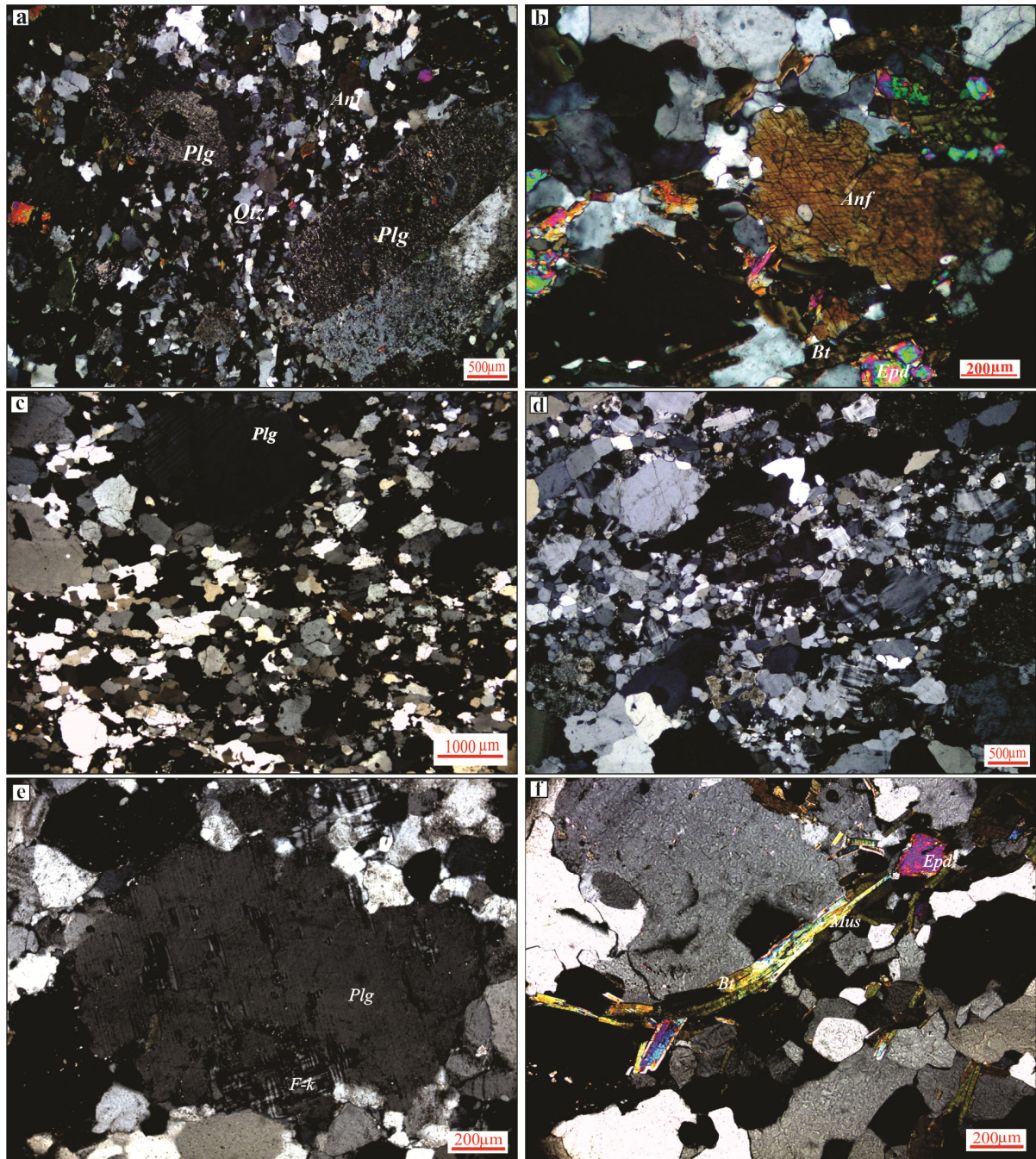


Figura 2-4 – Aspectos texturais (fotomicrografias em nicóis cruzados) do Tonalito São Carlos (A e B) e do Trondhjemite Colorado (C a F). A) Aspecto geral do anfibólio-biotita tonalito, mostrando porfiroclastos ovalados de plagioclásio fortemente alterados com recristalização ao longo de suas bordas (AMP-92); B) anfibólio associado a biotita e epidoto (AMP-80A); C) Porfiroclastos ovalados de plagioclásio em matriz quartzo-feldspática fina, recristalizada (AMP-99); D) Grãos xenomórficos finos de feldspato alcalino na matriz (AMP-74D); E) Fenocristal de plagioclásio com manchas irregulares de feldspato potássico (MAR-58); F) Muscovita e biotita orientadas que mostram contatos retos, contornam cristal de plagioclásio e possuem associado cristal idiomórfico de epidoto (MAR-101B);

GEOQUÍMICA

Foram realizadas análises químicas de elementos maiores, menores e elementos traço, incluindo terras raras, em 6 amostras do Tonalito São Carlos (Tabela 2-5) e em 14 amostras representativas do Trondhjemitito Colorado (Tabela 2-6). As análises químicas foram realizadas no Laboratório ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTDA. Os elementos maiores e menores foram analisados por ICP-ES e os elementos-traço, incluindo os elementos terras raras, foram analisados por ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry). Os pacotes analíticos utilizados foram 4A e 4B, sendo os métodos empregados e os limites de detecção informados no site www.acmelab.com.

ELEMENTOS MAIORES E MENORES

No Tonalito São Carlos, o conteúdo de sílica é moderado (62,5 a 67,8%) e o de alumina relativamente elevado (15,6 a 16,4%; Tabela 2-5). A média da somatória dos teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Mn} + \text{TiO}_2$ é alta (ca.7%). O conteúdo médio de CaO é de 4,5%, tendo sido obtido o valor mínimo de 3,9 % na única amostra da variedade biotita-anfibólio tonalito analisada, a qual apresenta valor máximo de sílica (67,8%) e menor conteúdo modal de máficos (11,7%; Tabela 2-3). Os conteúdos de Na_2O oscilam em torno de 4,5% e os de K_2O são baixos ($\leq 1,52\%$), o que leva a uma razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ média de 0,31.

No Trondhjemitito Colorado, os conteúdos de sílica variam de 68,8% a 73,1%, não havendo diferenças muito marcantes nas diferentes variedades, embora seja clara a tendência ao crescimento dos tonalitos para os trondhjemitos, ainda que com superposições (Tabela 2-6; Figura 2-5). Os conteúdos de Al_2O_3 no Trondhjemitito Colorado variam de 14,9 a 16,2% e o valor médio é de 15,6% (Tabela 2-6), o que caracterizaria o conjunto como TTG de alta alumina segundo Barker (1979). Os valores da somatória dos teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2$ são baixos (média de 3,3%). O conteúdo médio de CaO é de ca. 3%. Os conteúdos de Na_2O (4,8 a 5,4%) são elevados para rochas graníticas, mas normais para granitóides sódicos de associação TTG (Moyen & Martin 2012), e os de K_2O são muito baixos (0,93 a 1,39 % nos tonalitos e trondhjemitos), o que leva a razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ em geral inferiores a 0,30, com valor médio de 0,24 (Tabela 2-6).

Foram analisadas uma amostra de cada variedade de enclave. O enclave anfibolítico possui composição máfica com 51% de sílica e altos teores de MgO e CaO, ao passo que o enclave tonalítico apresenta conteúdo bem mais elevados de sílica e K_2O (Tabela 2-6).

Diagramas de Harker (Figura 2-5) revelam que os óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO, CaO, P_2O_5 e K_2O mostram em ambas as unidades correlação negativa com sílica, Al_2O_3 mostra

correlação positiva com SiO_2 no caso do Tonalito São Carlos (Figura 2-5b) e Na_2O para ambos granitóides. Apesar da coincidência em termos de correlação com a sílica para os dois granitóides, constata-se *trends* com inclinações distintas no caso de TiO_2 , P_2O_5 , Na_2O e K_2O (Figuras 2-5a, f, g, h).

ELEMENTOS TRAÇO

O comportamento dos elementos traço em diagramas de Harker (Figura 2-6) no Tonalito São Carlos e no Trondhjemitito Colorado mostra-se bastante diversificado.

De modo geral, no Tonalito São Carlos, Ba, Sr e Zr mostram correlação positiva com sílica (Figuras 2-6a, b, d) e, portanto, comportamento compatível, enquanto Rb, Y e Yb (Figuras 2-6c, e, f) exibem correlação negativa e comportamento incompatível. Já no Trondhjemitito Colorado, Ba, Rb, Zr e Y mostram correlação negativa com sílica (Figuras 2-6a, c, d, e), ao passo que o Sr revela correlação positiva (Figura 2-6b), comportando-se como elemento incompatível, e o Yb não mostra variações significativas (Figura 2-6f).

A razão Rb/Sr (Figura 2-6g) é mais baixa e mostra correlação positiva com a sílica no Trondhjemitito Colorado, enquanto que no Tonalito São Carlos observa-se correlação negativa. O comportamento da razão Sr/Ba é semelhante, porém com valores mais elevados no Tonalito Carlos (Figura 2-6h) do que no Trondhjemitito Colorado e muito baixos nas duas amostras de granodiorito (Tabela 2-6, Figura 2-6h).

Tabela 2-5 – Composições químicas do Tonalito São Carlos.

Litologia	(Epidoto)-Anfibólio-Biotita Tonalito					Biotita-Anfibólio Tonalito
	Amostras/ Elementos	AFD-30A	AMP-80A	AFD-13A	AFD-26/ CDGW-115	ADE-15
(% peso)						
SiO ₂	62,50	65,40	65,54	65,81	66,75	67,88
TiO ₂	0,52	0,48	0,53	0,44	0,42	0,47
Al ₂ O ₃	15,65	16,18	16,11	16,40	16,34	15,64
Fe ₂ O ₃	6,52	4,78	4,77	4,33	4,04	4,06
MnO	0,10	0,07	0,05	0,07	0,05	0,04
MgO	2,55	1,66	1,91	1,61	1,30	1,46
CaO	5,77	4,22	4,29	4,38	4,23	3,95
Na ₂ O	3,80	4,59	4,64	4,49	4,83	4,50
K ₂ O	1,47	1,52	1,29	1,52	1,16	1,19
P ₂ O ₅	0,16	0,12	0,15	0,15	0,11	0,14
PF	0,8	0,8	0,5	0,6	0,6	0,5
TOTAL	99,84	99,82	99,78	99,8	99,83	99,83
(ppm)						
Ba	308	490	619	397	545	624
Sr	335,2	375,8	470,5	401,1	421,1	440,5
Rb	53,6	49,1	45,8	67,3	57,1	45,6
Zr	107,4	104,4	129,2	153,8	143,6	172,7
Y	18,1	11,6	12,5	19,3	8,3	3,8
Hf	2,9	3	3,1	4,6	3,4	4,7
Nb	6,9	3,8	5,1	6,6	3,7	3,2
Ta	0,6	0,5	0,5	0,8	0,6	0,4
V	96	62	69	64	57	63
U	0,3	0,2	0,1	1,3	0,6	0,2
Th	3	1,1	1	2	3,5	0,5
Pb	3,3	0,5	0,4	0,8	1,1	0,3
Ni	18,1	14,9	18,3	24,1	8,4	16,4
La	9,40	11,20	26,40	14,60	17	17,60
Ce	21,50	22,60	58,80	20,80	28,90	31,50
Pr	2,91	2,83	7,50	4,14	3,63	3,43
Nd	14,70	12,6	31,80	19,10	13,20	12
Sm	3,53	2,56	5,23	3,83	2,29	1,68
Eu	0,94	0,64	0,86	1,17	0,69	0,63
Gd	3,52	2,45	3,93	3,79	1,86	1,19
Tb	0,55	0,36	0,55	0,54	0,30	0,15
Dy	3,08	1,94	2,77	3,14	1,54	0,72
Ho	0,59	0,38	0,46	0,53	0,30	0,11
Er	1,82	1,10	1,24	1,56	0,80	0,38
Tm	0,28	0,17	0,17	0,25	0,10	0,06
Yb	1,78	0,99	0,86	1,34	0,74	0,24
Lu	0,26	0,15	0,12	0,23	0,10	0,05
A/CNK	0,85	0,96	0,96	0,96	0,97	0,99
#Mg	0,44	0,41	0,44	0,42	0,39	0,42
Rb/Sr	0,16	0,13	0,10	0,17	0,14	0,10
Sr/Ba	1,09	0,77	0,76	1,01	0,77	0,71
Nb/Ta	11,50	7,60	10,20	8,25	6,17	8,00
K ₂ O/Na ₂ O	0,39	0,33	0,28	0,34	0,24	0,26
(La/Yb)N	3,57	7,64	20,74	7,36	15,52	49,54
Eu/Eu*	0,81	0,77	0,56	0,93	0,99	1,30

Tabela 2-6 - Composições químicas do Trondhjemito Colorado.

Litologia	Enclaves		(Epidoto)-Biotita Tonalito				(Epidoto-Muscovita)-Biotita Trondhjemito							
	MAR-71 (Anf)	MAR-101A (Ton)	MAR-70A	AMP-34B	AFD-14	AFD-12/AMP-99	MAR-102	AMP-88B	AFD-20	AFD-19	ADE-01A	MAR-85	AMP-60	AFD-17
(% peso)														
SiO ₂	51,47	63,14	68,81	68,94	70,66	71,71	69,66	69,84	70,20	71,31	71,64	72,85	73,08	73,11
TiO ₂	0,77	0,65	0,38	0,37	0,24	0,30	0,26	0,27	0,25	0,20	0,27	0,22	0,15	0,12
Al ₂ O ₃	14,69	16,31	16,16	15,81	15,78	15,18	16,18	16,08	16,26	15,47	15,18	14,94	15,16	15,05
Fe ₂ O ₃	12,13	6,23	3,25	3,43	2,32	1,89	2,47	2,52	2,20	2,23	2,43	1,82	1,48	1,93
MnO	0,20	0,11	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
MgO	6,80	1,84	1,08	1,01	0,86	0,80	0,68	0,76	0,72	0,61	0,63	0,58	0,41	0,25
CaO	9,03	4,29	3,60	3,06	3,46	3,14	3,03	3,42	2,94	3,12	3,08	2,96	2,73	2,55
Na ₂ O	3,01	4,17	4,70	5,05	4,83	4,82	5,44	5,00	5,48	4,97	5,06	4,98	5,30	5,45
K ₂ O	0,98	2,20	1,24	1,39	1,24	1,35	1,22	1,29	1,33	1,17	1,09	0,93	0,93	0,89
P ₂ O ₅	0,04	0,17	0,08	0,11	0,09	0,11	0,08	0,08	0,06	0,08	0,06	0,03	0,02	0,02
PF	0,60	0,70	0,50	0,60	0,30	0,50	0,80	0,50	0,40	0,70	0,40	0,50	0,60	0,50
TOTAL	99,78	99,77	99,84	99,80	99,82	99,83	99,83	99,80	99,86	99,86	99,83	99,83	99,88	99,90
(ppm)														
Ba	96,0	723	459	714	518	538,0	609	558	385	329	525	405	260	209
Sr	179,5	450,8	436,6	617,9	582,4	582,9	530,1	830,2	421,1	489	532,1	554,8	606,2	456,6
Rb	13,3	62,6	56,6	72,8	40,7	47,9	28,9	36,3	49,3	37,4	41,9	43,8	27,0	32,2
Zr	49,7	137,6	99,5	132,6	140,5	152,8	110,9	111,2	116,6	114	130,1	201,4	79,0	73,3
Y	17,3	17,2	2,0	5,2	2,0	3,8	3,9	1,9	3,4	1,3	2,2	1,9	0,7	2,8
Hf	1,9	3,8	3,0	3,5	3,6	3,9	3,0	2,9	3,0	3,2	3,5	5,4	2,3	3,0
Nb	3,1	4,1	3,3	5,1	2,2	2,3	2,1	1,4	5,2	2,2	1,9	2,2	1,9	3,4
Ta	0,3	0,7	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,5	0,7	0,4	0,6	0,3	0,5
V	242	76,0	38,0	41,0	23,0	21,0	20,0	30,0	32,0	41,0	28,0	16,0	12,0	33,0
U	0,4	0,8	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,4	0,1	0,6	0,4	0,2	0,9
Th	1,4	3,3	10,2	5,0	15,6	3,0	3,0	1,8	4,7	1,0	3,4	20,3	0,2	7,3
Pb	0,6	1,4	3,5	1,8	3,7	1,3	1,4	2,0	1,3	0,8	2,1	4,9	0,3	4,0
La	8,40	22,00	38,00	19,50	58,80	22,00	23,00	16,60	24,60	13,50	22,30	49,90	3,50	2,90
Ce	20,40	42,80	59,30	35,50	100,1	36,40	27,70	28,60	43,50	21,00	39,10	90,30	5,70	4,60
Pr	2,62	5,16	6,30	4,18	9,20	3,39	4,17	2,89	4,90	2,04	3,86	8,49	0,54	0,55
Nd	9,90	20,90	21,90	15,00	25,80	10,80	16,50	10,30	15,60	6,60	13,50	28,10	1,80	2,00
Sm	2,48	4,17	2,30	2,27	2,32	0,96	2,16	1,13	2,37	0,77	1,43	2,85	0,29	0,39
Eu	0,88	1,09	0,53	0,59	0,66	0,55	0,60	0,46	0,60	0,59	0,61	0,60	0,37	0,54
Gd	3,02	3,70	1,19	1,56	1,10	0,59	1,46	0,59	1,15	0,41	0,75	1,23	0,26	0,38
Tb	0,53	0,60	0,11	0,22	0,10	0,07	0,16	0,08	0,15	0,05	0,09	0,11	0,04	0,07
Dy	3,09	3,20	0,41	0,96	0,44	0,31	0,73	0,40	0,68	0,24	0,38	0,42	0,14	0,35
Ho	0,67	0,64	0,06	0,22	0,05	0,08	0,10	0,04	0,11	0,02	0,05	0,05	0,02	0,05
Er	1,97	1,91	0,14	0,43	0,17	0,23	0,38	0,10	0,28	0,14	0,18	0,15	0,09	0,19
Tm	0,31	0,28	0,02	0,08	0,02	0,03	0,04	0,02	0,04	<0,01	0,03	0,03	<0,01	0,03
Yb	2,05	1,84	0,07	0,30	0,14	0,16	0,18	0,14	0,10	<0,05	0,20	0,17	<0,05	0,15
Lu	0,28	0,25	0,04	0,07	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,06
A/CNK	0,65	0,96	1,03	1,03	1,01	1,01	1,03	1,02	1,03	1,02	1,01	1,02	1,03	1,03
#Mg	0,53	0,37	0,40	0,37	0,42	0,46	0,35	0,37	0,39	0,35	0,34	0,39	0,35	0,20
Rb/Sr	0,07	0,14	0,13	0,12	0,07	0,08	0,05	0,04	0,12	0,08	0,08	0,08	0,04	0,07
Sr/Ba	1,87	0,62	0,95	0,87	1,12	1,08	0,87	1,49	1,09	1,49	1,01	1,37	2,33	2,18
Nb/Ta	10,33	5,86	11,00	12,75	4,40	4,60	7,00	3,50	10,40	3,14	4,75	3,67	6,33	6,80
K ₂ O/Na ₂ O	0,33	0,53	0,26	0,28	0,26	0,28	0,22	0,26	0,24	0,24	0,22	0,19	0,18	0,16
(La/Yb)N	2,77	8,08	367,17	43,91	283,6	92,94	86,32	80,06	166,3	>270	75,39	198,5	>70	13,06
Eu/Eu*	0,98	0,83	0,88	0,91	1,11	2,08	0,98	1,55	0,98	2,9	1,62	0,84	4,04	4,24

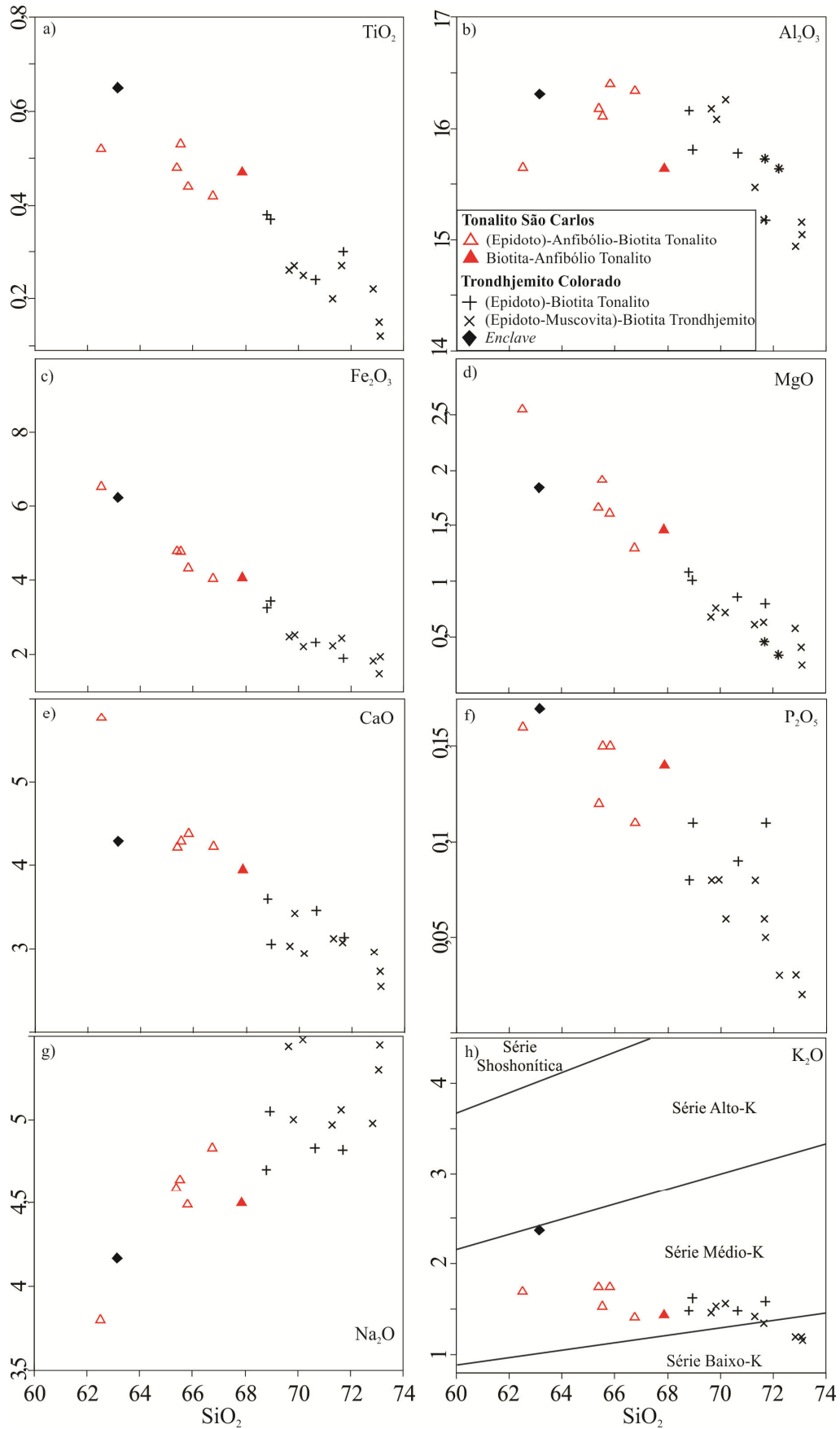


Figura 2-5 – Diagramas de Harker para os óxidos (% em peso) de elementos maiores de amostras representativas do Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado. Campos no diagrama SiO_2 - K_2O conforme Peccerillo & Taylor (1976).

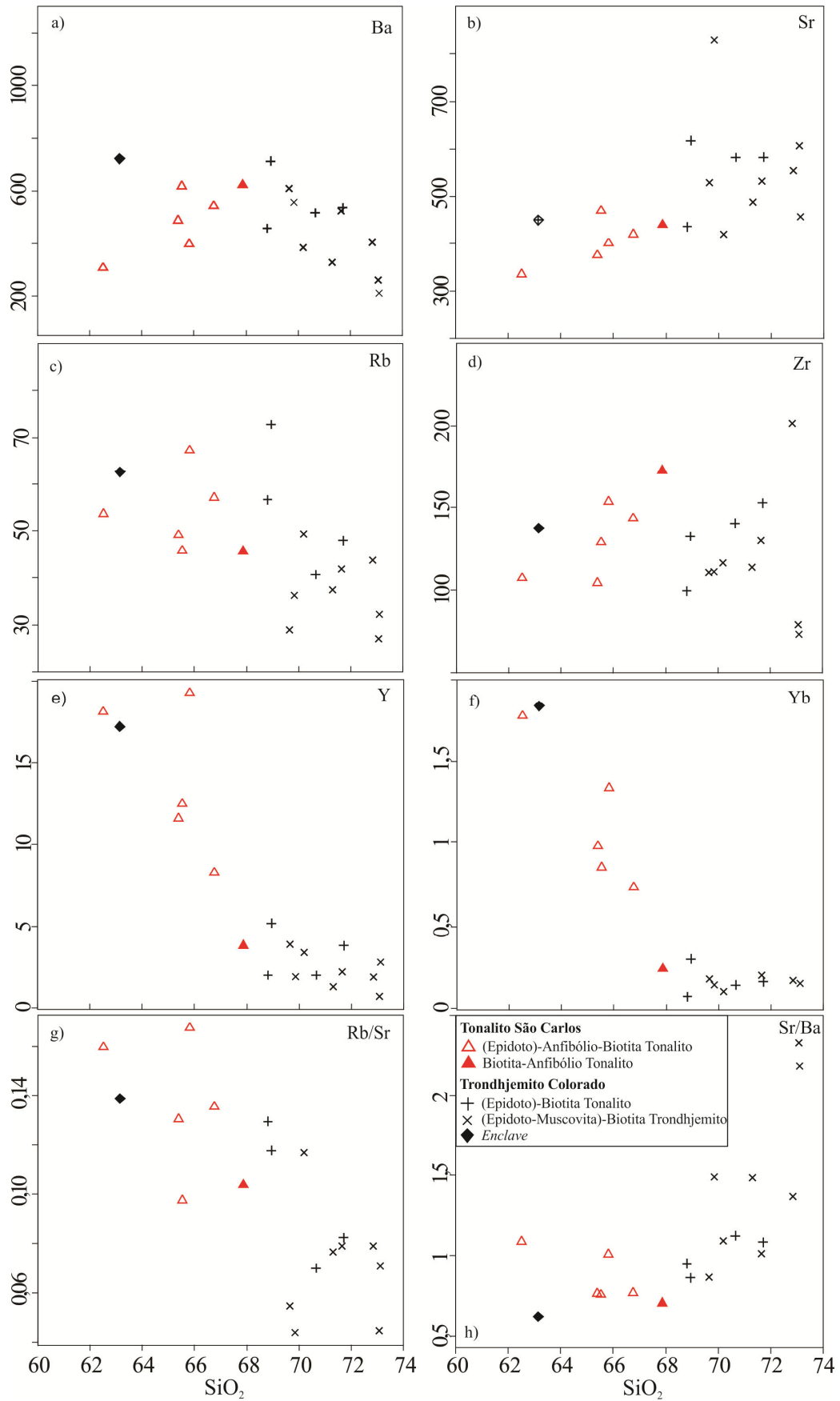


Figura 2-6 – Diagramas de Harker para os elementos traço de amostras representativas do Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado. SiO_2 em % em peso e elementos traço em ppm.

Elementos terras raras

Os resultados das análises de Elementos Terras Raras (ETR) revelam que o Tonalito São Carlos, em comparação com o Trondhjemito Colorado, apresenta menores valores do somatório de ETR, o que reflete seus teores mais baixos de ETR leves, ao passo que os seus conteúdos de ETR pesados são mais elevados (Tabelas 2-5 e 2-6). Os padrões de ETR com valores normalizados pelos dos condritos (Evensen *et al.* 1978) revelam que o (epidoto)-anfíbólio-biotita tonalito, variedade amplamente dominante no Tonalito São Carlos mostra fracionamento baixo a moderado de ETR pesados em relação aos leves [$3,57 \leq (La/Yb)_n \leq 20,74$; Tabela 2-5, Figura 2-7a)], e anomalias negativas de Eu discretas ou mesmo positivas ($0,56 \leq Eu/Eu^* \leq 1,3$).

As amostras analisadas do Trondhjemito Colorado mostram $(La/Yb)_n$ com variação entre 75,39 e >367 (valor mínimo da amostra AFD-19), exceto nas amostras AFD-17 (13,06) e AMP-34B (43,91) (Tabela 2-6) e dois padrões de ETR distintos. O primeiro padrão (Figura 2-7b) mostra comportamento típico de TTGs (Martin 1987, Condie 2005, Moyen & Martin 2012), com acentuado fracionamento de ETR pesados em relação aos leves, e anomalias negativas de Eu pouco marcadas ($0,84 \leq Eu/Eu^* \leq 0,98$). O segundo padrão (Figura 2-7c) é fornecido por amostras com anomalias positivas de Eu ($1,11 \leq Eu/Eu^* \leq 4,24$) e teores mais reduzidos de ETR leves (Tabela 2-6), o que implica tendência a apresentarem menores razões $(La/Yb)_n$ e, aparentemente, menor fracionamento de ETR pesados em relação aos leves. As anomalias positivas de Eu ocorrem tanto na variedade tonalítica quanto na variedade trondhjemítica, mas são raras nos tonalitos (Tabela 2-6). Ambos os padrões exibem concavidade no segmento dos ETR pesados (Figura 2-7b, c), indicando que anfíbólio foi fase importante durante o fracionamento. As amostras de enclaves anfibolíticos e tonalíticos possuem baixas razões $(La/Yb)_N$ e contrastam nesse aspecto com os trondhjemitos e tonalitos.

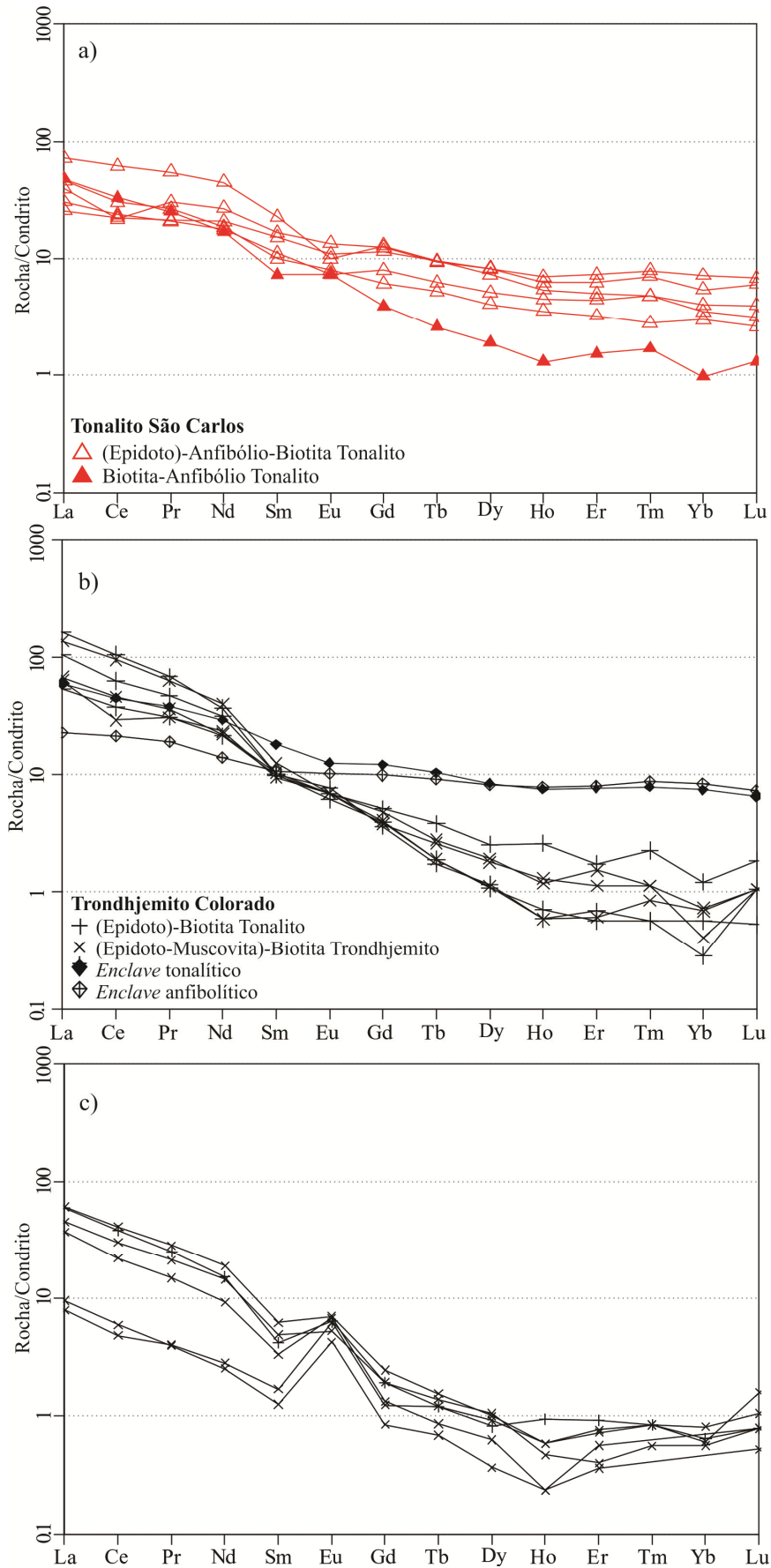


Figura 2-7 – Padrões de ETR de granitóides arqueanos da área de Vila Jussara normalizados em relação ao condrito (Evensen *et al.* 1978). a) Tonalito São Carlos, b) e c) Trondhjemito Colorado.

CARACTERIZAÇÃO DA SÉRIE MAGMÁTICA

As rochas do Tonalito São Carlos são metaluminosas e as do Trondhjemitó Colorado são francamente peraluminosas (Tabelas 2-5 e 2-6; Figura 2-8a, diagrama baseado no índice de Shand proposto por Maniar & Piccoli 1989). No diagrama AFM (Figura 2-8b), as amostras das duas associações granitóides se situam no campo da série cálcico-alcálica (Irvine & Baragar 1971).

No diagrama normativo An-Ab-Or (Figura 2-8c), as amostras do Trondhjemitó Colorado ocupam principalmente o campo dos Trondhjemitos, com raras amostras no campo dos tonalitos, tal como ocorre com as típicas séries TTG arqueanas. Nesse diagrama, o Tonalito São Carlos plota no campo dos tonalitos. No diagrama K_2O vs. SiO_2 (Figura 2-5h), as amostras do Tonalito São Carlos ocupam o campo das séries de médio-K, enquanto que as do Trondhjemitó Colorado caem preferencialmente nesse mesmo campo, porém adentram aquele das rochas de baixo-K.

No diagrama K-Na-Ca (Figura 2-8d), as amostras de ambas as unidades caem no campo dos trondhjemitos arqueanos (Martin 1994, Moyen & Martin 2012), em consequência dos seus baixos conteúdos de K_2O . Apenas uma amostra do Tonalito São Carlos plota fora daquele campo e mais próxima do *trend* cálcico-alcálico (Barker & Arth 1976).

No Trondhjemitó Colorado, excetuando duas amostras, o número de magnésio (#Mg) varia de 0,34 a 0,46 (Tabela 2-6). Já no Tonalito São Carlos, os valores de #Mg apresentam menor variação (0,39 a 0,44, Tabela 2-5) e se superpõem com o intervalo superior do Trondhjemitó Colorado.

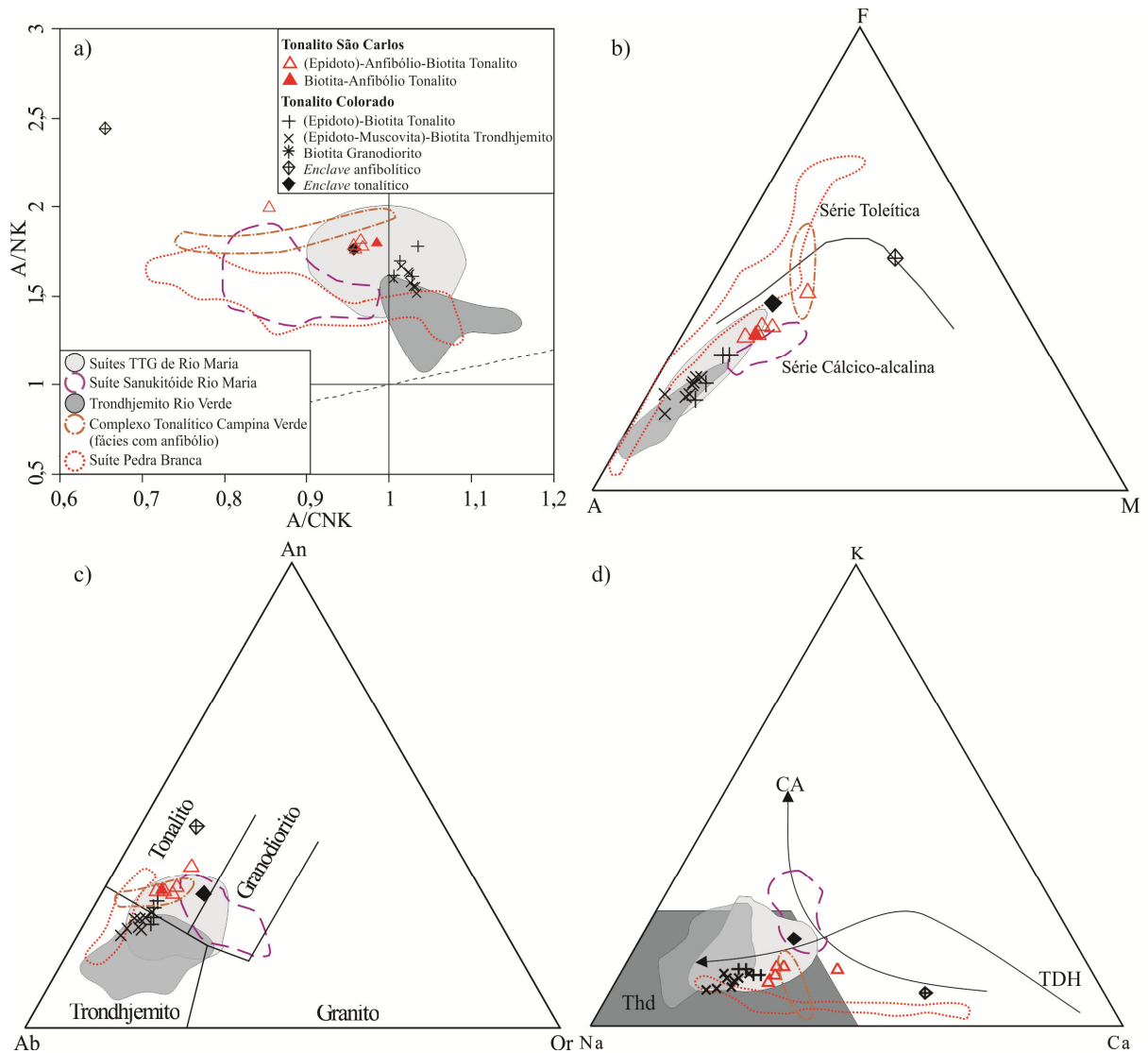


Figura 2-8 – Caracterização geoquímica do Tonalito São Carlos e Trondhjemite Colorado: a) Diagrama $[Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)]mol$ vs. $[Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)]mol$ (Maniar & Piccoli 1989); b) Diagrama AFM (A= Na_2O+K_2O ; F= $FeO+0,9*Fe_2O_3$; M= MgO; campos de Irvine & Baragar 1971); c) Diagrama An-Ab-Or normativo (campos de Barker 1979); d) Diagrama K-Na-Ca (trends CA=cálcio-alcalino e TDH=trondhjemítico, segundo Barker & Arth 1976; campo Thd, conforme Martin, 1994). Fonte dos dados dos campos: Suíte TTG de Rio Maria – Almeida *et al.* (2011); Suíte Sanukitóide Rio Maria – Oliveira *et al.* (2009); Trondhjemito Rio Verde, Complexo Tonalítico Campina Verde e Suíte Pedra Branca - G. R. L. Feio, dados inéditos)

DISCUSSÕES

COMPARAÇÕES ENTRE O TONALITO SÃO CARLOS E O TRONDHJEMITO COLORADO

Além da diferença em idade indicada por dados geocronológicos preliminares (Tonalito São Carlos, ca. 2,93 Ga., Guimarães em preparação; Trondhjemitos Colorado, ca. 2,87 Ga., Silva, A.C. 2010), as associações granitóides estudadas neste trabalho diferem em seus aspectos estruturais, petrográficos e geoquímicos. O Trondhjemitos Colorado se distingue do Tonalito São Carlos por apresentar padrão estrutural dominante E-W a NW-SE, concordante com o padrão regional, enquanto que o último possui padrão estrutural dominante NE-SW a N-S. Petrograficamente essas unidades divergem em termos de suas composições modais, pela ausência de anfibólio no Trondhjemitos Colorado, ao passo que este mineral está presente em quantidade significativa no Tonalito São Carlos, ainda que seja menos abundante que a biotita. Os aspectos texturais são semelhantes nas rochas das duas unidades, porém a recristalização é mais pronunciada no Tonalito São Carlos do que no Trondhjemitos Colorado.

As diferenças mais marcantes entre as unidades são expressas em termos de seus comportamentos geoquímicos. O Trondhjemitos Colorado apresenta todas as características geoquímicas das típicas suítes TTGs arqueanas (Martin 1994), conforme recentemente revistas por Moyen & Martin (2012, em sua Tabela 1). Já o Tonalito São Carlos não demonstra afinidade com tais suítes em diversos diagramas geoquímicos apresentados (Figuras 2-7 e 2-8). Uma avaliação mais detalhada, feita em comparação aos critérios empregados na definição de TTGs (Moyen & Martin 2012), mostra que: eles possuem em geral teores de sílica (62 a 68%) compatíveis com os de TTGs, mas situados no intervalo inferior da série (>64% e, geralmente, > 70%); seus conteúdos médios de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2$ são superiores a 5%, o que reflete seu caráter mais máfico quando comparados aos TTGs; seus conteúdos de Al_2O_3 e K_2O e os valores das razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ são compatíveis com os observados em TTGs; suas razões $(\text{La}/\text{Yb})_n$ e suas razões Sr/Y (geralmente inferiores a 50) são menores que as características dos TTGs (Tabela 2-5). Conclui-se que o Tonalito São Carlos não constitui uma típica associação TTG.

COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS TRAÇO E SUAS IMPLICAÇÕES

Os padrões de ETR do Tonalito São Carlos indicam que não houve fracionamento expressivo de fases enriquecidas em ETR pesados, como, por exemplo, anfibólio e granada, nem tampouco de plagioclásio, durante sua evolução magmática. O comportamento incompatível de Sr, Ba e Zr constitui evidência adicional de que não houve fracionamento expressivo de plagioclásio, feldspato potássico e zircão, durante a geração do magma ou sua diferenciação.

Os aspectos coincidentes nos dois padrões de ETR observados no Trondhjemitó Colorado, acentuado fracionamento de ETR e concavidade no segmento de ETR pesados, podem ser explicados por expressivo fracionamento de anfibólio e, eventualmente, granada. A ausência de anomalias negativas de Eu expressivas revela, por sua vez, que o plagioclásio não pode ter sido retido no resíduo de fusão, nem fracionado de modo significativo durante a evolução do magma. A presença de anomalias positivas marcantes de Eu em grande número de amostras não pode ser explicada por eventual acumulação de cristais de plagioclásio, para a qual não se dispõe de nenhuma evidência petrográfica (cf. dados modais; Tabela 2-4). Uma possível explicação, que leva em conta o fato de o empobrecimento ser acentuado em ETR leves e não se observar nos ETR pesados, seria a de que teria havido desestabilização e remoção nessas rochas de fases minerais enriquecidas em ETR leves e com coeficientes de partição menos elevados para Eu e ETR pesados. Uma fase com essas características é a allanita (Henderson 1984, Hanson 1989, Rollinson 1996; H. Martin, comunicação verbal), que está presente nas rochas estudadas. Pode-se admitir que a allanita tenha sofrido desestabilização, talvez preferencialmente ao longo de zonas de cisalhamento, durante o evento de deformação e intensa recristalização neoarqueana, que afetou o Trondhjemitó Colorado de idade mesoarqueana (cf. Figura 2-2). Este processo faria com que os ETR leves fossem em grande parte removidos, mas afetaria muito menos os ETR pesados e Eu, o que justificaria o aparecimento de acentuadas anomalias positivas de Eu (Figura 2-7c). Em outras palavras, as rochas com padrões clássicos de TTGs seriam aquelas menos alteradas por esse processo, ao passo que aquelas com anomalias positivas de Eu e empobrecimento em ETR leves seriam as mais afetadas.

COMPARAÇÕES COM GRANITÓIDES DO DOMÍNIO RIO MARIA, DE CANAÃ DOS CARAJÁS E DE OUTROS CRÁTONS

Como o Tonalito São Carlos não parece corresponder a uma típica associação TTG, procurou-se compará-lo com outras associações de granitóides arqueanos, em particular com

aquelas portadoras de anfibólio. Foram assim escolhidas para comparações a Suíte Sanukitóide Rio Maria do Domínio homônimo, e o Complexo Tonalítico Campina Verde e a Suíte Pedra Branca da área de Canaã dos Carajás na porção extremo norte do Subdomínio de Transição. Para comparações com o Trondhjemitó Colorado foram selecionadas as suítes TTG do Domínio Rio Maria (Leite 2001, Almeida *et al.* 2011) e o Trondhjemitó Rio Verde do Subdomínio de Transição (Feio *et al.* 2012a). Optou-se por fazer uma abordagem conjunta de todas as suítes TTG do Domínio Rio Maria, tanto da geração mais antiga (2,98 a 2,92 Ga.), quanto da geração mais jovem (ca. 2,86 Ga.), por estas possuírem características gerais bastante similares.

O Trondhjemitó Colorado é muito similar em termos de composição modal das associações TTGs de Rio Maria e do Subdomínio de Transição, pois ambas são formadas por tonalitos e trondhjemitos, com granodioritos subordinados, e contém como principais minerais ferromagnesianos biotita e epidoto magmático. Porém, as diferentes associações TTGs de ambos os domínios exibem comportamentos geoquímicos contrastantes em relação a determinados aspectos. Almeida *et al.* (2011) mostraram que os TTGs de Rio Maria pertencem à série alto- Al_2O_3 , plotam no campo médio-K, possuem caráter cálcico-alcalino, e na classificação de Barker (1979) são tonalitos a trondhjemitos com raros granodioritos. São pobres em ferromagnesianos ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2 \leq 5\%$), mostram valores de A/CNK entre 0,9 e 1,1, têm razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ geralmente $< 0,5$, moderado #Mg, e possuem caráter sódico (diagrama K–Na–Ca, Barker e Arth 1976). Todas as características supracitadas são típicas de rochas TTG (Martin 1994, Moyen & Martin 2012), se repetem, com poucas exceções, na associação TTG de Canaã dos Carajás, o Trondhjemitó Rio Verde (Feio *et al.* 2012a), e também são observadas no Trondhjemitó Colorado (Figura 2-8 e Tabela 2-6).

No domínio Rio Maria, as suítes TTG foram divididas por Almeida *et al.* (2011) em grupos com alta, média e baixa razão La/Yb, os quais não apresentam correspondência direta com as diferentes unidades, ou seja, amostras de uma mesma unidade podem pertencer a diferentes grupos. Tal contraste composicional não foi observado nas rochas estudadas, as quais se situam sobrepostas ou próximas ao campo do grupo com altas razões $(\text{La}/\text{Yb})_n$ e Sr/Y (Figuras 2-9a, b), com exceção da amostra (AFD-17) e de dois enclaves que possuem, respectivamente, razão La/Yb média ou baixa. Relação um pouco distinta foi observada no Trondhjemitó Rio Verde (Feio *et al.* 2012), cujas rochas possuem razão $(\text{La}/\text{Yb})_n$ e Yb moderados (Figura 2-9a), e se dividem em subgrupos em razão dos variados valores de Sr/Y (Figura 2-9b). As comparações geoquímicas revelam que o Trondhjemitó Colorado possui maior afinidade geoquímica com as associações TTGs do grupo com elevado Sr e altas razões

(La/Yb)_n e Sr/Y, representadas, principalmente, pelo Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha (Almeida *et al.* 2011).

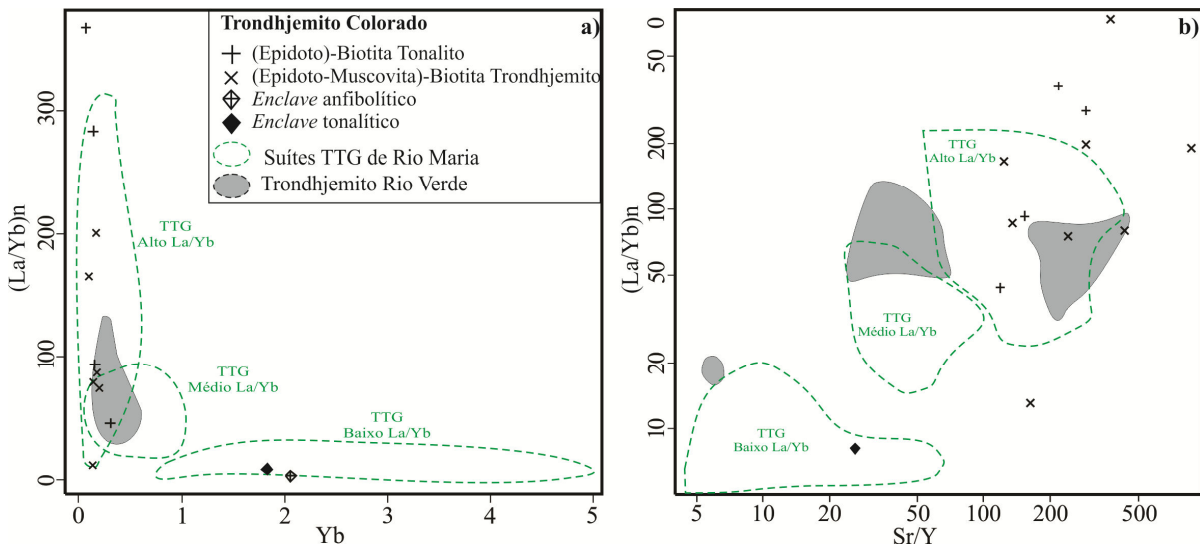


Figura 2-9 – Diagramas binários para comparação entre os TTGs do Domínio Rio Maria e os estudados. a) Diagrama Yb vs. La/Yb; b) Diagrama Sr/Y vs. La/Yb. Fonte dos dados dos campos: Suítes TTG de Rio Maria – Almeida *et al.* (2011); Trondhjemito Rio Verde – G. R. L. Feio, dados inéditos.

Como o Tonalito São Carlos possui anfibólio e biotita como principais minerais ferromagnesianos e se distingue dos TTGs, optou-se por compará-lo com associações arqueanas da Província Carajás que apresentam essas mesmas características, tais como a Suíte Sanukitóide Rio Maria, o Complexo Tonalítico Campina Verde e a Suíte Pedra Branca.

O termo sanukitóide tem sido aplicado na literatura para designar associações granitóides arqueanas que possuem valores elevados de #Mg e altos conteúdos de Cr, Ni, P, LILE (Sr, Ba) e ETR leves (Stern *et al.* 1989, Stern & Hanson 1991, Halla 2005, Martin *et al.* 2005, Lobach-Zhuchenko *et al.* 2005, Oliveira, M.A. *et al.*, 2009, 2011, Heilimo *et al.* 2010). Uma primeira diferença vem do fato que na Suíte Rio Maria há dominância de granodioritos, ao passo que no Tonalito São Carlos há somente ocorrência de tonalitos. Além disso, os diagramas de classificação da série magmática (Figura 2-8) revelam diferenças significativas entre essas unidades. Ambas são formadas por rochas metaluminosas (Figura 2-8a), que incidem no campo cálcico-alcálico no diagrama AFM (Figura 2-8b). No entanto, a Suíte Rio Maria é constituída principalmente por granodioritos com tonalitos subordinados (Figura 2-8c), e no diagrama K-Na-Ca se alinha segundo o trend das séries cálcico-alcálicas (Figura 2-8d), enquanto que as amostras do Tonalito São Carlos não seguem os trends clássicos desse diagrama e incidem no campo trondhjemítico.

Porém os contrastes entre essas duas associações granitóides são mais visíveis em diagramas binários que visam comparar elementos críticos na definição de sanukitóides

(Figura 2-10). Nos diagramas SiO₂ vs #Mg e Ni vs. #Mg (Figuras 2-10a, b), percebe-se que o conteúdo de sílica do Tonalito São Carlos se superpõe com o das amostras mais evoluídas da Suíte Rio Maria, porém os valores de #Mg e Ni são inferiores no Tonalito São Carlos. De modo análogo, constata-se que os conteúdos de Sr e Rb e os valores da razão Rb/Sr (Figuras 2-10c, d) são igualmente menores no Tonalito São Carlos. As diferenças mencionadas entre as composições das rochas das duas unidades indicam que o Tonalito São Carlos não possui afinidade com as suítes sanukitóides em geral e não poderia, portanto, ser correlacionado com aquela de Rio Maria. Isto é reforçado pelo contraste entre as idades dessas mesmas unidades (2,93 Ga. - Tonalito São Carlos; 2,87 Ga. - Suíte Rio Maria; Tabela 2-2).

O Complexo Tonalítico Campina Verde apresenta duas associações distintas, uma formada por variedades contendo anfibólio e biotita como principais minerais ferromagnesianos e outra que possui apenas biotita (Feio *et al.* 2012a). A primeira é metaluminosa e possui maior semelhança petrográfica com o Tonalito São Carlos, enquanto que a segunda é peraluminosa e difere bastante dele, o que reduz o interesse da comparação. As informações disponíveis sobre essa unidade ainda são muito limitadas, mas aparentemente há analogias geoquímicas significativas entre as suas fácies com anfibólio e o Tonalito São Carlos. Os biotita-hornblenda tonalitos do Complexo se situam em campos idênticos aos ocupados pelo Tonalito São Carlos nos diagramas An-Ab-Or, K-Na-Ca, AFM e K₂O-SiO₂ (Feio *et al.* 2012a, suas Figuras 2-4a, 2-4c, 2-5b, 2-5c, respectivamente). Além disso, as razões Sr/Y e os padrões de ETR desses dois granitóides são bastante similares, embora as amostras do Complexo Campina Verde mostrem razões (La/Yb)_n comparativamente mais elevadas (20 a 50). Conclui-se que há interesse em aprofundar a comparação entre esses dois granitóides, embora as idades de 2,87 e 2,85 Ga. obtidas por Feio *et al.* (2012a) indiquem que o complexo é mais jovem que o Tonalito São Carlos (~2,93 Ga.; Guimarães em preparação).

A Suíte Pedra Branca apresenta características geoquímicas particulares. Exibe razões Rb/Sr menores que 0,1 (Figura 2-10c), baixíssimos conteúdos de K₂O, Rb e Sr (Figuras 2-8, 2-10d), e altos teores de Y, Zr e TiO₂, feições estas muito distintas daquelas apresentadas pelo Tonalito São Carlos (Figuras 2-8, 2-10). Estes aspectos e sua idade neoarqueana (~2,75 Ga., Feio *et al.* 2012a) invalidam sua correlação com o Tonalito São Carlos.

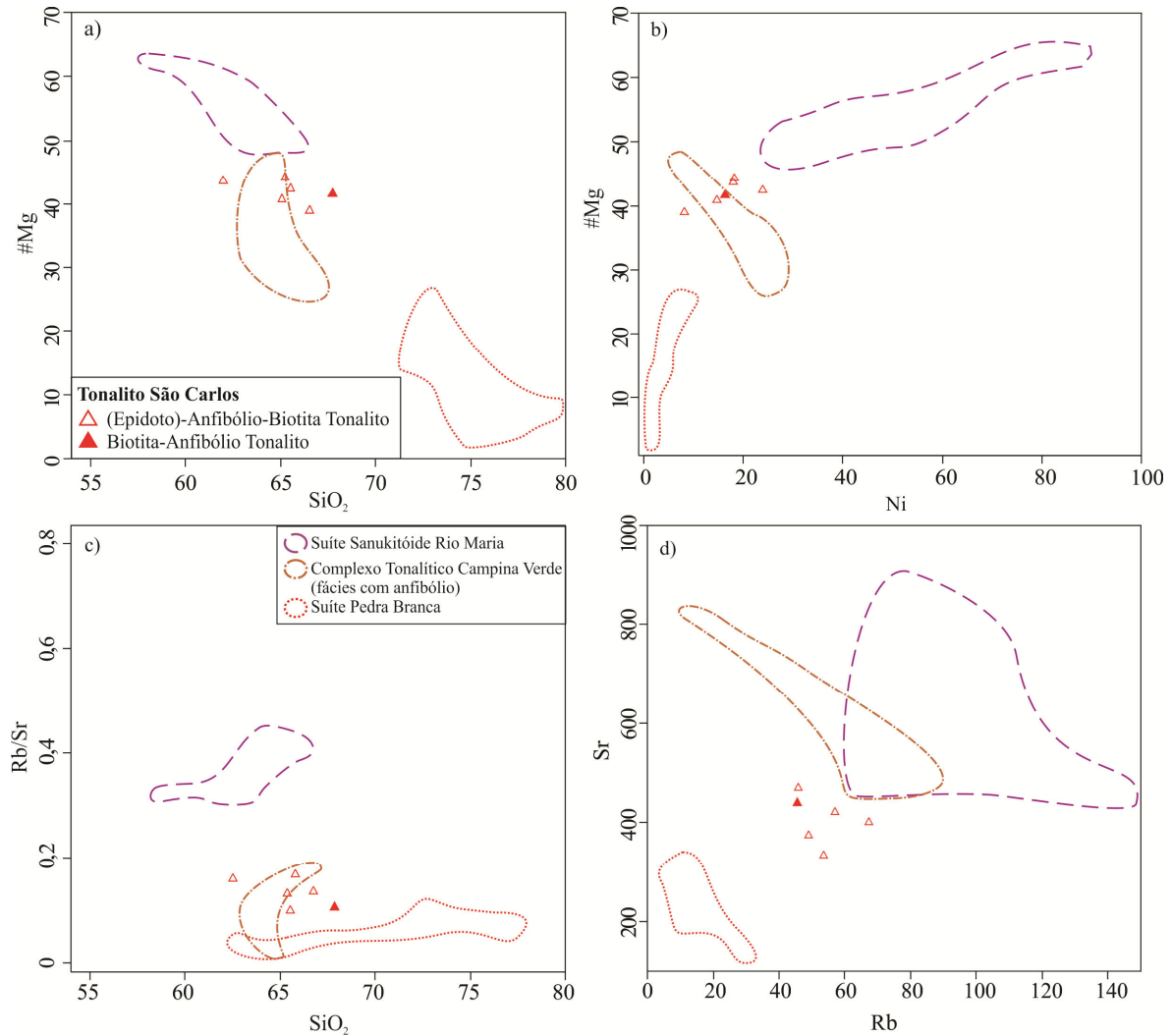


Figura 2-10 – Diagramas geoquímicos para comparações entre o Tonalito São Carlos e granitóides arqueanos com anfibólio da Província Carajás. Fontes dos dados dos campos: Suíte sanukitóide Rio Maria - Oliveira *et al.*, (2009); Complexo Tonalítico Campina Verde e Suíte Pedra Branca - G. R. L. Feio (dados inéditos).

Martin & Moyen (2002) admitem uma variação composicional dos TTGs arqueanos ao longo do tempo geológico. Os TTGs do final do Mesoarqueano e Neoarqueano (<3,0 Ga) apresentariam segundo eles valores mais elevados de #Mg, Cr, Ni, Sr e (Na₂O+CaO) que seriam reflexo da maior profundidade da fusão em zonas de subducção, a qual traria maiores possibilidades de interações das fusões TTG com o manto peridotítico. Isto aconteceria em TTGs do final do arqueano, porque o grau geotérmico era menor e as fusões ocorriam em maiores profundidades, similarmente com que ocorre atualmente com os adakitos. Tais condições não parecem razoáveis para a formação do magma gerador do Tonalito São Carlos, porque suas mostras não possuem valores de Mg# (Figura 2-11b), Cr e Ni elevados e seus padrões de ETR apresentam fracionamento pouco acentuado de ETR pesados (Figura 2-7a), o que não é condizente com a geração de seu magma em condições de altas pressões.

Moyen *et al.* (2003) admitem a hipótese de uma mudança progressiva de TTGs típicos para sanukitóides, e chamaram as rochas de composição intermediária entre as duas séries de *TTGs enriquecidos*. Como o Tonalito São Carlos não apresenta composição típica de TTG, é interessante verificar se o mesmo não poderia corresponder aos TTG enriquecidos. A figura 2-11 mostra diagramas de discriminação para elementos maiores e traço, com campos definidos por Moyen *et al.* (2003) para diversos granitóides arqueanos do Cráton Dharwar e de outros crátons do mundo, incluindo TTGs típicos, TTGs enriquecidos e sanukitóides. As amostras do Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado foram plotadas nesses diagramas para comparação. As composições do Trondhjemito Colorado e Tonalito São Carlos incidem nos campos das composições de rochas TTG em todos os diagramas e não há coincidência, portanto, entre a distribuição de amostras do Tonalito São Carlos e o campo dos TTGs enriquecidos. Além disso, constata-se que as amostras do Tonalito São Carlos não se situam entre aquelas do Trondhjemito Colorado e o campo das associações sanukitóides, como seria de esperar caso fossem rochas transicionais entre as duas séries. Conclui-se que o Tonalito São Carlos não corresponde geoquimicamente aos TTGs enriquecidos, conforme definidos por Moyen *et al.* (2003).

IMPLICAÇÕES PARA EVOLUÇÃO DO SUBDOMÍNIO DE TRANSIÇÃO

O Tonalito São Carlos e o Trondhjemito Colorado, expostos nas proximidades de Vila Jussara, mostram características que podem contribuir para o entendimento da evolução do Subdomínio de Transição e, por extensão, da Província Carajás.

O Tonalito São Carlos é a associação litológica com maiores particularidades. Seus corpos são orientados NE-SW e suas rochas exibem foliações de direção NE-SW a N-S, portanto claramente discordantes do padrão regional E-W a NW-SE. Dados preliminares indicam idade de ca. 2,93 Ga. para este granitóide, que foi afetado por intensa recristalização. Essa idade e seu padrão estrutural poderiam sugerir uma possível correlação com o Tonalito Mariazinha (Guimarães *et al.* 2010, Almeida *et al.* 2011). Porém, ele é distinto das associações TTG em suas características mineralógicas e geoquímicas e, excetuando uma possível semelhança com o Complexo Campina Verde, não se conhece rochas similares até então em toda província. É possível que esta unidade possa representar fragmentos mais antigos de crosta mesoarqueana que foram parcialmente preservados durante o intenso evento deformacional neoarqueano que forneceu a configuração atual do Subdomínio de Transição.

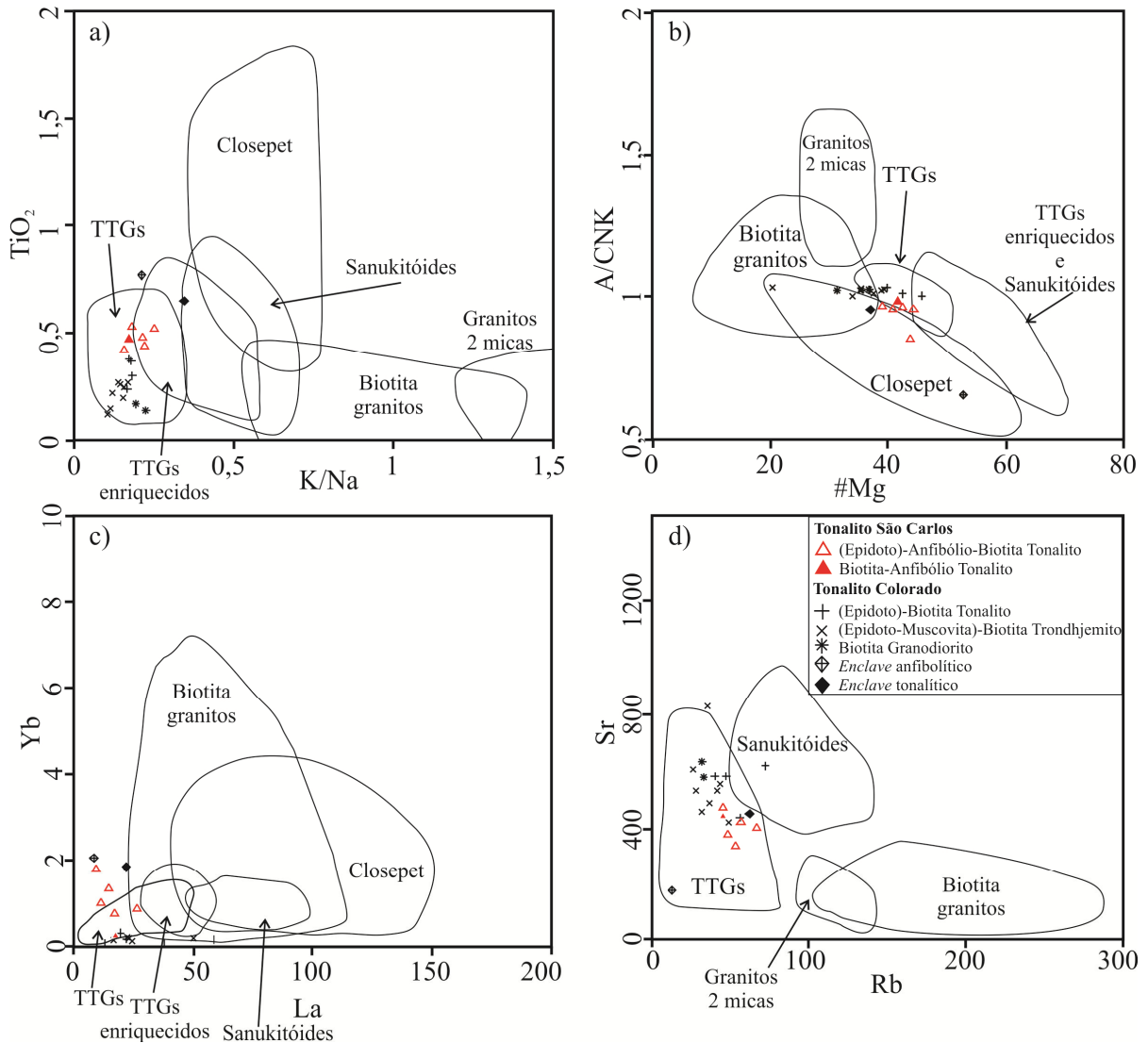


Figura 2-11 – Diagramas de variação para comparação das associações arqueanas de outros crátons com o Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado. a) diagrama K/Na x TiO_2 ; b) diagrama $\#Mg$ x A/CNK ; c) diagrama La x Yb ; d) diagrama Rb x Sr . Diferentes campos definidos com base em *Moyen et al.* (2003).

Caso venha a ser confirmada a idade preliminar do Trondhjemito Colorado, ela implica a existência no Subdomínio de Transição de um volume expressivo de TTGs com idade similar a dos TTGs mais jovens do Domínio Rio Maria, ora representados exclusivamente pelas ocorrências modestas em termos de distribuição areal do Trondhjemito Água Fria. Isso pode implicar um possível fortalecimento para a hipótese de que o Subdomínio de Transição represente uma extensão do Domínio Rio Maria retrabalhada durante os eventos neoarqueanos atuantes no Domínio Carajás (*Dall'Agnol et al.* 2006). Porém, qualquer conclusão nesse sentido seria prematura, pois há necessidade de se avançar na obtenção de dados geocronológicos e isotópicos para poder concluir a respeito. Por outro lado, a presença desse volume expressivo de TTGs na área estudada revela que a mesma

difere na sua configuração geológica da área de Canaã dos Carajás, onde os TTGs ocupam área restrita, enquanto os granitos *stricto sensu* possuem ampla distribuição.

CONCLUSÕES

Trabalhos de campo, aliados a estudo, petrográficos e geoquímicos, permitiram a identificação de diversos granitóides arqueanos, entre os quais duas associações tonalíticas que receberam denominação formal no presente trabalho: Tonalito São Carlos e Trondhjemitito Colorado. Os dados apresentados e discutidos neste trabalho permitem concluir que:

- (a) O Tonalito São Carlos e o Trondhjemitito Colorado apresentam idades contrastantes e diferem em suas feições estruturais, petrográficas e geoquímicas;
- (b) O Trondhjemitito Colorado apresenta foliações orientadas segundo o *trend* regional E-W, com mergulhos moderados a fortes, enquanto que no Tonalito São Carlos as foliações se orientam segundo N-S a NE-SW e exibem mergulhos moderados a subverticais;
- (c) O Trondhjemitito Colorado possui biotita como principal mineral varietal e é constituído principalmente por trondhjemitos e tonalitos com granodioritos subordinados, ao passo que o Tonalito São Carlos é formado essencialmente por anfibólio-biotita tonalitos. Ambas as associações foram afetadas por intensa deformação em regime dúctil, responsável por suas feições protomiloníticas a miloníticas, seguida de acentuada recristalização térmica;
- (d) O Tonalito São Carlos possui comportamento geoquímico particular que não permite associá-lo nem com as associações TTGs nem tampouco com às suítes sanukitóides da Província Carajás. Apesar das limitações dos dados disponíveis, há evidências que indicam sua semelhança com as variedades portadoras de anfibólio do Complexo Campina Verde descrito em Canaã dos Carajás;
- (e) Geoquimicamente as rochas do Trondhjemitito Colorado possuem características que permitem associa-los às típicas suítes TTG arqueanas. Sua assinatura geoquímica indica similaridades com o grupo de TTGs portadores de altas razões $(La/Yb)_n$ e Sr/Y e, mais particularmente, com o Trondhjemitito Mogno e Tonalito Mariazinha do Domínio Rio Maria e com o Trondhjemitito Rio Verde da área de Canaã dos Carajás.
- (f) Os padrões de ETR e as variações observadas nas razões $(La/Yb)_n$ e Sr/Y indicam que no caso do Tonalito São Carlos não houve fracionamento expressivo de minerais enriquecidos em ETR pesados, tais como hornblenda e granada, nem tampouco de plagioclásio. Já no caso do Trondhjemitito Colorado, há fortes evidências indicando que

fases minerais com elevados coeficientes de partição para ETR pesados tiveram papel importante no fracionamento, não tendo sido acompanhadas pelo plagioclásio. O empobrecimento marcante em ETR leves, acompanhado do surgimento de expressivas anomalias positivas de Eu em muitas amostras do Trondhjemitó Colorado, é explicado pela desestabilização de allanita e remoção de seus constituintes do sistema. Isso se deu provavelmente durante a atuação do intenso evento de deformação e recristalização que afetou as rochas desse granitóide no Neoarqueano.

- (g) Os dados geológicos obtidos revelam que o Subdomínio de Transição possui uma evolução complexa, ainda não esclarecida. O grande volume de TTGs de idade mesoarqueana reforça a hipótese de possível ligação evolutiva entre a área estudada e o Domínio Rio Maria e, ao mesmo tempo, limita sua correlação com a área de Canaã dos Carajás, no extremo norte do Subdomínio de Transição.

Agradecimentos

Aos pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG-IG-UFPA) pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho; ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (IG e PPGG - UFPA) pelo suporte técnico; à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor; ao CNPq por concessão de bolsas de doutorado (F. V. Guimarães) e de produtividade em pesquisa (R. Dall'Agnol) e por apoio financeiro (Processo nº 484524/2007-0); ao convênio Vale/FAPESPA edital 01/2010, ICAAF: 053/2011 pelo apoio financeiro. Este trabalho é uma contribuição para o INCT de Geociências da Amazônia (GEOCIAM - CNPq/MCT/FAPESPA – Processo nº 573733/2008-2) e para o projeto IGCP-SIDA 599.

REFERÊNCIAS

- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite–granite suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*. **120**: 235-257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2006. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**: 282 - 295.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*. **187**: 201-221.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. **42**: 103-126.

- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, **104**: 187-206.
- Althoff F.J., Barbey P., Macambira M.J.B., Scheller T., Leterrier J.; Dall'Agnol R., Lafon J.M. 1998. La croissance du craton sud-amazonien (région de Rio Maria, Brésil). In: Réunion des Sciences de la Terre. Resumés. Brest, Société Géologique de France, p. 62.
- Avelar V.G., Lafon J.M., Correia JR F.C., Macambira E.M.B. 1999. O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**(2): 454-460.
- Barker F. 1979. Trondhjemites: definition, environment and hypothesis of origin. In: Trondhjemites, Dacites and Related Rocks (F. Barker, ed.), *Elsevier*, Amsterdam, pp. 1-12.
- Barker F. & Arth J.G. 1976. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archean bimodal trondhjemite-basalt suites. *Geology*, **4**: 596-600.
- Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J.P.O., Macambira M.J.B., 2009. Structure, Petrology, Geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb geochronology of the synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type granites from the Carajás Metallogenic Province, northern Brazil, *Canadian Mineralogist*, **47**: 1423-1440.
- Bowden P., Batchelor R.A., Chapell B.W., Didier J., Lameyre J. 1984. Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion. *Earth and Planetary Science Letters*, **35**: 1-11.
- Champion D.C., Sheraton J.W. 1997. Geochemistry and Nd isotope systematics of Archean granites of the Eastern Goldfields, Yilgarn Craton, Australia: implications for crustal growth processes. *Precambrian Research*, **83**: 109-132.
- Champion D.C., Smithies R.H. 2007. In: Van Kranendonk, M.J., Smithies, R.H., Bennett, V.C. (Eds.) Geochemistry of Paleoarchean Granites of the East Pilbara Terrane, Pilbara Craton, Western Australia: Implications for Early Archean Crustal Growth. Earth's Oldest Rocks, Developments in Precambrian Geology, vol. **15**. *Elsevier*, Amsterdam, pp. 369-410.
- Condie K.C. 2005. TTGs and adakites: are they both slab melts? *Lithos*, **80**(1-4): 33-44.
- Dall'Agnol R., Lafon, J.M., Fraga L.M., Scandolaro J., Barros C.E.M. 2000. The Precambrian Evolution of the Amazonian Craton: one of the last Unknown Precambrian Terranes in the World. In: International Geological Congress, 31. Rio de Janeiro. *Abstracts*. Rio de Janeiro: CPRM. (CDROM).
- Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian craton. In: Dall'Agnol R., Rosa-Costa L.T., Klein E.L. (eds.). Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian craton. Abstracts volume and field trips guide. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 99-150.
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Råmo O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, **80**: 101-129.
- Dias, S. B. 2009. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de granitos Arqueanos da Folha Marajoara, terreno granito-greenstone de Rio Maria, sudeste do Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 129 p.
- Duarte K.D., Pereira E.D., Dall'Agnol R., Lafon J.M. 1991. Geologia e geocronologia do Granito Mata Surrão - sudoeste de Rio Maria (Pa). In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Belém, SBG, *Anais...* p. 7-20.

- Evensen N.M., Hamilton P.T., O'niions R.K., 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochemical and Cosmochimica. Acta*, **39**: 55-64.
- Feio G.R.L. 2011. Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 190p.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.B., Gomes A.C.B., Sardinha A.S., Santos P.A. 2012. Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites? *Lithos*, **151**: 57-73.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J., Soares J.E.B. 2012a. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., 2012b. Geochemistry and petrogenesis of the granites from the Canaã dos Carajás area, Carajás province, Brazil: implications for the origin of Archean granites. *Lithos*, **154**: 33-52.
- Fraga L.M. 2002. A Associação Anortosito – Mangerito – Granito Rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central e suas Encaixantes Paleoproterozóicas: Evolução Estrutural, Geocronologia e Petrologia. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, Brazil. 367p.
- Guimarães F.V.G., Dall'Agnol R., Almeida J.A.C., Oliveira M.A., 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do trondhjemitó Mogno e tonalito Mariázinha, terreno granito-greenstone de Rio Maria – Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **40 (2)**, 196–211.
- Gomes A.C.B. 2003. Geologia, Petrografia e Geoquímica dos granitóides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 160p.
- Gomes A.C.B. & Dall'Agnol R. 2007. Nova associação tonalítica-trondhjemitica Neoproterozoica na região de Canaã dos Carajás: TTG com altos conteúdos de Ti, Zr e Y. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**: 182-193.
- Halla, J. 2005. Late Archean high-Mg granitoids (sanukitoids) in the Southern Karelian craton, Eastern Finland. *Lithos*. **79**: 161–178.
- Heilimo, E., Halla, J., Huhma, H. 2011. Single-grain zircon U–Pb age constraints of the western and eastern sanukitoid zones in the Finnish part of the Karelian Province. *Lithos*, **121**: 87–99.
- Hirata W.K., Rigon J.C., Kadokaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: Simp. Geol. Amaz., 1., Belém. *Anais... SBG*. v. **1**, p. 100- 110.
- Huhn S.B., Macambira, M.J.B., Dall'Agnol, R. 1999. Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino arqueano Planalto, região da Serra do Rabo, Carajás-PA. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, **6**: 463-466.
- Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. In: SBG, Congr. Bras.Geol. 35. Belém. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém, SBG. v. **3**, p. 1438-1453.
- Irvine T.N. & Baragar W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of the Earth Sciences*, **8**: 523-547.
- Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern

- Amazonian Craton, Brazil). *In: International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro. Abstracts. CD-ROM.*
- Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte, K. D. 1994. Le granite Mata Surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). p. 642- 649.
- Lameyre J. & Bowden P. 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **14**: 169-186.
- Leite A.A.S. 2001. Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 330p.
- Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Althoff F.J. 1997. Geologia e petrografia do maciço granítico Arqueano Xinguara e de suas encaixantes - SE do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciência da Terra*, **9**: 43-81.
- Lobach-Zhuchenko S.B., Rollinson H.R., Chekulaev V.P., Arestova N.A., Kovalenko A.V., Ivanikov V.V., Guseva N.S., Sergeev S.A., Matukov D.I., Jarvis K.E., 2005. The Archaean sanukitoid series of the Baltic Shield: geological setting, geochemical characteristics and implications for their origin. *Lithos*, **79**: 107-128.
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra, Belém, (7)*: 263-287.
- Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1992. Idade U-Pb em zircões de metavulcânica do *greenstone* do Supergrupo Andorinhas, delimitante da estratigrafia de Carajás, Estado do Pará. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo. Resumos Expandidos... São Paulo: SBG. v.2, p. 188-189.*
- Macambira E.M.B. & Vale A.G. 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Felix do Xingu. Folha SB.22-Y-B. Estado do Pará. DNPM/CPRM. Brasília. 384p.
- Machado N., Lindenmayer Z., Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**: 329-354.
- Maniar P.D. & Piccolli P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bul.*, **97**:635-643.
- Martin H. 1987. Petrogenesis of Archaean trondhjemitites, tonalites and granodiorites from eastern Filand: major and trace element geochemistry. *Journal of Petrology*, **28**: 921-953.
- Martin H. 1994. The Archean grey gneisses and the gneisses of continental crust. *In: Condie, K. C. (ed.) Developments in Precambrian Geology 11. Archean crustal evolution, Amsterdam, Elsevier. p. 205-259.*
- Martin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyen J.-F., Champion D., 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemitite-granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, **79**: 1–24.
- Medeiros H. & Dall'Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. *In: SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 35, Belém. Anais de Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. v 3, p.1488-1499.*
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S. Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, **46**:789–811.
- Moyen J.F., Martin H., Jayananda M., Auvray B. 2003. Late Archean granites: A typology based on the Dharwar Craton (India). *Precambrian Research*, **127**:103-123.

- Moyen J.F., Martin H. 2012. Forty years of TTG research. *Lithos*, **148**:312–336.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. *In*: SBG, Cong. Bras. Geol., 38. Camboriú, 1988. *Boletim de Resumos Expandidos*. Camboriú, SBG. p. 390-391.
- Oliveira D. C., 2006. Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico. Tese Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 171p.
- Oliveira D.C., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Faresin A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.V., Silva A.C., Souza M.C., Santos R.D., Macambira M.J.B.. 2010. Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás, *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, CDROM.
- Oliveira M.A. 2003. Caracterização petrográfica, estudo de susceptibilidade magnética e natureza dos minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Planalto, Serra dos Carajás-PA. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 47p.
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J., 2006. Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Rio Maria da região de Bannach e comparações com as demais ocorrências no terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36 (2)**, 313-326.
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**:146-160.
- Oliveira, M.A., Dall’Agnol, R., Scaillet, B. 2010. Petrological Constraints on Crystallization Conditions of Mesoarchean Sanukitoid Rocks, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Petrology*, **51**:2121-2148.
- Passchier C.W. & Trouw R.A.J. 1996. *Microtectonics*. 289 p.
- Peccerillo A., Taylor S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **58**:63–81.
- Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulites facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, **166**:159-171.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. *In*: SBG, Cong. Bras. Geol., 38. Camboriú, 1988. *Boletim de Resumos Expandidos*. Camboriú, SBG. p. 390-391.
- Rodrigues E.M.S., Lafon J.M., Scheller T. 1992. Geocronologia Pb-Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., São Paulo. *Resumos...* São Paulo: SBG, 1992. **2**:183-184.
- Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. *In*: South American Symposium On Isotope Geology, 4, Salvador. *Expanded Abstracts*. Salvador: CD-ROM.
- Santos J.S.O., Hartmann L.A., Faria M.S., Riker S.R., Souza M.M., Almeida M.E., McNaughton N.J., 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000–2006. *In*: Simpósio de Geologia da Amazônia, vol. 9. Belém. *Resumos Expandidos*, Belém, SBG (CD-ROM).
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*. **3**: 453-488.

- Santos P.J.L., Oliveira, D.C., Galarza M.A., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitóides do Complexo Xingu da região de Nova Canadá, município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. . *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 45. CDROM.
- Santos R.D., Oliveira D.C., Borges R.M.K. 2008. Geologia e Petrografia das rochas máficas e ultramáficas do complexo Pium-Província Mineral de Carajás. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 44, Curitiba. *Anais*, SBGeo, p. 535.
- Sardinha A.S., Dall’Agnol R., Gomes A.C.B., Macambira M.J.B., Galarza M.A., 2004. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 42.
- Silva A.C., Oliveira D.C., Macambira M.J.B.. 2010. Individualização e geocronologia de granitóides do Complexo Xingu, região de Vila Jussara, município de Água Azul do Norte - PA, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 45. CDROM.
- Silva G.C., Lima M.I.C., Andrade A.R.F., Issler R.S., Guimarães G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins. Belém, DNPM, v.4:1-143.
- Silva Jr. R.O., Dall’Agnol R., Oliveira E.P. 1999. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques proterozóicos da região de Rio Maria, sudeste do Pará. *Geochimica Brasiliensis*. **13**.(2):163-181.
- Silva M.L.T., Oliveira D.C., Macambira M.J.B.. 2010. Geologia, petrografia e geocronologia do magmatismo de alto K da região de Vila Jussara, Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 45. CDROM.
- Smithies R.H., Champion D.C., 2000. The Archean high-Mg diorite suite: links to tonalite-trondhjemite-granodiorite magmatism and implications for early Archean crustal growth. *Journal of Petrology*, **41** (12): 1653-1671.
- Stern R., G.N., Hanson S.B., Shirley. 1989. Petrogenesis of Mantle derived LILE-enriched Archean Monzodiorite, Trackyandesites (Sanukitoids) in southern Superior Province. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **26**: 1688-1712.
- Stern R.A., Hanson G.N., 1991. Archean high-Mg granodiorites: a derivative of light rare earth enriched monzodiorite of mantle origin. *Journal of Petrology* **32**: 201-238.
- Sylvester P.J., 1994. Archean granite plutons. *In: Condie K. (ed.), Archean Crustal Evolution. Elsevier, Amsterdam*, pp. 261–314.
- Souza Z.S. 1994. Geologia e petrogênese do "Greenstone Belt" Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-"greenstone" de Rio Maria, SE do Pará. Tese de Doutorado. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. v- 1 e 2, 624p.
- Streckeisen A.L., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, **12**: 1-33.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*. **22**:174-182.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D. R., Brito Neves B. B. de. (Org.). Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida. São Paulo: BECA*, p. 471-486.
- Vasquez L.V., Rosa-Costa L.T. 2008. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, 328p.
- Vernon R.H., 2004. A practical guide to rock microstructure, third ed., Cambridge University press, Cambridge.

CAPÍTULO 3

3. CARACTERIZAÇÃO DOS DEMAIS GRANITÓIDES ARQUEANOS

Como já dito anteriormente, além do Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado há ocorrências subordinadas de Leucogranodioritos Porfíricos, diversas intrusões de granitóides neoarqueanos (Vila Jussara) e diques na área estudada (Figura 2-2). Neste capítulo será feita uma breve descrição dos Leucogranodioritos Porfíricos e dos granitóides tonalíticos a granodioríticos associados aos granitos Vila Jussara, considerando seus aspectos geológicos, petrográficos e geoquímicos. Os granitos (*stricto sensu*) Vila Jussara (Silva, M.L.T., *et al.*, 2010) e os diques estão sendo estudados por outros pesquisadores (Guimarães em preparação, Marangoanha em preparação, respectivamente). Trabalhos mais aprofundados deverão ser desenvolvidos no futuro para avaliar a possível correlação dos Leucogranodioritos Porfíricos com outras ocorrências de leucogranodioritos do Subdomínio de Transição que vêm sendo estudadas por outros pesquisadores (Santos, P.J.L., em preparação, Teixeira M.B.F. em preparação, Rodrigues D.S. em preparação). Da mesma forma, a relação entre os granitóides tonalítico-granodioríticos neoarqueanos e granitos *strictu sensu* Vila Jussara deverá ser verificada quando, além de dados geocronológicos se dispuser de dados geoquímicos dos referidos granitos.

Não há dados geocronológicos disponíveis para os Leucogranodioritos, mas suas características petrográficas e geoquímicas, descritas abaixo, indicam que esta unidade seja distinta dos TTGs ocorrentes na área de pesquisa (Trondhjemito Colorado). Acredita-se que ela possa ser correlacionada a leucogranodioritos porfíricos aflorantes a leste da área (Teixeira M.F.B. em preparação).

3.1. LEUCOGRANODIORITOS PORFIRÍTICOS E ROCHAS AFINS

No centro-sul da área de estudo (Figura 2-2), ocorre um *stock* de rochas granodioríticas em uma planície, com relativa carência de exposições, o que dificulta observações das suas relações de contato com as demais unidades. Apresentam estruturas aparentemente análogas à dos TTGs, indicando que a deformação dos mesmos possa ter sido sincrônica ou próxima no tempo. Exibem foliação penetrativa predominantemente E-W com mergulhos de alto ângulo, mas, no limite com o Tonalito São Carlos (Fig. 2-2), tais foliações tendem a se tornar N-S. É notável a ausência de *enclaves* e constata-se abundância de veios leucograníticos seccionando essa unidade. Além desse *stock*, há exposições localizadas de leucogranodioritos a leucogranitos não representáveis na escala de trabalho, mas com

características petrográficas semelhantes às dos granodioritos do *stock* mencionado. As amostras selecionadas para análises modais e químicas se distribuem por toda a área mapeada e não se restringem ao *stock*.

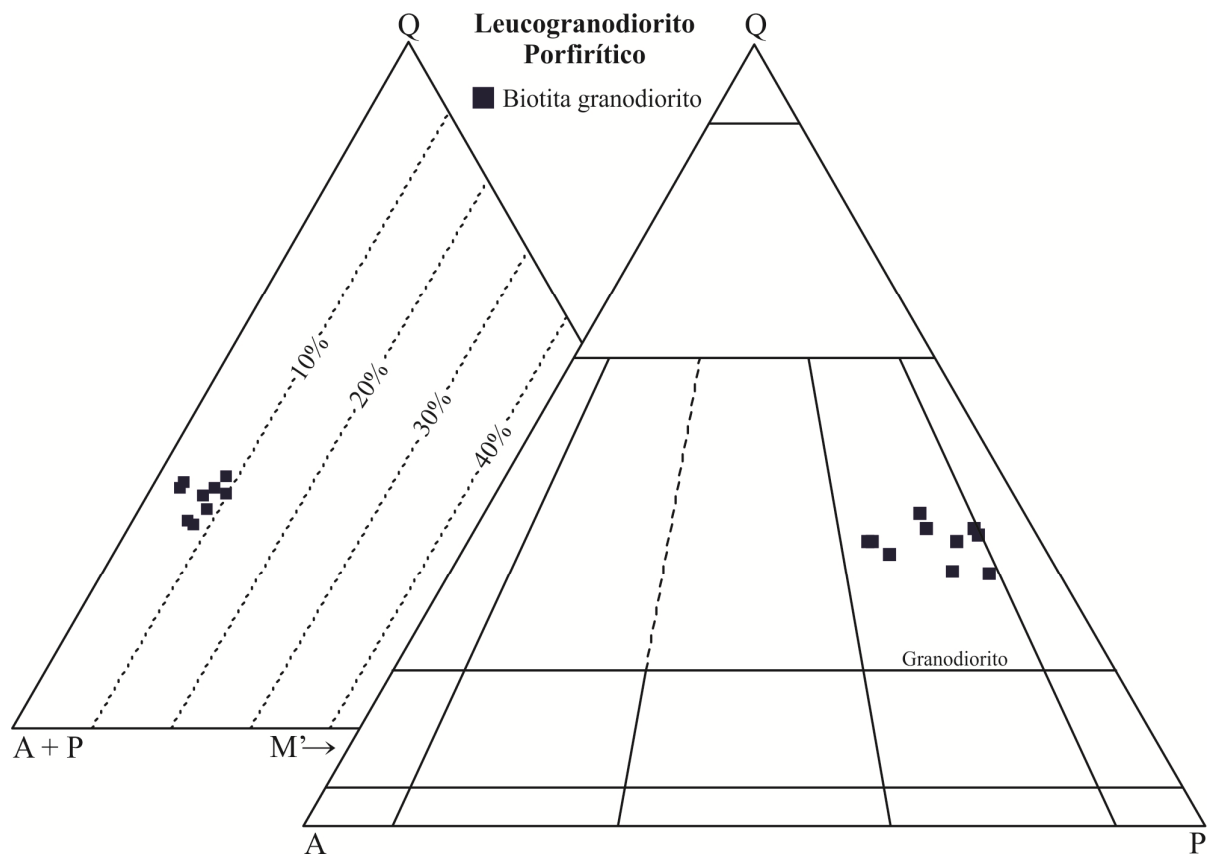
3.1.1. Petrografia

As rochas dessa variedade são heterogranulares de granulação média a grossa, coloração rosada a cinza claro (Figura 3-2a), com orientação mineral incipiente. O *stock* e as ocorrências isoladas são constituídos por biotita-granodioritos com homogeneidade composicional (Tabela 3-1 e Figura 3-1), heterogranulares com marcante orientação mineral e incipiente segregação mineral de níveis félsicos intercalados a níveis mais enriquecidos em minerais máficos. Mineralogicamente são formados por plagioclásio (41,1% a 51,6%), feldspato potássico (30,3 a 36,6) e quartzo (30,3 a 36,6%) como minerais essenciais; biotita (2,8 a 8,1%) é a fase varietal e as fases acessórias primárias são diversificadas, mas pouco abundantes (minerais opacos, epidoto, muscovita, allanita, zircão, titanita e apatita). A alteração secundária gera mica branca, carbonatos, escapolita e epidoto como produtos do plagioclásio e clorita a partir da biotita.

Exibem pronunciada recristalização (Figura 3-2b), que afeta principalmente os cristais de quartzo. Estes são de dois tipos: (1) cristais muito finos, produto de recristalização (subgrãos e neogrãos) com contatos retos e texturas em mosaico, que contornam fenocristais de plagioclásio e feldspato alcalino; (2) cristais estirados e pouco deformados com fraca extinção ondulante. Plagioclásio e feldspato alcalino também foram afetados pela deformação em diferentes intensidades (Figura 3-2b, c, d), sendo encontrados desde fenocristais pouco deformados com textura poiquilítica, até cristais em grande parte ou totalmente recristalizados. Biotita e muscovita associam-se a epidoto, estão alinhadas marcando a foliação da rocha e comumente se amoldam aos porfiroclastos de feldspatos.

Tabela 3-1 – Composições modais dos Leucogranodioritos Porfíricos e rochas afins.

Amostra/ Mineral	ADE- 18	AFD- 16C	AFD- 24A	AFD- 30B	AMP- 58	CDGW- 112	MAR- 58	MAR- 110
Plagioclásio	51,6	45,1	43,1	49,6	42,7	43,8	50,8	41,4
Quartzo	30,3	34,5	31,9	33,5	35,3	36,6	35	33,8
Feldspato Potássico	11	10,8	16	8,6	18,6	10,5	6	17,2
Biotita	6,2	8	7,9	6,6	2,8	8,1	7	6,4
Muscovita (p)	0,1	-	0,5	-	Tr	0,6	0,2	-
Epidoto (p)	Tr	0,3	Tr	-	Tr	-	-	0,3
Allanita	0,1	0,4	0,1	-	-	-	-	Tr
Opacos	0,3	0,4	Tr	-	0,3	-	0,5	Tr
Titanita	-	0,2	Tr	-	Tr	-	-	-
Apatita	-	-	-	-	Tr	-	-	-
Zircão	Tr	Tr	Tr	-	-	-	Tr	Tr
Epidoto (s)	Tr	Tr	Tr	-	-	-	-	-
Muscovita(s)	Tr	-	Tr	Tr	Tr	Tr	-	-
Clorita (s)	-	Tr	Tr	-	-	-	-	-
Escapolita (s)	-	-	-	1,4	-	-	0,1	-
A+P	62,6	55,9	59,1	58,2	61,3	54,3	56,8	58,6
Máficos	6,6	9,3	8,1	6,6	3,1	8,1	7,5	6,7
Plagioclásio**	63,00	49,89	57,47	59,69	54,74	54,48	55,34	44,81
Quartzo**	37,00	38,16	42,53	40,31	45,26	45,52	38,13	36,58
Feldspato Alcalino**	11,84	11,95	17,58	9,38	19,25	11,55	6,54	18,61
Nº de Pontos	1800	2000	2000	1800	2000	1800	2000	2000

**Figura 3-1** - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976) para os Leucogranodioritos Porfíricos e rochas afins.

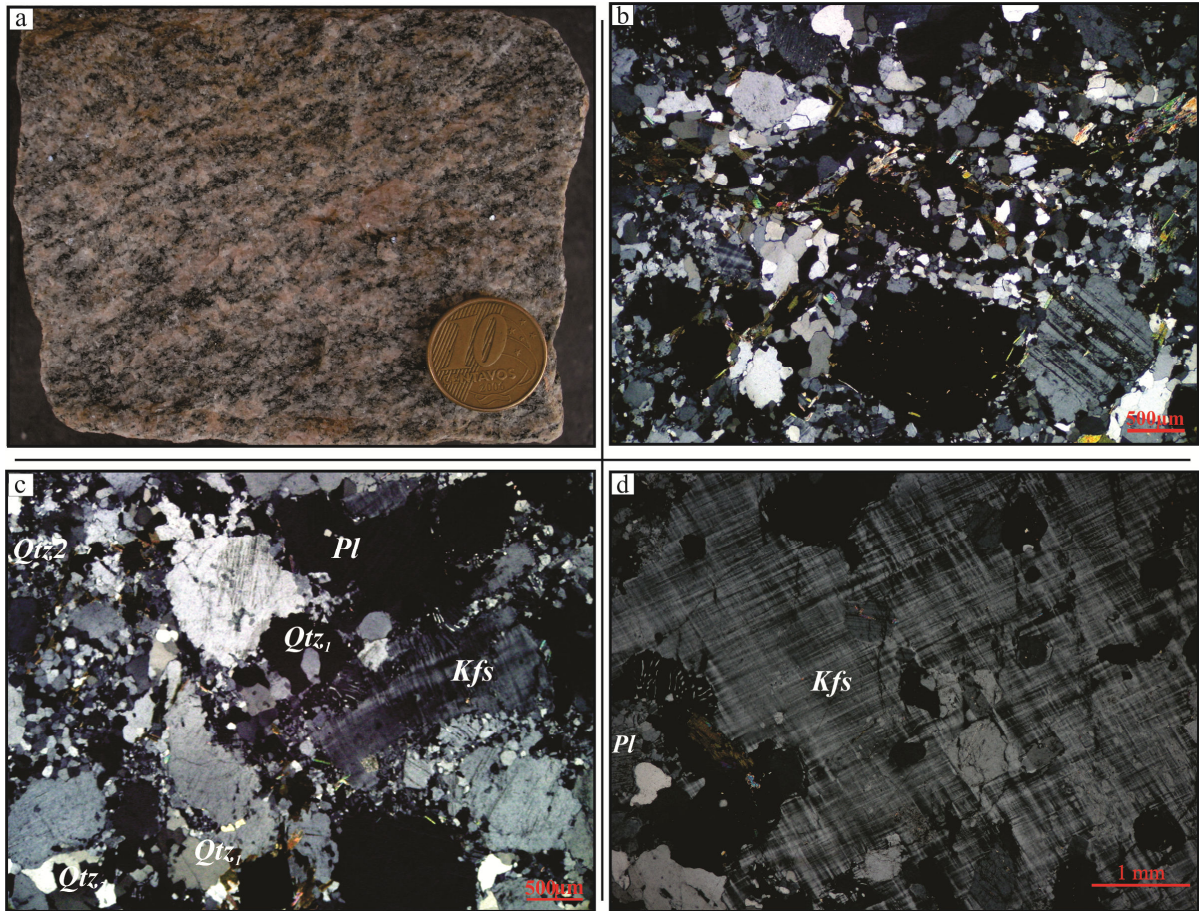


Figura 3-2 – Aspectos petrográficos dos Leucogranodioritos Porfiríticos. a) Aspecto macroscópico (AMP-45); b) Aspecto textural geral, mostrando porfiroclastos de feldspatos imersos em matriz fina recrystalizada (AMP-59); c) Cristais de granulação média de feldspato alcalino e plagioclásio contornados por finos cristais de minerais félsicos (AMP-45); d) Fenocristal grosso de feldspato alcalino exibindo textura poiquilítica (AMP-59). Fotomicrografias b, c, d em nicóis cruzados.

3.1.2. Geoquímica

Foram realizadas análises químicas de elementos maiores, menores e elementos traço, incluindo terras raras em 9 amostras representativas dessa variedade de granitóide (Tabela 3-2). As análises químicas foram realizadas no Laboratório ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTDA. Os elementos maiores e menores foram analisados por ICP-ES e os elementos-traço, incluindo os elementos terras raras, foram analisados por ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry). Os pacotes analíticos utilizados foram 4A e 4B, sendo os detalhes sobre métodos empregados e limites de detecção informados no site www.acmelab.com.

3.1.2.1. Elementos maiores e menores

A sílica (71,24 a 72,76%) e a alumina (14,46 a 15,73%) mostram pouca variação (Tabela 3-2). A média das razões K_2O/Na_2O é 0,51 e a somatória dos teores médios de

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2$ é baixa (2,4%). O conteúdo médio de CaO é 2,36%. A maioria dos óxidos (TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, CaO e P_2O_5) revela correlação negativa com sílica (Figura 3-3), enquanto que K_2O e Na_2O não exibem correlação bem definida. Há um grupo de amostras que mostra Na_2O relativamente elevado (>5%) e K_2O mais baixo e outro com comportamento inverso (Tabela 3-2, Figura 3-3g, h). Há duas amostras com conteúdo de K_2O >3%, as quais são possivelmente graníticas. O grupo com Na_2O relativamente elevado se distingue do segundo grupo (amostras AFD-30B, AFD-16C e MAR-58), porque ambos mostram valores destoantes em termos de Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO e P_2O_5 , sendo o segundo enriquecido relativamente nos óxidos mencionados, com exceção do Al_2O_3 (Figura 3-3a, b, c, d, f).

3.1.2.2. Elementos traço

Ba, Sr e Zr mostram correlação negativa com sílica (Figuras 3-4a, b, d) e, portanto, se comportam como elementos compatíveis. Rb, Y e Yb, assim como as razões Rb/Sr e Sr/Ba (Figuras 3-4c, e, f, g, h) não mostram uma correlação bem definida com a sílica. Os dois grupos geoquímicos distinguidos com base em elementos maiores e menores não estão tão bem caracterizados nos elementos traço, mas as variações geoquímicas mostradas pelos dois grupos explicam em parte a dispersão de dados observada nos diagramas (Figuras 3-4b, c, e, f, g, h). A razão Rb/Sr (Figura 3-4g; Tabela 3-2) é no geral baixa, no entanto as amostras do grupo com baixo Na_2O mostra significativo aumento nessa razão. O inverso acontece com a razão Sr/Ba (Figura 3-4h), pois o grupo com alto Na_2O possui altas razões, as quais decrescem nas amostras do segundo grupo.

Tabela 3-2 – Composições químicas do Leucogranodiorito Porfírico e rochas afins.

Amostras/ Elementos	AFD- 24A	ADE- 06	AFD- 30B	ADE- 18	AMP- 56	AFD- 16C	CDGW- 112	MAR- 58	MAR- 110
(% peso)									
SiO ₂	71,24	71,68	71,63	72,18	72,21	72,23	72,46	72,67	72,76
TiO ₂	0,21	0,17	0,25	0,17	0,14	0,27	0,16	0,19	0,08
Al ₂ O ₃	15,64	15,73	14,62	15,47	15,64	14,46	15,36	14,65	15,32
Fe ₂ O ₃	1,97	1,58	2,53	1,53	1,48	2,30	1,50	2,15	0,89
MnO	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	<0,01
MgO	0,48	0,46	0,65	0,37	0,34	0,53	0,31	0,51	0,22
CaO	2,55	2,58	2,65	2,31	2,50	2,17	2,25	2,22	2,01
Na ₂ O	5,12	5,40	3,88	5,31	5,31	4,08	5,25	4,67	4,56
K ₂ O	1,87	1,60	2,75	1,98	1,83	3,26	2,02	2,32	3,57
P ₂ O ₅	0,06	0,05	0,10	0,04	0,03	0,08	0,04	0,07	0,01
PF	0,6	0,5	0,7	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
TOTAL	99,79	99,76	99,78	99,79	99,78	99,82	99,78	99,77	99,74
(ppm)									
Ba	860	1221	1286	929	1144	881	1064	1042	1808
Sr	576,1	632,3	311,8	557,2	578,1	301,5	562,9	528,2	430,6
Rb	59,3	32,6	70,0	44,0	33,7	96,3	41,7	63,9	80,9
Zr	139,8	122,4	85,8	105,8	86,7	136,9	108,0	115,7	44,0
Y	6,4	2,1	7,2	3,0	0,9	4,3	2,7	7,3	1,4
Hf	3,8	3,3	3,0	3,0	2,4	3,8	2,9	3,3	1,4
Nb	5,0	1,5	4,7	2,6	1,2	2,5	1,4	3,0	1,8
Ta	0,6	0,5	1,1	0,5	0,6	0,3	0,4	0,6	0,4
V	30	18	33	16	14	40	12	18	<8
U	0,5	0,3	1,6	0,5	0,3	1,6	0,6	1,2	0,2
Th	6,3	2,6	9,6	4,2	2,6	46,1	3,5	5,8	1,4
Pb	2,1	1,1	4,6	1,1	1,1	18,5	3,0	5,1	2,2
La	30,10	13,00	20,30	15,40	13,10	40,40	22,40	25,30	8,90
Ce	49,70	21,10	39,10	26,50	23,10	59,30	36,00	38,40	15,90
Pr	5,52	2,35	4,27	2,89	2,27	5,28	4,44	4,44	1,52
Nd	17,20	8,50	16,10	9,80	8,30	15,60	15,40	15,30	5,30
Sm	2,70	1,18	2,48	1,36	0,96	1,74	1,93	2,30	0,72
Eu	0,56	0,57	0,86	0,44	0,45	0,76	0,58	0,52	0,47
Gd	1,92	0,65	1,66	0,93	0,53	1,09	1,06	1,74	0,49
Tb	0,23	0,08	0,26	0,11	0,05	0,14	0,12	0,23	0,06
Dy	1,23	0,44	1,34	0,65	0,24	0,73	0,47	1,06	0,33
Ho	0,19	0,04	0,27	0,07	<0,02	0,15	0,06	0,23	0,02
Er	0,60	0,11	0,79	0,27	0,09	0,43	0,20	0,52	0,06
Tm	0,07	0,03	0,13	0,04	<0,01	0,04	0,04	0,09	0,01
Yb	0,53	0,07	0,66	0,17	<0,05	0,41	0,19	0,49	0,08
Lu	0,08	0,03	0,11	0,03	0,02	0,08	0,03	0,09	0,03
A/CNK	1,04	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02
#Mg	0,33	0,37	0,34	0,32	0,31	0,31	0,29	0,32	0,33
Rb/Sr	0,10	0,05	0,22	0,08	0,06	0,32	0,07	0,12	0,19
Sr/Ba	0,67	0,52	0,24	0,60	0,51	0,34	0,53	0,51	0,24
Nb/Ta	8,33	3,00	4,27	5,20	2,00	8,33	3,50	5,00	4,50
K ₂ O/Na ₂ O	0,37	0,30	0,71	0,37	0,34	0,80	0,38	0,50	0,78
(La/Yb) _n	38,38	125,61	20,79	61,26	>262	66,60	79,68	34,89	75,08
Eu/Eu*	0,72	1,81	1,22	1,13	1,76	1,57	1,13	0,76	1,29

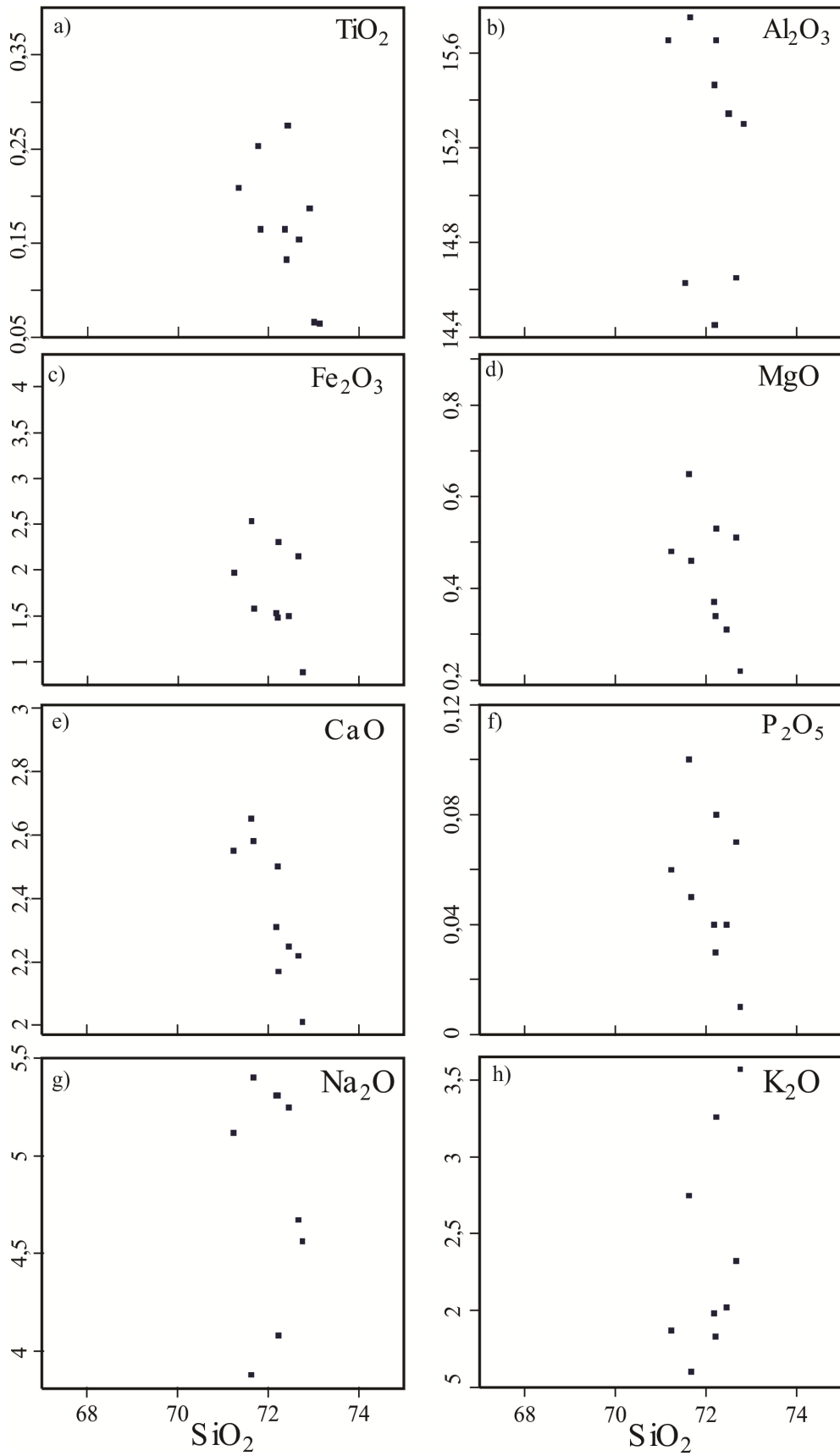


Figura 3-3 - Diagramas de Harker para os óxidos (% em peso) de elementos maiores do Leucogranodiorito Porfírico e rochas afins.

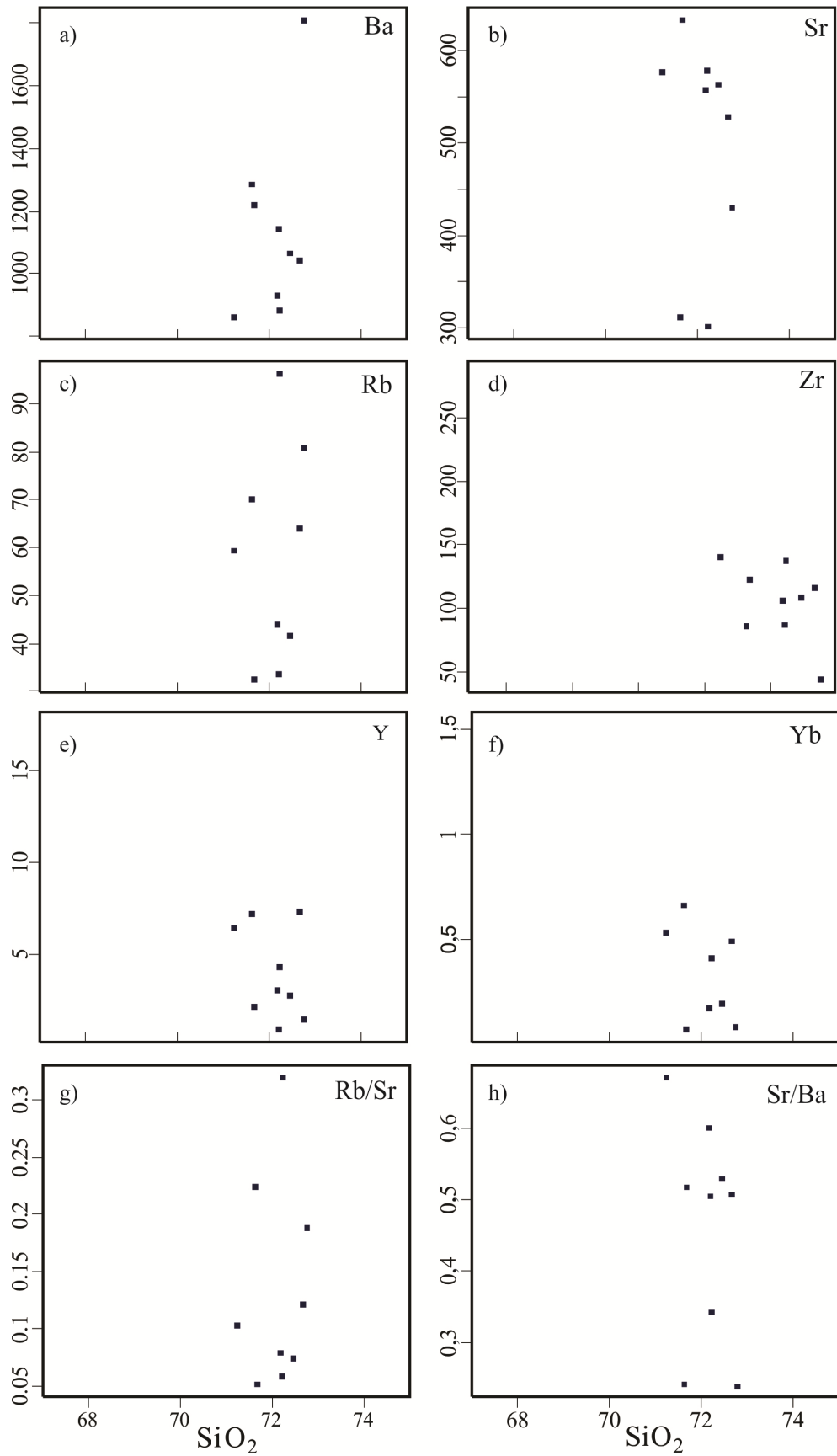


Figura 3-4 - Diagramas de Harker para os elementos traço das amostras do Leucogranodiorito Porfírico e rochas afins. SiO_2 em % em peso e elementos traço em ppm.

3.1.2.3. Elementos terras raras

Os resultados dos Elementos Terras Raras (ETR) foram normalizados pelos valores dos condritos conforme Evensen *et al.* (1978). As amostras do granodiorito porfirítico e rochas afins mostram padrões de ETR com fracionamento moderado a alto de ETR pesados em relação aos leves ($[La/Yb]_n$ varia geralmente de 20 a 126; Tabela 3-2, Figura 3-5). Tal como nas amostras do Trondhjemito Colorado, podem ser distinguidos dois tipos de padrões de ETR com base nas anomalias de Eu. O primeiro possui anomalias de Eu ausentes ou negativas (Figura 3-5a) e o segundo anomalias de Eu fortemente positivas (Figura 3-5b). Há uma forte analogia entre os dois tipos de padrões observados nessas rochas e aqueles fornecidos pelas amostras do Trondhjemito Colorado (Figuras 2-7b, c). Isso sugere que o leucogranodiorito e rochas afins podem ter sido afetados pelo mesmo processo responsável pela desestabilização e remoção de allanita verificado em parte das amostras do Trondhjemito Colorado (ver item Discussões no Capítulo 2).

As variações geoquímicas observadas no leucogranodiorito porfirítico e rochas afins indicam claramente que os mesmos não são derivados de um único líquido magmático, mas sim de líquidos muito evoluídos distintos em sua origem. Essa conclusão é fortalecida pelo fato de as amostras dessa variedade estarem dispersas em toda a área estudada e não formarem, exceto no *stock* do centro-sul da área, corpos mapeáveis na escala adotada.

3.1.2.4. Caracterização geoquímica complementar

As rochas do Leucogranodiorito Porfirítico são peraluminosas, conforme mostra diagrama baseado no índice de Shand (Figura 3-6a, Maniar & Piccoli 1989). No diagrama AFM (Figura 3-6b), as amostras se situam no campo da série cálcico-alcalina (Irvine & Baragar 1971), mais próximas ao limite do vértice A ($Na_2O + K_2O$). No diagrama normativo Ab-An-Or (Figura 3-6c), as amostras ocupam principalmente o campo dos trondhjemitos com variações para o campo dos granodioritos. No diagrama Na-K-Ca, a maioria das amostras cai no campo dos trondhjemitos arqueanos (Figura 3-6d - Martin 1994, Moyen & Martin 2012). O número de magnésio (#Mg) nessa unidade varia de 0,29 a 0,37 e é relativamente elevado, se for considerado os teores de sílica das amostras analisadas.

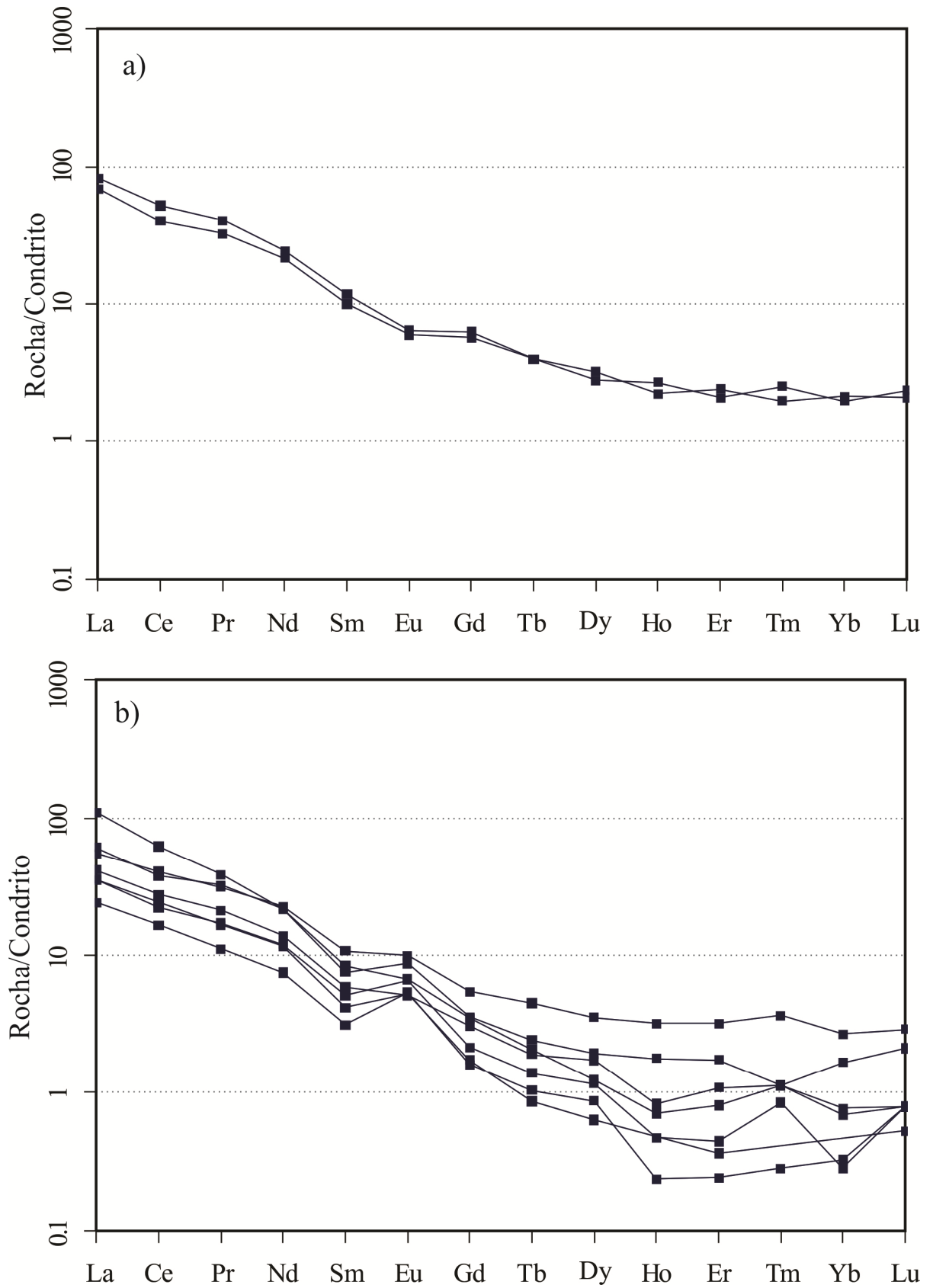


Figura 3-5 – Padrões dos ETR para as rochas do Leucogranodiorito Porfírico. Dados normalizados em relação ao condrito de Evensen *et al.* (1978).

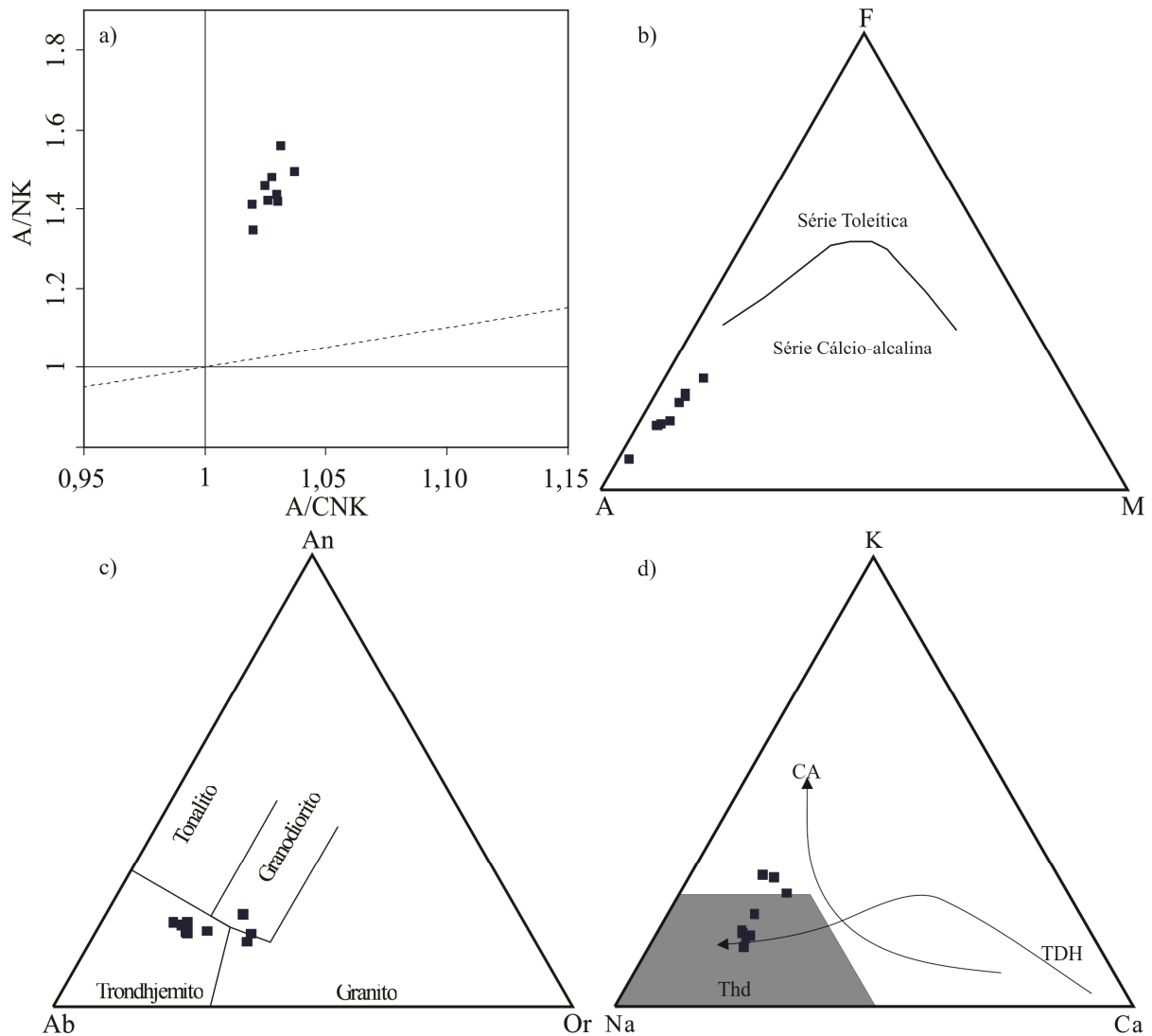


Figura 3-6 - Caracterização geoquímica dos Leucogranodioritos e rochas afins: a) Diagrama $[Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)]mol$ vs. $[Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)]mol$ (Maniar & Piccoli 1989); b) Diagrama AFM (A= Na_2O+K_2O ; F= $FeO+0,9*Fe_2O_3$; M= MgO). Os campos são de Irvine & Baragar (1971); c) Diagrama normativo Ab-An-Or (Barker 1979); d) Diagrama Na-K-Ca (trends CA=cálcio-alcalino, TDH=trondhjemítico, segundo Barker & Arth 1976; Thd= Campo trondhjemítico, Martin, 1994).

3.2. GRANITÓIDES ASSOCIADOS AOS GRANITOS VILA JUSSARA

Nas cercanias de Vila Jussara, ocorrem diversos corpos de granitos alongados segundo a direção W-E, aqui denominados informalmente de Granitos Vila Jussara (Figura 2-2). Os granitos (*stricto sensu*) destes corpos não foram alvo desta pesquisa, mas associados a eles há expressiva ocorrência de granodioritos e tonalitos com idades neoarqueanas (2,75 a 2,72 Ga - Pb-Pb por evaporação em zircão; Guimarães em preparação), denominados aqui de Granitóides Associados aos Granitos Vila Jussara. Ainda não é possível avaliar se essas ocorrências formam uma suíte granítica diferente da Suíte Planalto, que ocorre um pouco a norte nas cercanias de Canaã dos Carajás ou se devem ser incluídas naquela suíte. Porém, é evidente a necessidade de uma melhor caracterização desses granitóides que são intrusivos no

Trondhjemito Colorado. Pretende-se neste item apresentar e discutir os dados petrográficos e geoquímicos obtidos sobre os granodioritos e tonalitos associados aos Granitóides Vila Jussara e compará-los com aqueles presentes no Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado.

Os tonalitos e granodioritos tendem a formar as zonas externas e de mais baixo relevo dos corpos graníticos, em cujo centro, de relevo mais acidentado, afloram os Granitos Vila Jussara (Figura 2-2). São rochas intensamente milonitizadas, com foliação W-E e mergulhos subverticais, com abundância de enclaves quartzo-dioríticos.

3.2.1. Petrografia

3.2.1.1. Composições modais e classificação

As composições modais (Tabela 3-3) dos granitóides associados aos Granitos Vila Jussara quando lançadas no diagrama Q-A-P (Streckeisen 1976) e Q-A+P-M' (Figura 3-7) revelam que eles são compostos principalmente por granodioritos com tonalitos subordinados. Essas duas variedades não seguem um mesmo *trend* no diagrama Q-A-P, com os tonalitos tendendo a se alinhar com a série cálcico-alcálica tonalítica-trondhjemítica, enquanto que os granodioritos possuem comportamento similar ao da série cálcio-alcálica granodiorítica (Bowden *et al.* 1984). O conteúdo de minerais máficos é expressivo (em média 16,75%); o de plagioclásio varia de 35,6 a 48,2%, o de quartzo de 26,7 a 39%, e o de feldspato alcalino, quando presente, entre 0,7 e 18,6%. Anfibólio e biotita são os principais minerais ferromagnesianos, sendo o primeiro dominante nos tonalitos e a segunda nos granodioritos. A titanita é o mineral acessório primário mais abundante, principalmente nos granodioritos. Ela é acompanhada por opacos, epidoto, allanita, apatita, zircão e, muito raramente, monazita. Os minerais secundários são escapolita, epidotos, muscovita, carbonatos e clorita.

O fato de esses granitóides apresentarem conteúdos modais expressivos de titanita e opacos sugere que sua formação se deu em condições oxidantes (Wones 1989, Dall'Agnol & Oliveira 2007). Isso indica igualmente um provável contraste entre a associação granitóide de Vila Jussara e a Suíte Planalto, para a qual foi estimada formação em condições redutoras (Feio *et al.* 2012). Por outro lado, os contrastes em termos de composições modais entre tonalitos e granodioritos não favorecem sua derivação a partir de um mesmo magma por processos de diferenciação magmática.

3.2.1.2. Aspectos texturais e deformacionais

As rochas desta associação possuem, em geral, deformação intensa, mas variável como indica a natureza da foliação, ora incipiente, ora uma pronunciada foliação milonítica, em função da proximidade com as zonas de cisalhamento, as quais são amplamente distribuídas na área de pesquisa. Exibem texturas granular a granoblástica, variando de média a fina, com fenocristais ou porfiroclastos de plagioclásio e, raramente, de anfibólio. A intensa milonitização a qual essas rochas foram impostas mascarou as suas texturas primárias. Microbandamento composicional, em que bandas mais enriquecidas em minerais félsicos se alternam a níveis mais máficos é marcante.

Os cristais de *plagioclásio* são subautomórficos, inequigranulares de granulação média a fina, com porfiroclastos contornados por finos cristais de plagioclásio, quartzo, biotita e anfibólio. Os cristais mais finos são provenientes de recristalização e formam texturas em mosaico. Em algumas amostras há forte escapolitização. É comum a presença de manchas finas e irregulares de feldspato potássico no plagioclásio (antipertitas?).

Os cristais de *quartzo* foram transformados geralmente em agregados de subgrãos e neogrãos finos que estão intensamente estirados conforme a foliação da rocha e contornam os porfiroclastos de plagioclásio e anfibólio.

O *feldspato alcalino* forma cristais mais desenvolvidos na variedade granodiorítica, enquanto que nos tonalitos forma grãos xenomórficos intersticiais. Os cristais mais desenvolvidos são subautomórficos, com granulação fina a média e ocorrem dispersos na rocha.

Tabela 3-3 – Composições modais dos granitóides associados aos Granitos Vila Jussara.

Litologia	(Titanita)-Anfibólio-Biotita Granodiorito								
Amostra/ Mineral	AFD-11A*	AFD-16A*	ADE-04B*	AFD-15*	AMP-32C	AFD-09	AFD-16B	ADE-01D*	AFD-08/ AMP-18*
Plagioclásio	36,7	39,6	39,1	40,1	37,6	38,5	46,4	41,2	44,7
Quartzo	28,6	26,7	34	28,9	35,7	29,4	28,8	29,8	30,6
Feldspato Potássico	18,6	14,2	18,3	18,5	14,2	18	10,3	12,5	7,2
Clinopiroxênio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anfibólio	2,1	7	1,1	0,4	1	1,3	4,8	5,4	5,2
Biotita	10,1	10,2	4,6	9,1	9,1	11,2	8	9	9,3
Epidoto (p)	0,9	0,9	0,8	0,5	Tr	Tr	0,7	0,4	0,1
Allanita	-	-	Tr	-	-	-	-	0,2	-
Opacos	0,6	0,7	0,4	0,3	0,6	0,4	0,1	Tr	0,8
Titanita	0,9	0,5	0,5	0,7	0,2	0,8	0,5	1,2	1,3
Apatita	-	-	Tr	-	-	-	-	-	0,1
Zircão	Tr	-	Tr	Tr	0,1	-	Tr	Tr	Tr
Monazita	-	-	-	-	-	-	Tr	-	-
Epidotos (s)	0,2	-	-	Tr	Tr	Tr	0,1	-	Tr
Clorita (s)	-	-	Tr	Tr	Tr	-	-	-	-
Carbonato (s)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Escapolita (s)	1	-	-	1,3	1,2	-	-	-	Tr
A+P	55,3	53,8	57,4	58,6	51,8	56,5	56,7	53,7	51,9
Máficos	14,6	19,3	7,4	11	11	13,7	14,1	16,2	16,8
Plagioclásio**	43,74	49,19	42,78	45,83	42,97	44,82	54,27	49,34	54,18
Quartzo**	34,09	33,17	37,20	33,03	40,80	34,23	33,68	35,69	37,09
Feldspato Alcalino**	22,17	17,64	20,02	21,14	16,23	20,95	12,05	14,97	8,73
Nº de Pontos	2000	2000	2000	2000	2000	1672	2000	2000	2000

* = amostra com análise química; (s) = mineral secundário; - = mineral não observado na amostra; Tr = mineral presente na rocha, mas não registrado na contagem modal; ** = recalculado a 100%.

Tabela 3-3 (Continuação)

Litologia	Biotita-Anfibólio Tonalito				Epidoto- Anfibólio- Biotita Tonalito	Enclave
	Amostra/ Mineral	AFD- 02*	AFD-06/ AMP- 65*	AFD- 07*	AMP- 19	
Plagioclásio	44,5	48,2	35,6	43,5	40,4	44,4
Quartzo	36,5	36	29	39	36,8	18,8
Feldspato Potássico	1,2	0,7	2,9	-	3,2	-
Clinopiroxênio	-	-	-	-	-	0,5
Anfibólio	11,8	9,5	16,4	12	0,6	22,3
Biotita	2,3	5,3	9,3	1	13,3	10,3
Epidoto (p)	-	-	0,2	0,2	1,3	Tr
Allanita	-	-	-	0,1	Tr	-
Opacos	0,8	0,7	0,6	Tr	Tr	0,1
Titanita	-	Tr	0,6	0,2	0,4	1,5
Apatita	-	Tr	Tr	Tr	-	Tr
Zircão	-	Tr	-	-	-	-
Monazita	-	Tr	-	-	-	-
Epidotos (s)	Tr	-	-	Tr	1	Tr
Clorita (s)	-	-	-	Tr	-	-
Carbonato (s)	-	-	-	-	-	-
Escapolita (s)	2,6	-	5	-	2,6	-
A+P	45,7	48,9	38,5	43,5	43,6	44,4
Máficos	14,9	15,5	27,1	13,5	15,6	34,7
Plagioclásio**	54,14	56,77	52,74	52,73	50,25	70,25
Quartzo**	44,40	42,40	42,96	47,27	45,77	29,75
Feldspato Alcalino**	1,46	0,82	4,30	-	3,98	-
Nº de Pontos	2000	1962	1800	2000	2000	2000

* = amostra com análise química; (s) = mineral secundário; - = mineral não observado na amostra; Tr = mineral presente na rocha, mas não registrado na contagem modal; ** = recalculado a 100%.

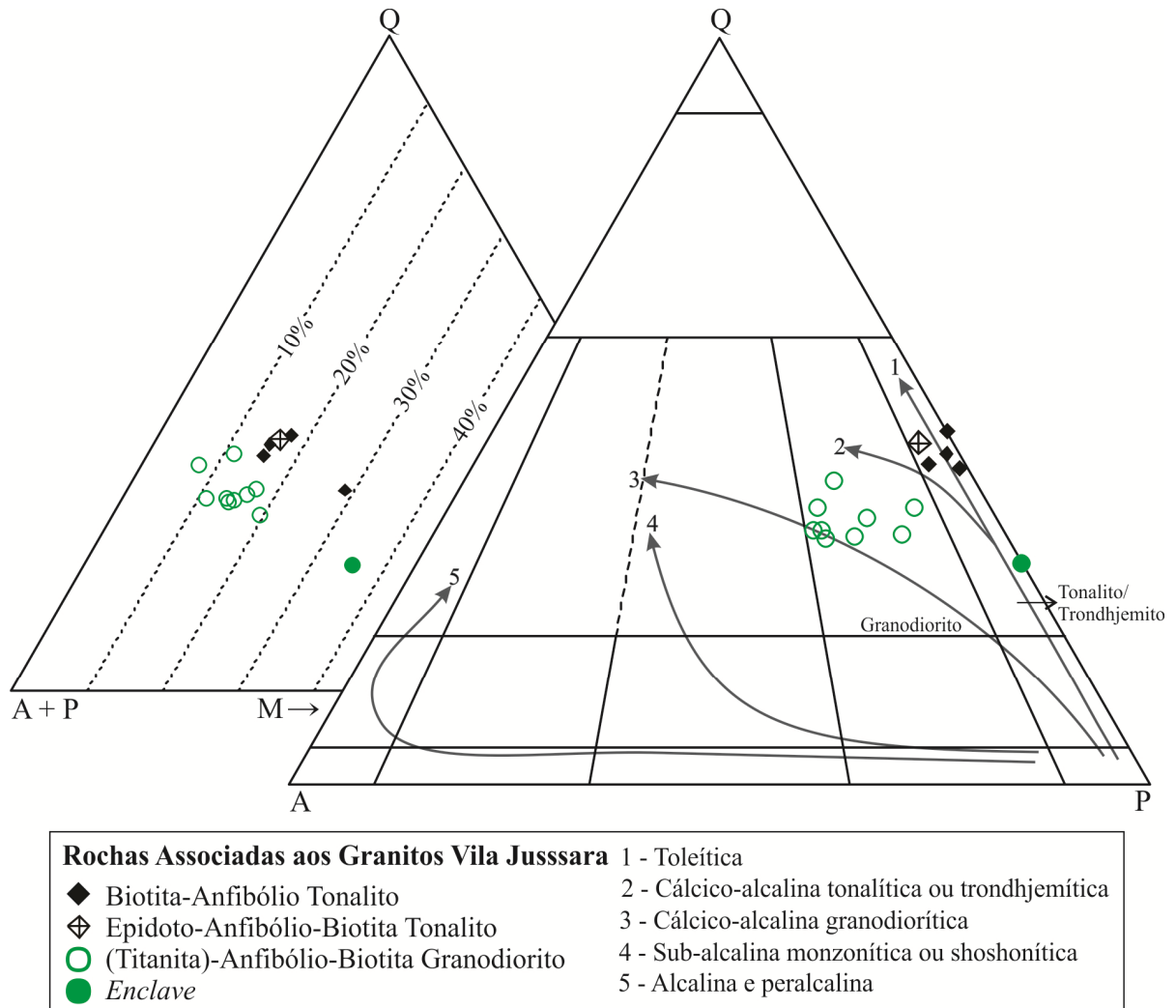


Figura 3-7- Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976) para as rochas associadas aos Granitos Vila Jussara. 1 a 5 são *trends* evolutivos de séries granitóides (Lameyre & Bowden 1982, Bowden *et al.* 1984).

O *anfibólio* se apresenta como cristais subautomórficos, de granulação fina, localmente média. Alguns cristais possuem inclusões de plagioclásio, biotita e opacos.

Biotita desenvolve lamelas subautomórficas, finas, que formam agregados máficos orientados conforme a foliação da rocha. Está associada a anfibólio, titanita e opacos ou incluída em plagioclásio e anfibólio (Figura 3-8d).

Os cristais de *titanita* são subautomórficos a automórficos, de granulação fina e estão comumente associados a opacos, que, por vezes, formam texturas em coroa em torno deste.

Acessórios: Epidoto forma cristais subautomórficos de granulação fina e costuma envolver cristais subautomórficos de allanita; Minerais opacos são subautomórficos, finos e estão frequentemente associados à titanita e anfibólio; Apatita, zircão e monazita aparecem como finos cristais inclusos em plagioclásio, anfibólio e biotita.

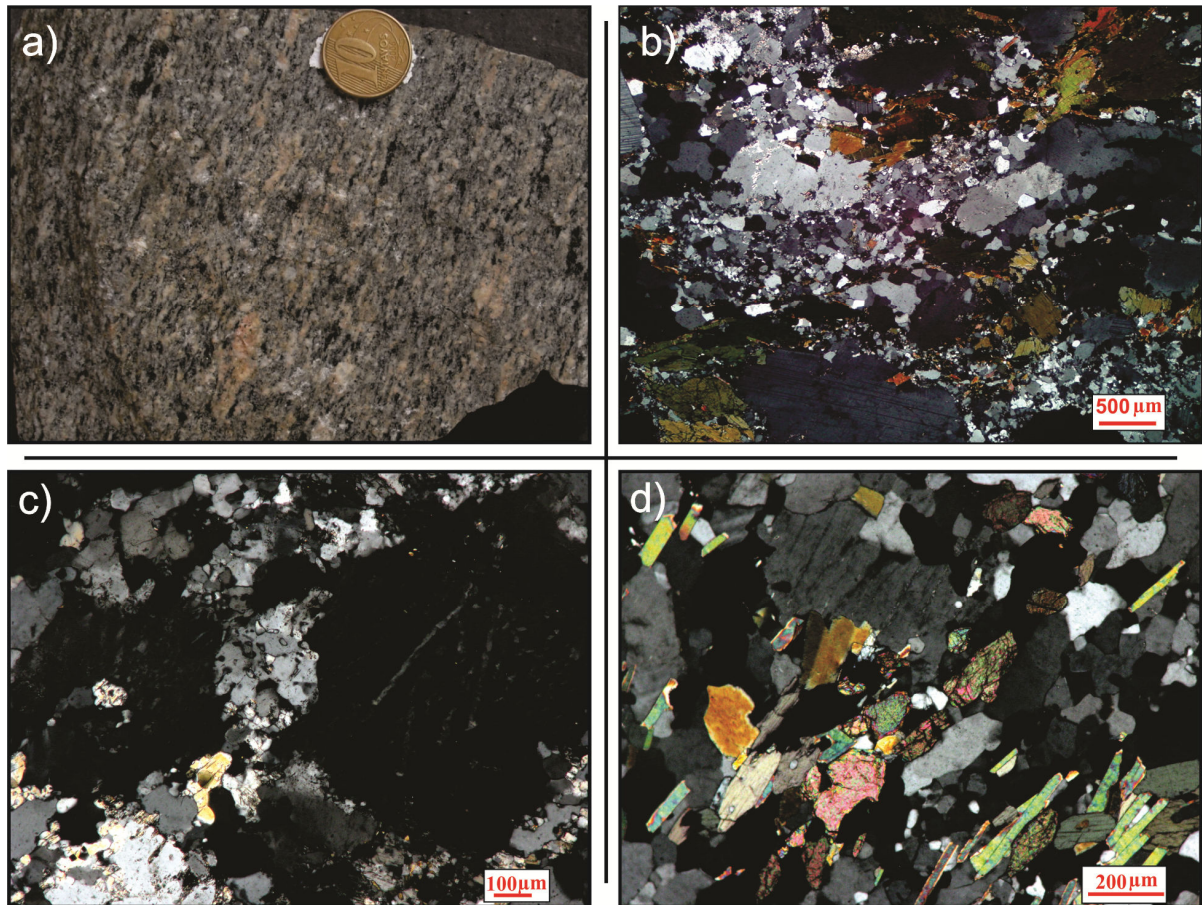


Figura 3-8 – Aspectos texturais dos tonalitos/granodioritos associados aos Granitos Vila Jussara. a) aspecto macroscópico (AMP-74B -); b) aspecto microscópico geral, mostrando cristais de plagioclásio e máficos contornados por finos cristais provenientes de recristalização (AMP-65); c) . cristal de plagioclásio com manchas finas de feldspato alcalino (antiperititas? – AMP-65); d) aspecto da foliação definida por cristais orientados de biotita, anfibólio e titanita. b, c e d fotomicrografias em nicóis cruzados.

3.2.2. Geoquímica

Foram realizadas análises químicas de elementos maiores, menores e elementos traço, incluindo terras raras em 10 amostras de tonalitos e granodioritos associados aos Granitos Vila Jussara (Tabela 3-4). As análises foram realizadas no Laboratório ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTDA. Os elementos maiores e menores foram analisados por ICP-ES e os elementos-traço, incluindo os elementos terras raras, por ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry). Os pacotes analíticos utilizados foram 4A e 4B, sendo os métodos empregados e os limites de detecção informados no site www.acmelab.com.

Tabela 3-4 – Composições químicas dos tonalitos e granodioritos associados aos Granitos Vila Jussara.

Litologia	Enclave	Biotita-Anfibólio Tonalito			(Titanita)-Anfibólio-Biotita Granodiorito					
Amostras/ Elementos	AFD- 11B	AFD- 07	AFD-06/ AMP-65	AFD-02	AFD- 16A	AFD-08/ AMP-18	ADE- 01D	AFD-11A	ADE- 04B	AFD-15
(% peso)										
SiO ₂	60,67	63,06	65,22	66,60	68,39	68,86	69,07	69,27	70,62	70,83
TiO ₂	0,97	1,06	1,02	0,98	0,70	0,71	0,49	0,51	0,45	0,43
Al ₂ O ₃	14,03	13,85	13,63	14,27	13,61	13,54	14,47	14,13	13,98	13,98
Fe ₂ O ₃	9,21	7,94	7,16	6,23	5,33	4,92	3,66	4,2	3,13	3,24
MnO	0,12	0,12	0,09	0,08	0,08	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04
MgO	2,82	1,79	1,63	0,85	1,11	1,18	0,98	1,22	0,80	0,80
CaO	5,49	4,44	4,17	4,39	2,83	2,75	2,54	2,98	2,08	2,16
Na ₂ O	3,46	3,93	3,79	4,56	3,79	3,61	4,11	3,62	3,61	3,35
K ₂ O	2,01	2,60	2,51	1,41	3,36	3,55	3,35	3,21	4,22	4,28
P ₂ O ₅	0,29	0,39	0,31	0,27	0,24	0,23	0,13	0,16	0,09	0,14
PF	0,7	0,4	0,2	0,1	0,3	0,3	0,9	0,4	0,7	0,5
TOTAL	99,77	99,58	99,73	99,74	99,74	99,71	99,74	99,75	99,72	99,75
(ppm)										
Ba	769	1573	970	1077	990	1117	1093	949	1077	996
Sr	301,4	358,1	340,8	495,9	232,9	260,4	267,4	269,4	242,6	236,3
Rb	75,4	45,7	54,9	21,1	104,6	90	145,2	111	153,4	167,7
Zr	238,4	375,4	205,5	260,6	313,9	435,3	295,9	315,1	322,6	263
Y	25,8	42,9	20,7	16,9	23,9	24	25,1	24,1	32,5	29,9
Hf	6,2	9,5	4,9	5,8	8,1	11	8	7,9	8,5	7,1
Nb	7,3	15,1	12,2	7,3	11,2	11,2	10,4	9,8	12,8	12,7
Ta	0,6	1	1,1	0,5	0,9	0,7	1	0,7	1,2	1
V	164	128	107	39	69	66	53	53	41	35
U	0,8	0,4	0,8	0,6	1,8	0,3	0,9	0,6	0,9	1,2
Th	6,9	4,7	5,5	3,6	13,2	4,2	8,9	3,4	16,9	27,2
Pb	2,7	3,2	2,9	2,5	6,5	2,2	3,7	3,7	7,8	7,3
La	32,60	64,20	37,70	28,40	41,10	37,50	43,70	26,80	73,60	48,40
Ce	71,20	138,60	77,40	58,60	82,70	81,80	91,10	65,90	153,30	101,80
Pr	9,27	17,08	9,27	7,10	9,74	10,19	11,07	8,94	16,83	12,68
Nd	36,40	67,50	34,80	27,60	35,70	39,70	42,10	35,80	62,20	45,90
Sm	6,37	11,55	5,97	5,01	6,29	6,82	7,31	6,38	9,60	8,01
Eu	1,43	2,10	1,32	2,36	1,03	1,03	0,96	0,88	1,06	0,85
Gd	5,42	9,37	4,70	4,31	5,52	5,59	5,78	5,68	7,26	6,22
Tb	0,83	1,48	0,73	0,63	0,81	0,86	0,88	0,84	1,06	1,01
Dy	4,85	8,05	3,69	3,13	4,36	4,80	4,62	4,36	5,58	5,03
Ho	0,91	1,53	0,73	0,59	0,83	0,84	0,87	0,86	1,10	1,00
Er	2,78	4,44	2,09	1,67	2,33	2,44	2,45	2,28	3,08	2,79
Tm	0,43	0,67	0,30	0,25	0,37	0,38	0,35	0,33	0,45	0,42
Yb	2,57	4,33	1,80	1,46	2,05	2,21	1,94	2,03	2,89	2,55
Lu	0,39	0,63	0,28	0,23	0,33	0,33	0,29	0,28	0,40	0,34
A/CNK	0,79	0,80	0,82	0,84	0,91	0,92	0,96	0,95	0,98	0,99
#Mg	0,38	0,31	0,31	0,21	0,29	0,32	0,35	0,37	0,34	0,33
Rb/Sr	0,25	0,13	0,16	0,04	0,45	0,35	0,54	0,41	0,63	0,71
Sr/Ba	0,39	0,23	0,35	0,46	0,24	0,23	0,24	0,28	0,23	0,24
Nb/Ta	12,17	15,10	11,09	14,60	12,44	16,00	10,40	14,00	10,67	12,70
K ₂ O/Na ₂ O	0,58	0,66	0,66	0,31	0,89	0,98	0,82	0,89	1,17	1,28
(La/Yb)N	8,57	10,02	14,15	13,14	13,55	11,47	15,22	8,92	17,21	12,83
Eu/Eu*	0,73	0,60	0,74	1,52	0,52	0,50	0,44	0,44	0,37	0,36

3.2.2.1. Elementos maiores e menores

Os conteúdos de sílica variam de 63,06% a 66,83% nos tonalitos e de 68,39 a 70,83% nos granodioritos (Tabela 3-4). Os conteúdos de Al_2O_3 são relativamente baixos e similares nas duas variedades (13,54 a 14,47%). A razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ varia de 0,31 a 0,66 e 0,82 a 1,28 nos tonalitos e granodioritos, respectivamente. As amostras de tonalitos e granodioritos não mostram em geral alinhamento nos diagramas de Harker (Figura 3-7), o que reforça as observações feitas com base na petrografia que indicam contrastes expressivos entre essas duas litologias. Os granodioritos mostram correlação negativa com a sílica para TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 e Na_2O , enquanto que para K_2O parece haver correlação positiva e para Al_2O_3 não há um trend bem definido (Figura 3-7). No caso dos tonalitos, as correlações com sílica são similares, mas os alinhamentos são, com exceção de Fe_2O_3 e em certa medida P_2O_5 (Figuras 3-7c, f), distintos daqueles dos granodioritos e, por vezes, não há correlação clara (casos de CaO e K_2O , Figuras 3-7e, h). Há duas amostras com conteúdo de $\text{K}_2\text{O} > 4\%$ e SiO_2 em torno de 70% (ADE-04B e AFD-15; Tabela 3-4), cujas composições são na realidade graníticas.

3.2.2.2. Elementos traço

Os diagramas de Harker para os elementos traço mostram pouca variação dos valores de Ba, Sr, Zr e, por consequência, da razão Sr/Ba nas amostras dos granodioritos, não havendo correlação dos mesmos com o aumento de sílica (Figuras 3-8a, b, d, h). Rb, Y, Yb e a razão Rb/Sr mostram para as amostras dessa mesma variedade correlação positiva com a sílica (Figuras 3-8c, e, f, g). As amostras de tonalitos sempre mostram considerável dispersão e não exibem tendência ao alinhamento com aquelas dos granodioritos. Isto sugere que diferentes fases minerais atuaram durante o fracionamento dessas rochas.

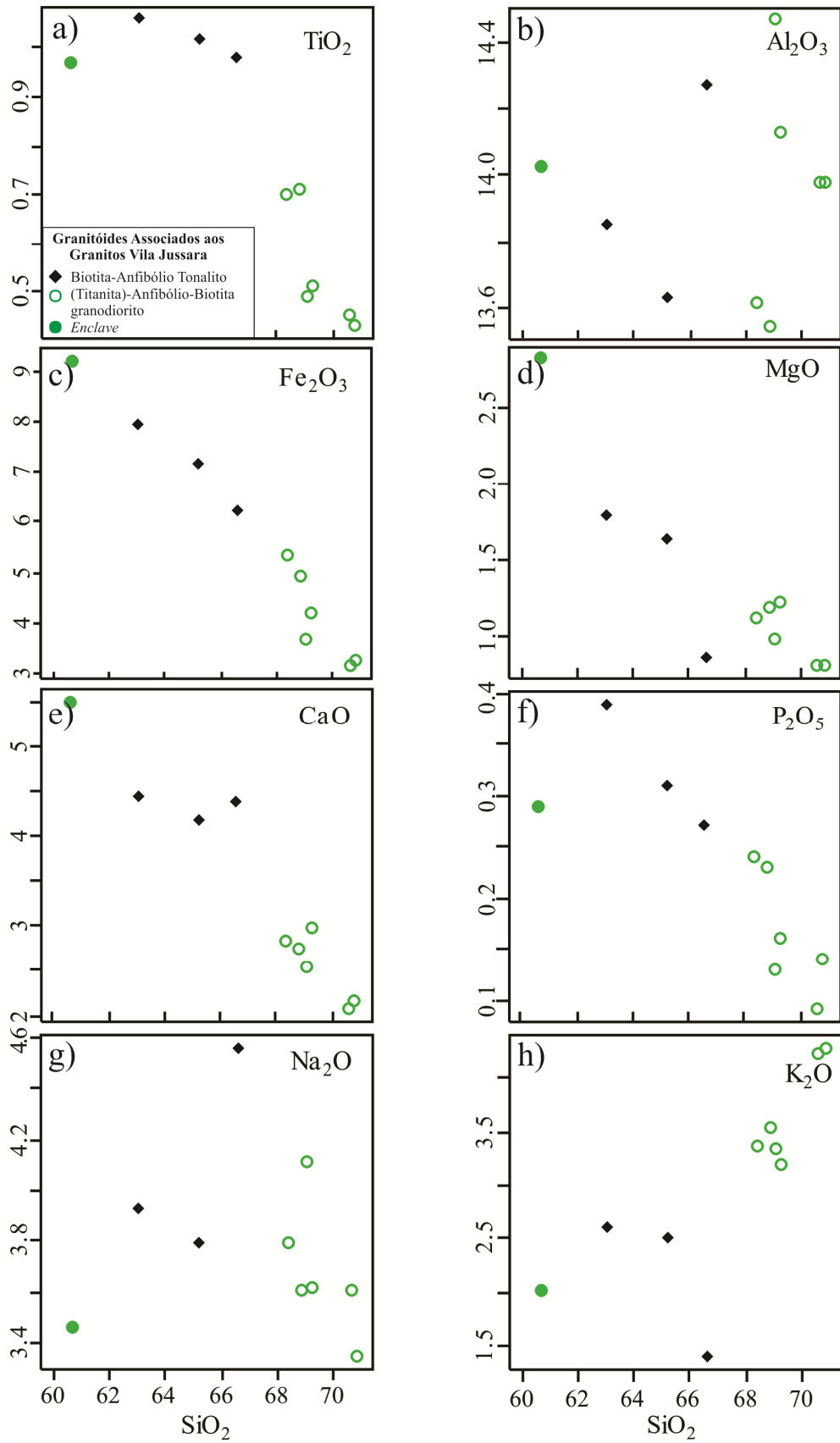


Figura 3-9 – Diagramas de Harker para os óxidos (% em peso) dos tonalitos e granodioritos associados aos Granitos Vila Jussara.

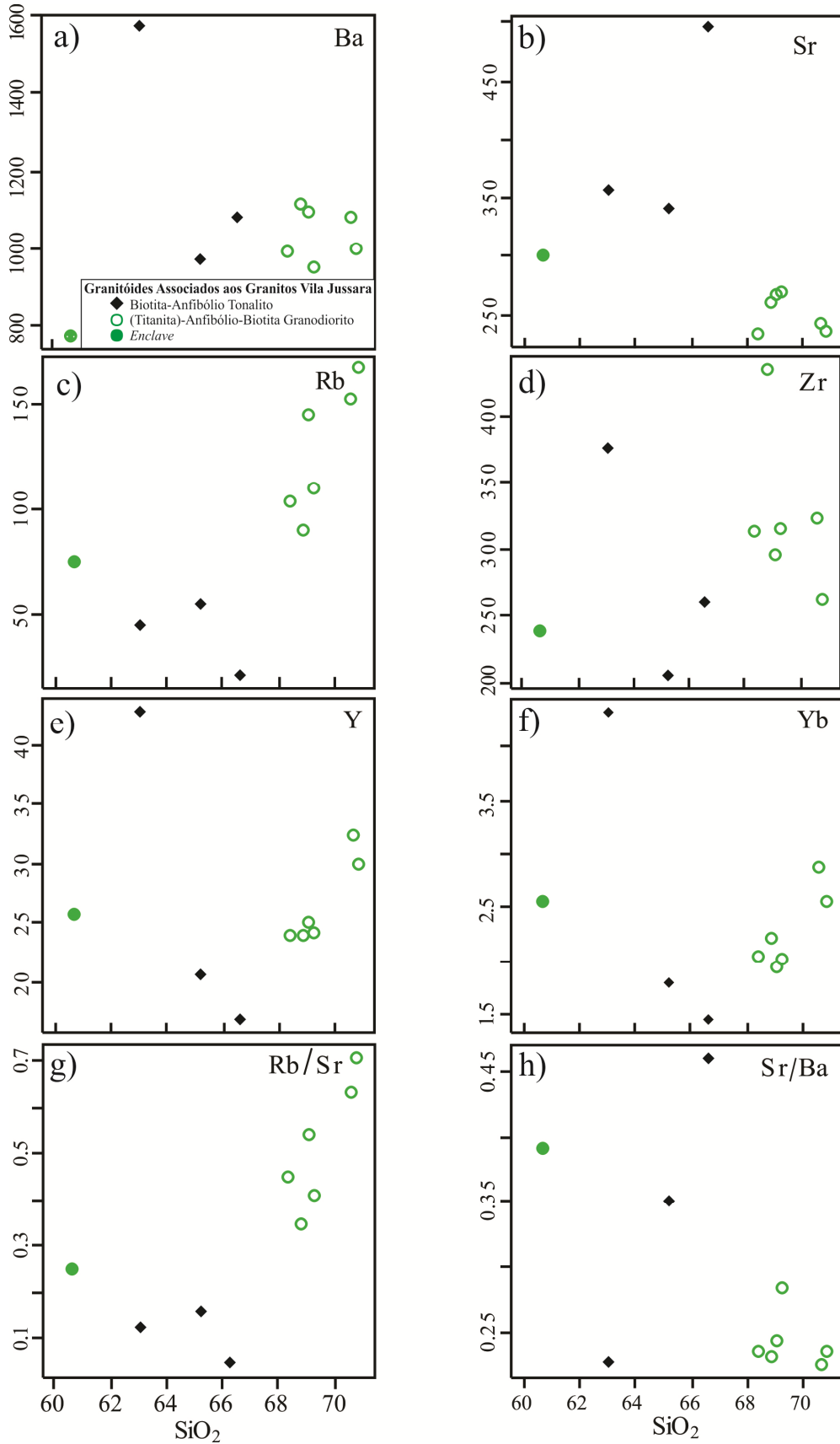


Figura 3-10 – Diagramas de Harker para os elementos traço dos Tonalitos e Granodioritos Associados aos Granitos Vila Jussara. Elemento em ppm e sílica em % em peso.

3.2.2.3. Elementos terras raras

Os ETR foram normalizados pelos valores dos condritos conforme Evensen *et al.* (1978). Os padrões de ETR dessas rochas mostram comportamento homogêneo (Figura 15), com baixo fracionamento de ETR pesados em relação aos leves (média da razão $(La/Yb)_n = 13$, com variação entre 8 e 18) e anomalias negativas de Eu ($0,36 \leq Eu/Eu^* \leq 0,74$), com exceção de uma amostra de tonalito que possui anomalia positiva de Eu (1,52). Tais padrões indicam ausência de fracionamento expressivo de fases enriquecidas em ETR pesados, como, por exemplo, hornblenda e granada, e participação de plagioclásio como fase retida no resíduo ou fracionada durante a evolução do magma.

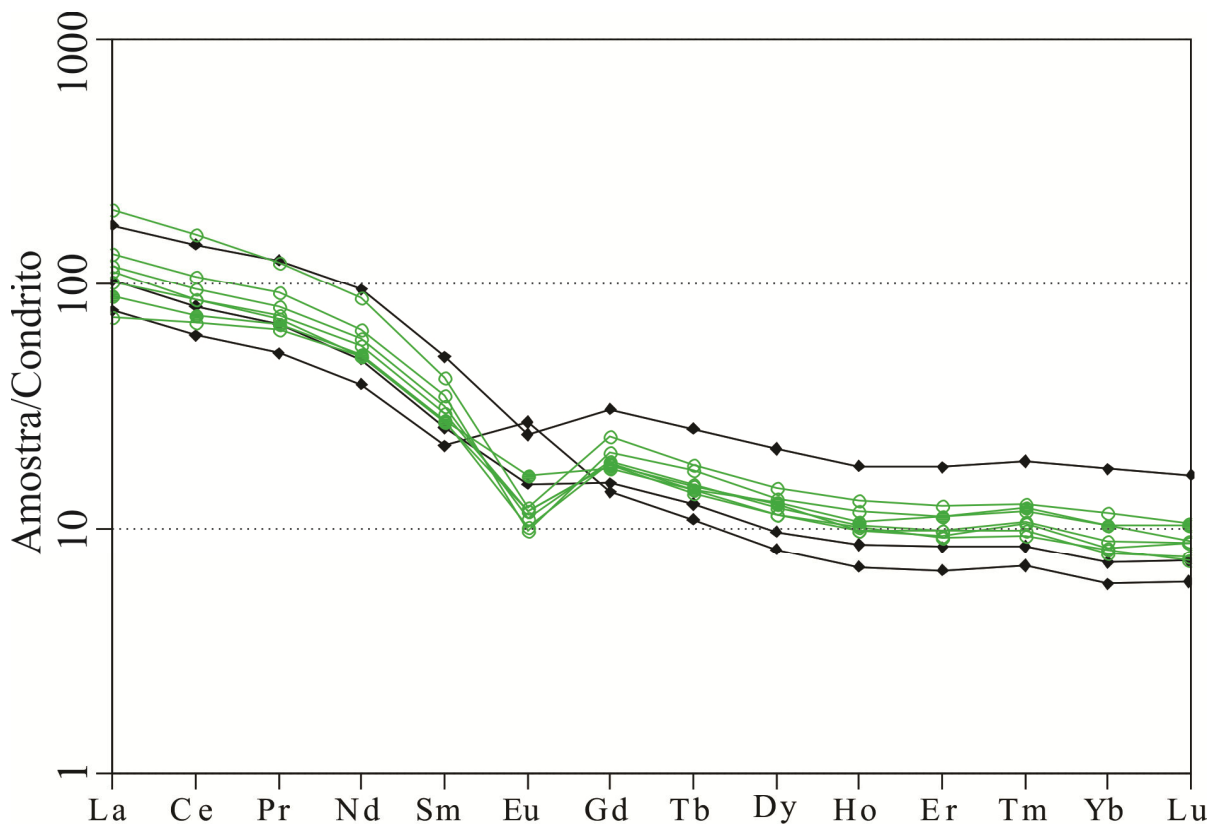


Figura 3-11 – Padrões de Elementos Terras Raras dos Tonalitos e Granodioritos Associados aos Granitos Vila Jussara.

3.2.2.4. Caracterização geoquímica complementar

Tanto os tonalitos quanto os granodioritos são metaluminosos, porém os tonalitos são mais fortemente metaluminosos que os granodioritos (Figura 3-10a - Maniar & Piccoli 1989). No diagrama AFM (Figura 3-10b), as amostras dos granodioritos se situam no campo da série cálcico-alcalina, já os tonalitos caem no campo da série toleítica.

No diagrama normativo Ab-An-Or (Figura 3-10c), os granodioritos incidem principalmente no campo destinado aos granodioritos, com composições que chegam a

granitos. Já os tonalitos incidem nos campos dos granodioritos ou dos tonalitos. No diagrama Na-K-Ca (Figura 3-10d), as amostras seguem o trend cálcico-alcálico, com exceção de uma amostra tonalítica que incide no campos dos trondhjemitos.

O número de magnésio (#Mg) é relativamente alto, variando de 0,29 a 0,37, com exceção de uma amostra de tonalito que possui #Mg= 0,21. Os granodioritos tendem a apresentar valores de #Mg mais elevados do que os tonalitos (Tabela 3-4).

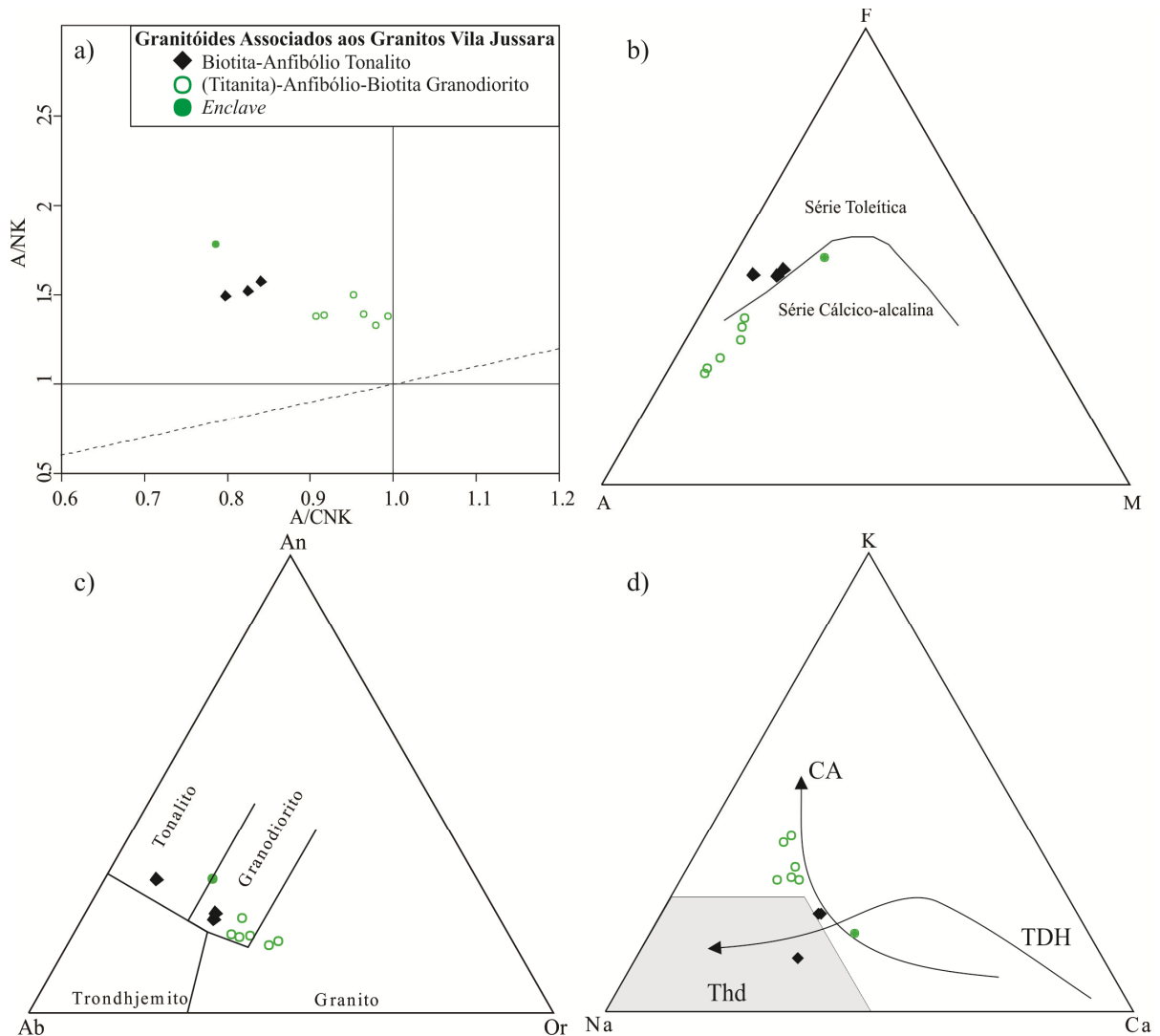


Figura 3-12 - Caracterização geoquímica dos Tonalitos e Granodioritos Associados aos Granitos Vila Jussara: a) Diagrama $[Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)]mol$ vs. $[Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)]mol$ (Maniar & Piccoli 1989); b) Diagrama AFM (A= Na₂O+K₂O; F= FeO+0,9*Fe₂O₃; M= MgO). Os campos são de Irvine & Baragar (1971); c) Diagrama normativo Ab-An-Or (Barker 1979); d) Diagrama Na-K-Ca (trends CA=cálcico-alcálico, TDH=trondhjemítico, segundo Barker & Arth 1976; Thd= Campo trondhjemítico, Martin, 1994).).

3.2.3. Breve comparação entre os tonalitos e granodioritos associados com o granito Vila Jussara e o Tonalito São Carlos e o Trondhjemito Colorado

Os tonalitos e granodioritos caracterizados nesta seção diferem radicalmente do Trondhjemito Colorado em termos de sua petrografia e geoquímica. Os últimos são típicos TTGs (Moyen & Martin 2002), com dominância de biotita trondhjemitos. São rochas com baixos conteúdos modais de minerais ferromagnesianos, não contém hornblenda e possuem epidoto e muscovita entre suas principais fases minerais. Já os tonalitos e granodioritos associados com os granitos Vila Jussara contém proporções modais expressivas de anfibólio, que chega a ser a principal fase máfica nos tonalitos, e possuem titanita e opacos como importantes fases acessórias. O Trondhjemito Colorado é peraluminoso, tem alta alumina ($> 15\%$ de Al_2O_3), apresenta elevadas razões $(La/Yb)_n$ e anomalias de Eu negativas discretas a ausentes ou positivas e acentuadas, o que implica fracionamento de fases inteiramente distintas durante sua evolução se comparado aos tonalitos e granodioritos Vila Jussara.

As diferenças entre o Tonalito São Carlos e os tonalitos e granodioritos Vila Jussara são menos marcantes. No primeiro predomina biotita sobre anfibólio e epidoto é o principal acessório, quadro distinto do observado nos últimos. Ambos granitóides são metaluminosos, mas os tonalitos e granodioritos Vila Jussara seguem o trend cálcio-alcálico no diagrama K-Na-Ca, ao passo que o Tonalito São Carlos plota no campo dos trondhjemitos naquele mesmo diagrama. Os valores de $\#Mg$ são mais elevados no Tonalito São Carlos, ao passo que os conteúdos de Zr, Y, Nb e Ba são acentuadamente mais elevados nos tonalitos e granodioritos Vila Jussara, o que indica que possuem um caráter comparativamente mais alcalino. Os padrões de ETR são similares nesses dois granitóides, mas as anomalias negativas de Eu tendem a ser mais acentuadas nos granitóides Vila Jussara.

Conclui-se que os tonalitos e granodioritos associados aos granitos Vila Jussara possuem diferenças petrográficas e geoquímicas expressivas em relação ao Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado e representam uma associação granitóide geneticamente distinta das duas últimas. Essa conclusão é reforçada pelo contraste de idades entre essas unidades e os tonalitos e granodioritos Vila Jussara.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSÕES

Mapeamento geológico em escala 1:50.000 acompanhado de estudos petrográficos e geoquímicos permitiu a individualização nos domínios anteriormente atribuídos ao Complexo Xingu da área de Vila Jussara diversos granitóides arqueanos: Tonalito São Carlos e Trondhjemitico Colorado, os quais receberam denominação estratigráfica neste trabalho, assim como Leucogranodiorito Porfirítico e Granitóides Vila Jussara. Além destes granitóides foi encontrada ainda uma pequena ocorrência de *greenstone belts*, a qual representa uma extensão para o norte do cinturão Sapucaia e diques máficos ou raramente félsicos que cortam as diferentes unidades arqueanas.

O Tonalito São Carlos apresenta foliações orientadas segundo NE-SW a N-S, discordantes do *trend* regional dominante. Dados geocronológicos preliminares forneceram idade Pb-Pb em zircão de 2,93 Ga para esse granitóide (Guimarães em preparação). É formado unicamente por tonalitos, os quais possuem biotita e anfibólio como principais minerais ferromagnesianos, quase sempre com maior abundância da mica. Epidoto, titanita, minerais opacos, allanita e zircão são as fases acessórias primárias, com destaque para o epidoto. A alteração secundária é marcada em algumas amostras por forte escapolitização, assim como pela formação de epidoto, carbonatos e clorita. As rochas desta unidade exibem claras evidências de forte recristalização dinâmica e estática.

O Tonalito São Carlos possui particularidades geoquímicas, pois não se assemelha às típicas suítes TTGs arqueanas (Moyen & Martin 2012), nem tampouco à Suíte sanukitóide Rio Maria. Em relação às associações similares descritas em Canaã dos Carajás, diverge substancialmente do Trondhjemitico Rio Verde e da Suíte Pedra Branca e revela analogias com as variedades portadoras de anfibólio do Complexo Tonalítico Campina Verde.

O Trondhjemitico Colorado apresenta bandamento composicional que define foliação orientada principalmente segundo E-W a NW-SE. Enclaves máficos anfibolíticos ou quartzodioríticos a tonalíticos são comuns, assim como veios e vênulas quartzo-feldspáticas concordantes ou discordantes em relação à foliação.

As rochas do Trondhjemitico Colorado são pouco variadas petrograficamente, sendo classificadas como trondhjemitos ou tonalitos, com raros granodioritos. O principal mineral ferromagnesiano é a biotita, em geral acompanhada por epidoto. Muscovita magmática ocorre em algumas amostras como mineral varietal e o aumento em seu conteúdo modal parece estar diretamente relacionado ao de epidoto magmático. Os minerais acessórios primários são

allanita, opacos, titanita, apatita e zircão e os secundários epidotos, muscovita, carbonato, clorita e escapolita.

O Trondhjemito Colorado apresenta todas as características geológicas, petrográficas e geoquímicas dos granitóides arqueanos das típicas série trondhjemítica (Barker 1979, Martin 1994, Moyen & Martin 2012). Sua assinatura geoquímica indica similaridades com o grupo de TTGs portadores de altas razões $(La/Yb)_n$ e Sr/Y e, mais particularmente, com o Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha do Domínio Rio Maria e com o Trondhjemito Rio Verde da área de Canãa dos Carajás. Isto constitui forte evidência de que, durante a gênese ou evolução de seu magma, fases minerais com elevados coeficientes de partição para ETR pesados tiveram papel importante no fracionamento, não tendo sido acompanhadas pelo plagioclásio. O empobrecimento marcante em ETR leves, acompanhado do surgimento de expressivas anomalias positivas de Eu em muitas amostras do Trondhjemito Colorado, foi explicado pela desestabilização de allanita e remoção de seus constituintes do sistema. Isso se deu provavelmente durante a atuação do intenso evento de deformação e recristalização que afetou as rochas desse granitóide no Neoarqueano.

Os Leucogranodioritos Porfíricos são rochas bastante homogêneas em termos petrográficos, as quais ocorrem dispersas em toda a área mapeada, embora se concentrem em um *stock* no centro-sul. Sua idade ainda não foi definida. São compostas por plagioclásio, quartzo e feldspato alcalino como minerais essenciais e biotita, epidoto e muscovita como varietais. Os minerais acessórios são escassos e representados por minerais opacos, allanita, zircão, titanita e apatita. Destaca-se o aspecto heterogranular dessa unidade, com fenocristais de plagioclásio e feldspato alcalino em meio a uma fina matriz de cristais recristalizados.

Geoquimicamente, o leucogranodiorito porfírico e rochas afins são peraluminosas e pertencem à série cálcico-alcalina. Exibem dois tipos de padrões de ETR que são análogos aos fornecidos pelas amostras do Trondhjemito Colorado. Isso sugere que o leucogranodiorito e rochas afins podem ter sido afetados pelo mesmo processo responsável pela desestabilização e remoção de allanita verificado em parte das amostras do Trondhjemito Colorado. As variações geoquímicas observadas nestes leucogranitóides indicam claramente que os mesmos não são derivados de um único líquido magmático, mas sim de líquidos muito evoluídos distintos em sua origem.

Os granodioritos e tonalitos associados aos granitos (*stricto sensu*) Vila Jussara possuem idades em torno de 2,75 a 2,72 Ga (Guimarães em preparação) e são, portanto, mais jovens que o Tonalito São Carlos e Trondhjemito Colorado. Os tonalitos e granodioritos associados aos Granitos Vila Jussara são formados principalmente por anfíbólio-biotita

granodioritos, com ocorrência subordinada de biotita-anfibólio tonalitos. Titanita e minerais opacos são minerais acessórios expressivos nesse granitóide. Os aspectos texturais indicam que suas rochas foram submetidas a intensa deformação e recristalização, evidenciadas pelas texturas protomiloníticas, antipertitas(?) no plagioclásio e texturas em mosaico dos cristais de quartzo e feldspatos. A variedade tonalítica mostra-se distinta dos granodioritos em diversos aspectos geoquímicos, o que indica que as duas não derivaram de um mesmo líquido magmático. Os granitóides associados ao Granito Vila Jussara são muito distintos das séries TTGs em termos petrográficos e geoquímicos e não apresentam, portanto, afinidade com o Trondhjemito Colorado. Aproximam-se mais do Tonalito São Carlos em determinados aspectos, mas diferem das rochas do mesmo por apresentarem orientação estrutural divergente e assinatura geoquímica menos magnésiana (menores valores de #Mg) e mais alcalina (enriquecimento relativo em Zr, Y e Nb).

Os dados geológicos obtidos na área de Vila Jussara revelam que o Subdomínio de Transição possui uma evolução complexa, ainda não esclarecida. O grande volume de TTGs de idade mesoarqueana reforça a hipótese de possível ligação evolutiva entre a área estudada e o Domínio Rio Maria e, ao mesmo tempo, limita sua correlação com a área de Canaã dos Carajás, no extremo norte do Subdomínio de Transição.

REFERÊNCIAS

- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite–granite suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, **120**:235-257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*. **187**:201-221.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. **42**: 103-126.
- Althoff F. J., 1996. Étude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara (Pará, Brésil): leur rôle dans l'évolution archéenne du craton Amazonien (2.7– 3.2 Ga). Université Henri Poincaré, Nancy I, France. 296p. (Tese de Doutorado).
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SEAmazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*. **104**:187-206.
- Althoff F.J., Barbey P.; Macambira M.J.B., Scheller T.; Leterrier J.; Dall'Agnol R., Lafon J.M. 1998. La croissance du craton sud-amazonien (région de Rio Maria, Brésil). *In: Réunion des Sciences de la Terre. Resumés. Brest, Societé Géologique de France*, p. 62.
- Althoff F.J., Barbey P.; Macambira M.J.B., Scheller T.; Leterrier J.; Dall'Agnol R., Lafon J.M. 1998. La croissance du craton sud-amazonien (région de Rio Maria, Brésil). *In: Réunion des Sciences de la Terre. Resumés. Brest, Societé Géologique de France*, p. 62.
- Araújo, O.J.B.; Maia, R.G.N., 1991. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Serra dos Carajás, folha SB-22-Z-A, Estado do Pará. Texto explicativo, Brasília, DNPM/CPRM. 164p.
- Araújo O.J.B., Macambira E.M.B., Vale A.G., Oliveira J.R., Silva Neto C. S., Costa, E.J.S., Santos A., Pena Filho J.I.C., Neves A.P., Jorge João X.S., Costa J.B.S. 1994. Primeira integração das investigações geológicas do Programa Grande Carajás na região SSE do Estado do Pará. *In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, Belém. Boletim de Resumos Expandidos...* SBG p. 299-301.
- Avelar V.G. 1996. Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão, do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental. Belém, Universidade Federal do Pará. CG. 199 p. (Dissertação de Mestrado).
- Barbosa J.P.O. 2004. Geologia Estrutural, Geoquímica, Petrografia e Geocronologia de granitóides da região do Igarapé Gelado, norte da Província Mineral de Carajás. Universidade Federal do Pará, 96p. (Dissertação de Mestrado).
- Bard J.P. Microtextures of igneous and metamorphic rocks. D. Reidel Publishing Company. Tokyo. 1980. 246p.
- Barker F. 1979. Trondhjemites: definition, environment and hypothesis of origin. *In: Trondhjemites, Dacites and Related Rocks (F. Barker, ed.), Elsevier, Amsterdam*, pp. 1-12.

- Barros C.E.M. Evolução petrológica e estrutural do Gnaiss Estrela, Curionópolis, PA. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Belém. 1991. 134p.
- Barros C.E.M. Pétrologie et structure du Complexe Granitique Estrela (2.5 Ga) et de son encaissant métavolcano-sédimentaire (Province Métallifère de Carajás, Brèsil). Nancy, 1997. 316 f. Tese (Doutorado) - Université Henri Poincaré, Nancy, 1997.
- Barros C.E.M. & Dall'Agnol R. 1994. Deformação de rochas granitóides em regime dúctil: o exemplo do Gnaiss Estrela, região de Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*. **23**:315-332.
- Barros C.E.M., Barbey P., Boullier A.M. 2001. Role of magma pressure, tectonic stress and crystallization progress in the emplacement of the syntectonic A-type Estrela Granite Complex (Carajás Mineral Province, Brazil). *Tectonophysics*, **343**: 93-109.
- Barros C.E.M. , Dall'Agnol R., Barbey., Boullier A.M. 1997. Geochemistry of the Estrela Granite Complex, Carajás Region, Brazil: an example of an Archaean A-type granitoid. *Journal of South-American Earth Sciences*. **10** (3-4): 321-330.
- Barros C.E.M., Macambira M.J.B., Barbey P., Scheller, T. 2004. Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: Implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**: 531-538.
- Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J.P.O., Macambira M.J.B. 2009. Structure, Petrology, Geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb geochronology of the synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type granites from the Carajás Metallogenic Province, northern Brazil, *Canadian Mineralogist* **47**: 1423-1440.
- Chayes F. 1956. Petrographic modal analysis: an elementary statistical appraisal. New York, John Wiley e Sons. 113 p.
- Cordeiro A.A.C. 1982. Geologia preliminar da região de Andorinhas. *In*: Simpósio de Geologia da Amazônia, 1. *Anais...* Belém: SBG-Núcleo Norte, 1982. v. **1**, p. 45-49.
- Cordeiro A.A.C., Saueressig R. 1980. Serra das Andorinhas: geologia e principais ocorrências de ouro. *In*: SBG, Cong. Bras. Geol. 31., , Camboriú. *Resumos das comunicações...* Camboriú: SBG, 1980. p. 344.
- Costa J.B.S., Araújo O.J.B., Santos A., Jorge João X.S., Macambira M.J.B., Lafon J.M., 1995. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* **7**: 199-235.
- Dall'Agnol R., Lafon J.M., Fraga L.M., Scandola J., Barros C.E.M. 2000. The Precambrian Evolution of the Amazonian Craton: one of the last Unknown Precambrian Terranes in the World. *In*: International Geological Congress, 31. Rio de Janeiro. *Abstracts...*Rio de Janeiro: CPRM. (CDROM).
- Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian craton. *In*: Dall'Agnol R., Rosa-Costa L.T., Klein E.L. (eds.). Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian craton. Abstracts volume and field trips guide. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 99-150.

- Dall'Agnol R., Rämö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos* **46**:431-462.
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, **80**: 101-129.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1997. Rock-forming minerals. London, Second Edition Longmans (eds.). 696 p.
- Dickson B.L. & Scott K.M. 1992. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *Journal of Australian Geology & Geophysics*, **17 (2)**:187-200.
- Dias S. B. 2009. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de granitos Arqueanos da Folha Marajoara, terreno granito-greenstone de Rio Maria, sudeste do Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 129 p.
- Docegeo (Rio Doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia) 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém. *Anexos...*, vol. Província Mineral de Carajás - Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais. p. 11-54.
- Duarte K.D. & Dall'Agnol R. 1996. Geologia e geoquímica do leucogranito arqueano potássico Mata Surrão, terreno granito-greenstone de Rio Maria, Pará. *Boletim IG - USP*, **18**: 113-115 (publ. esp.).
- Duarte K.D, Pereira E.D., Dall'Agnol R., Lafon J.M. 1991. Geologia e geocronologia do Granito Mata Surrão - sudoeste de Rio Maria (Pa). *In*: Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Belém, SBG, *Anais...* p. 7-20.
- Feio G.R.L. 2011. Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 190p.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.B., Gomes A.C.B., Sardinha A.S., Santos P.A. 2012. Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites. *Lithos*, **151**: 57-73.
- Feio G.R.L, Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J., Soares J.E.B. 2012a. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., 2012b. Geochemistry and petrogenesis of the granites from the Canaã dos Carajás area, Carajás province, Brazil: implications for the origin of Archean granites. *Lithos*, **154**: 33-52.
- Ferreira Filho C.F. *et al.* 2007. Mineralizações estratiformes de PGE-Ni associadas a complexos acamadados em Carajás: os exemplos de Luanga e Serra da Onça. *In*: Rosa-Costa L. T., Klein E.L., Viglio E.P. (Ed.). Contribuições à geologia da Amazônia. Belém: SBG-Núcleo Norte, v. **5**, p. 1-14.
- Gabriel E.O. em preparação. Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética dos Granitóides Arqueanos da Porção Nordeste de Água Azul do Norte – Província Carajás. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará – Instituto de Geociências. Belém.

- Galarza M.A. 2002. Geocronologia e geoquímica isotópica dos depósitos de Cu-Au Igarapé Bahia e Gameleira, Província Mineral de Carajás, Brasil. 214 f. Tese (Doutorado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Galarza M.A., Macambira M.J.B., Villas R.N. 2008. Dating and isotopic characteristics (Pb and S) of the Fe oxide–Cu–Au–U–REE Igarapé Bahia ore deposit, Carajás mineral province, Pará state, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **25**: 377-397.
- Galarza M.A., Oliveira D.C., Santos R.D., Martins A.C., Santos A.N., Santos P.J.L. 2012. Geocronologia do Diopsídio-Norito Pium e Granitóides Associados, Canaã dos Carajás, Província Carajás. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 46. *Anais*. CDRom.
- Gastal M.C.P. 1987. Mapeamento e petrologia do Maciço Granítico Musa: Rio Maria, sudeste do Pará. Belém, Universidade Federal do Pará. 342p. (Tese de Mestrado).
- Gibbs A.K., Wirth K.R., Hirata W.K., Olszewski Jr. W.J., 1986. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**: 201–211.
- Guimarães F.V.G. em preparação. Associações TTG e granitóides arqueanos da porção leste do Subdomínio de Transição: Implicações para a evolução crustal da Província Carajás. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências.
- Guimarães F.V.G., Dall’Agnol R., Almeida J.A.C., Oliveira M.A., 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do trondhjemitó Mogno e tonalito Mariazinha, terreno granito-greenstone de Rio Maria – Pará. *Revista Brasileira de Geociências*. **40**(2), 196–211.
- Guimarães F.V.G., Dall’Agnol R., Oliveira, M.A., Almeida, J.A.C. no prelo. Geologia, petrografia e geoquímica do quartzo-diorito Parazônia e granodiorito Grotão, terreno granito-greenstone de Rio Maria – Pará. *Revista Brasileira de Geociências*.
- Gomes A.C.B. 2003. Geologia, Petrografia e Geoquímica dos granitóides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 160p. (Dissertação de Mestrado).
- Gomes A.C.B., Dall’Agnol R., 2007. Nova associação tonalítica-trondhjemitica Neoarqueana na região de Canaã dos Carajás: TTG com altos conteúdos de Ti, Zr e Y. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**:182-193.
- Hibbard M. J. 1995. Petrography to Petrogenesis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 587p.
- Hirata W.K., Rigon J.C., Kadkaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. *In*: Simp. Geol. Amaz., 1., Belém. *Anais...* SBG. **1**:100- 110.
- Huhn S.B., Macambira, M.J.B., Dall’Agnol, R. 1999. Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino arqueano Planalto, região da Serra do Rabo, Carajás-PA. *In*: Simpósio de Geologia da Amazônia, **6**: 463-466.
- Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. *In*: SBG, Congr. Bras.Geol. 35. Belém. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém, SBG. v. **3**, p. 1438-1453.
- Hutchison C. S. 1974. Laboratory handbook of petrography techniques. London. John Wiley e Sons. 527p.

- Ianhez A.C., Sousa A.M.S., Montalvão R.M.G. 1980. Geologia da seqüência vulcano-sedimentar da Serra do Inajá – Santana do Araguaia. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 31. Camboriú. *Anais...* Camboriú: SBG, v. 5:2918-2928.
- Kerr P. 1959. *Optical Mineralogy*. McGraw-Hill Book Co., New York, Third Edition, 492 p.
- Krymsky R.S., Macambira J.B., Macambira M.J.B. 2002. Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará. *In: Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados*, 2. Belém. *Resumos...* Belém: PRONEX/SBG p. 41
- Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). *In: International Geological Congress*, 31, Rio de Janeiro. *Abstracts*. CD-ROM.
- Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte, K. D. 1994. Le granite Mata Surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). p. 642- 649.
- Lamarão C.N., Dall'Agnol R., Pimentel M.M. 2005. Nd isotopic composition of Paleoproterozoic volcanic and granitoid rocks of Vila Riozinho: implications for the crustal evolution of the Tapajós gold province, Amazonian craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **18**:277-292.
- Le Maitre R. W. 2002. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd Edition, London, 193 p.
- Leite A.A.S. 2001. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 490p. (Tese de Doutorado).
- Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Althoff F.J. 1997. Geologia e petrografia do maciço granítico Arqueano Xinguara e de suas encaixantes - SE do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciência da Terra*, **9**: 43-81.
- Leite, A.A.S., Dall'Agnol, R., Macambira, M.J.B., Althoff, F.J., 2004. Geologia e Geocronologia dos granitóides Arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**:447-458.
- Lindenmayer Z.G. 1990. Salobo Sequence, Carajás, Brazil: geology, geochemistry and metamorphism. 407 f. Tese (Doutorado) - University of Western Ontário, Canadá.
- Lindenmayer Z.G., Fyfe, W.S., Bocalon V.L.S. 1994. Nota Preliminar sobre as Intrusões Granitóides do Depósito de Cobre do Salobo, Carajás. *Acta Geol. Leopold.*, **40**(7):153-184.
- Lindenmayer, Z.G., Fleck, A., Gomes, C.H., Santos, A.B.S., Caron, R., Castro Paula, F., Laux, J.H., Pimentel, M.M., Sardinha, A.S. 2005. Caracterização geológica do alvo Estrela (Cu-Au), Serra dos Carajás, Pará. *In: MARINI, O.J.; QUEITÓZ, E.T.; RAMOS, B.W. Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia*, P. 157-226.

- Lobato L.M., Rosière C.A., Silva R.C.F., Zucchetti M., Baars F.J., Sedane J.C.S., Javier Rios F., Pimentel M., Mendes G.E., Monteiro A.M. 2005. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás – controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da província. *In: Marini, O.J., Queiroz, E.T., Ramos, B.W. (Eds.). Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia, DNPM, CT-Mineral / FINEP, ADIMB, pp. 25-92.*
- Macambira M.J.B. 1992. Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est; exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajas, Brésil. Montpellier, Université Montpellier II-France. 212 p. (Tese de Doutorado)
- Macambira J.B., 2003. O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará. Universidade de Campinas – São Paulo. 217p.
- Macambira M.J.B., Lancelot, J., 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review*, **38**: 1134-1142.
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra*, **7**: 263-287.
- Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1992. Idade U-Pb em zircões de metavulcânica do *greenstone* do Supergrupo Andorinhas, delimitante da estratigrafia de Carajás, Estado do Pará. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo. Resumos Expandidos...* São Paulo: SBG. v.2, p. 188-189.
- Macambira E.M.B., Tassinari C.C.G. 1998. Estudos Sm/Nd no complexo máfico-ultramáfico da Serra da Onça – sul do Pará: implicações geocronológicas e geotectônicas. *In: Congresso Brasileiro de geologia, 40., , Belo Horizonte. Anais...* Belo Horizonte: SBG-Núcleo Minas Gerais. p. 463.
- Macambira E.M.B. & Vale A.G. 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Felix do Xingu. Folha SB.22-Y-B. Estado do Pará. DNPM/CPRM. Brasília. 384p.
- Macambira E.M.B., Jorge João X.S., Souza E.C. 1996. Geologic and petrological aspects of the Plaquê Granite – Southeastern of Pará State. *In: SYMPOSIUM OF ARCHEAN TERRANES OF THE SOUTH AMERICAN PLATFORM.* Brasília. *Extended abstracts...* Brasília: SBG. p. 73-75.
- Macambira M.J.B., Costa J.B.S., Althoff F.J., Lafon J.M., Melo J.C.V., Santos A. 2000. New geochronological data for the Rio Maria TTG terrane; implications for the time constraints of the Caraja's Province, Brazil. *In: 31st INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, Rio de Janeiro, CD-ROM.*
- Macambira M.J.B. *et al.* 2001a. 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, Belém. Resumos expandidos...* Belém: SBG, CD-ROM.
- Macambira M.J.B. *et al.* 2001. Idades de cristais de zircão da serra dos Carajás; Evidências sobre a Formação Águas Claras. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., Belém. Resumos expandidos...* Belém: SBG, CD-ROM.

- Macambira M.J.B., Vasquez M.L., Silva D.C.C., Galarza M.A., Barros C.E.M., Camelo J.F. 2009. Crustal growth of the central-eastern Paleoproterozoic domain, SW Amazonian craton: Juvenile accretion vs. reworking. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**: 235–246.
- Machado N., Lindenmayer Z.G., Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**: 329-354.
- Mackenzie W.S., Donaldson C.H., Guilford C. 1982. Atlas de Igneous Rocks and Their Textures. Harlow Essex, England: Longman Group Ltd. 148p.
- Marangoanha B. em preparação. Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética do Magmatismo Básico da Região de Nova Canadá, Água Azul do Norte (Pa) – Província Carajás. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém.
- Martin H. 1994. The Archean grey gneisses and the gneisses of continental crust. In: Condie, K. C. (ed.) Developments in Precambrian Geology 11. Archean crustal evolution, Amsterdam, *Elsevier*. p. 205-259.
- Medeiros Filho C.A., Meirelles E.M. 1985. Dados preliminares sobre a ocorrência de cromita na área Luanga. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., Belém. *Anais...* Belém: SBG-Núcleo Norte, v. 3, p. 90-96.
- Medeiros H. & Dall’Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 35, Belém. *Anais de Congresso Brasileiro de Geologia*. SBG. v 3:1488-1499.
- Meirelles M.R. & Dardenne M.A. 1991. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco Arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás, Estado do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro. *Anais...* SBG, v. 5: 2164-2174.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S. Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, **46**:789–811.
- Mougeot R., Respaut J.P., Brique L., Ledru P., Milesi J.P., Lerouge C., Marcoux E., Huhn S.B., Macambira M.J.B. 1996. Isotope geochemistry constrains for Cu, Au mineralizations and evolution of the Carajás Province (Para, Brazil). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, *Anais*, **7**: 321-324.
- Moyen J.F., Martin H. 2012. Forty years of TTG research. *Lithos*, **148**:312–336.
- Nogueira, A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro, R.V.L., 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*, **7**:177-277.
- Oliveira D. C., 2006. Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico. Tese Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 171p.

- Oliveira D.C., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Faresin A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.V., Silva A.C., Souza M.C., Santos R.D., Macambira M.J.B. 2010. Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás, *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 45, CDROM.
- Oliveira M.A. 2003. Caracterização petrográfica, estudo de susceptibilidade magnética e natureza dos minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Planalto, Serra dos Carajás-PA. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 47p.
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J. 2006. Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Rio Maria da região de Bannach e comparações com as demais ocorrências no terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36 (2)**, 313-326.
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**:146-160.
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Scaillet B. 2010. Petrological Constraints on Crystallization Conditions of Mesoarchean Sanukitoid Rocks, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Petrology*, **51**:2121-2148.
- Oliveira E.P. *et al.* 1993. Limiting factors in applying geochemistry to tectonic settings identification in continental áreas: implications to the Carajás basic metavolcanics, Brazil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA*, 4., Brasília. *Resumos expandidos...* Brasília: SBGq, p. 20-22.
- Olszewski W.J. *et al.* 1989. The age, origin, and tectonics of the Grão Pará Group and associated rocks, Serra dos Carajás, Brazil: Archean continental volcanism and rifting. *Precambrian Research*, **42**:229-254.
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J. 1996. *Microtectonics*. Berlin, Springer-Verlag. 289p.
- Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulites facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, **166**:159-171.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. *In: CONGR. BRAS. GEOL.*, 38., São Paulo. *Boletim de Resumos Expandidos*, Camboriú, SBG, **1**: 390-391.
- Pimentel M.M. *et al.* 2003. Geochronology and Nd isotope geochemistry of the Gameleira Cu-Au deposit, Serra dos Carajás, Brazil: 1.8-1.7 Ga hydrothermal alteration and mineralization. *Journal of South American Earth Sciences*, **15(7)**:803-813.
- Reis F.N. *et al.* 2001. Estudo isotópico do depósito Cupro-Aurífero de Serra Verde, Província Mineral de Carajás, Pará. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 7. Belém. *Resumos expandidos...* Belém: SBG, 1 CD-ROM.
- Ricci P.S.F. 2006a. Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil – a deep-seated high-T gabbroic pluton (charnockitoid-like) with xenoliths of enderbitic gneisses dated at 3002 Ma – the basement problem revisited. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 9. Belém. *Resumos expandidos...* Belém: SBG, 1 CD-ROM.

- Ricci, P.S.F., Carvalho, M.A., 2006. Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil – A Deep seated High-T Gabbroic Pluton (Charnockitoid-Like) with Xenoliths of Enderbitic Gneisses Dated at 3002 Ma – The Basement Problem Revisited. *In: Simpósio de Geologia da Amazônia 8*, CDroom.
- Rodrigues D.S. em preparação. Geologia, Geoquímica e Geocronologia do Leucogranito Boa Sorte, Município de Água Azul do Norte – Província Carajás. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. Belém.
- Rodrigues E.M.S., Lafon J.M., Scheller T. 1992. Geocronologia Pb-Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37., São Paulo. *Resumos...* São Paulo: SBG. **2**: 183-184.
- Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. *In: South American Symposium On Isotope Geology*, 4, Salvador. Expanded Abstracts. Salvador: CD-ROM.
- Rosa-Costa L. T., 2006. Geocronologia $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, Sm-Nd, U-Th-Pb e $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ do segmento sudeste do Escudo das Guianas: Evolução crustal e termocronologia do evento Transamazônico. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 226 p. (Tese de Doutorado).
- Rosa-Costa L.T., Lafon J.M., Delor C. 2006. Zircon geochronology and Sm–Nd isotopic study: Further constraints for the Archean and Paleoproterozoic geodynamical evolution of the southeastern Guiana Shield, north of Amazonian Craton, Brazil, *Gondwana Research*, **10**:277–300.
- Rosa-Costa L.T., Ricci P.S.F., Lafon J.M., Vasquez M.L., Carvalho J.M.A., Klein E.L., Macambira E.M.B. 2003. Geology and geochronology of archean and paleoproterozoic domains of the southeastern Amapá and northwestern Pará, Brazil – southeastern Guyana Shield. *Géologie de la France*, 2-3-4:101-120.
- Santos J.S.O., Hartmann L.A., Faria M.S., Riker S.R., Souza M.M., Almeida M.E., McNaughton N.J., 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000–2006. *In: Simpósio de geologia da Amazônia*, vol. 9. Belém. *Resumos Expandidos*, Belém, SBG (CD-ROM).
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, **3**: 453-488.
- Santos M.G.S. 2002. Estudo dos isótopos de Pb e Nd do Depósito de Cu-Au (U-ETR) Alemão, Província Mineral de Carajás (PA). 126 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Santos P.A., Feio G.R.L., Dall’Agnol R., Costi H.T., Lamarão C.N., Galarza M.A.T. no prelo. Petrografia, suscetibilidade magnética, geoquímica e geocronologia do Granito Rio Branco, Província Carajás, SE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*.
- Santos, P.J.L. em preparação. Geologia, petrografia e geoquímica dos leucogranitos arqueanos e rochas associadas, da área de Nova Canadá, Subdomínio de Transição, Província Carajás - SE do Pará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. Belém.

- Santos P.J.L., Oliveira, D.C., Galarza M.A., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitóides do Complexo Xingu da região de Nova Canadá, município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. . *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 45. CDROM.
- Santos R.D., Oliveira D.C., Borges R.M.K. 2008. Geologia e Petrografia das rochas máficas e ultramáficas do complexo Pium-Província Mineral de Carajás. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 44, Curitiba. Anais, SBGeo, p. 535.
- Santos R.D., Galarza M.A., Oliveira D.C. 2012. Caracterização Geoquímica, Geocronológica e Isotópica do Diopsídio-Norito Pium - Província Carajás. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*. 46. *Anais*. (CDROM).
- Sardinha A.S. *et al.* 2001. Petrografia e geocronologia U-Pb em zircão do Granito Serra do Rabo, Província Mineral de Carajás, Pará. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 7., Belém. *Resumos expandidos...* Belém: SBG-Núcleo Norte. 1 CD-ROM.
- Sardinha, A.S., Barros, C.E.M., Krymsky, R., 2006. Geology, Geochemistry, and U-Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **20**:327-339.
- Sardinha A.S., Dall'Agnol R., Gomes A.C.B., Macambira M.J.B., Galarza M.A., 2004. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 42.
- Sato K., Tassinari C.C.G. 1997. Principais eventos de acreção continental no Cráton Amazônico, baseados em idade modelo Sm-Nd, calculada em evoluções de estágio único e estágio duplo. *In: Costa M.L.; Angélica R.S. (Coord.). Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém: SBG, v. **1**:91-142.
- Silva A.C., Oliveira D.C., Macambira M.J.B.. 2010. Individualização e geocronologia de granitóides do Complexo Xingu, região de Vila Jussara, município de Água Azul do Norte - PA, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 45. CDROM.
- Silva G.C., Lima M.I.C., Andrade A.R.F., Issler R.S., Guimarães G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins. Belém, DNPM, v.4, 1-143.
- Silva M.L.T., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, petrografia e geocronologia do magmatismo de alto K da região de Vila Jussara, Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 45. CDROM.
- Silva M.G. *et al.* 2005. Geologia e mineralizações de Fe-Cu-Au do alvo GT-46 (Igarapé Cinzento), Carajás. *In: Marini, O.J.; Queiroz, E.T.; Ramos, B.W. (Ed.). Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia*. Brasília: DNPM/CT-Mineral/ADIMB, p. 97-151.
- Soares A.V. *et al.* 1994. Área Águas Claras: contexto geológico e mineralizações. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., Belém. *Resumos expandidos...* Belém: SBG p. 379-382.
- Souza S. Z., Dall'Agnol R., Althoff F. J., Leite A. A. S., Barros C. E. M. 1996. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constrasts on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain and the Carajás block. *In: SYMPOSIUM ON ARCHEAN TERRANES OF SOUTH AMERICA PLATFORM*, Brasília, *Extended abstracts...* SBG. p. 31-32.

- Souza Z. S., Medeiros H., Althoff F. J., Dall'Agnol R. 1990. Geologia do terreno granito-greenstone Arqueano da região de Rio Maria, sudeste do Pará. *In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 36, Natal. *Anais...* **6**: 2913-2928.
- Souza Z.S., Potrel H., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes of the Identidade Belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajas Province, Brazil): Implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, **109**:293–315.
- Strecheisen A.L., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, **12**:1-33.
- Suita M.T.F. 1988. Geologia da área Luanga com ênfase na petrologia do complexo máfico-ultramáfico de Luanga e depósitos de cromita associados. 337 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília.
- Tallarico F.H.B. *et al.* 2005. Geology and SHRIMP U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia Deposit, Carajás Copper-Gold Belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of Iron-Oxide Cu-Au-(U-REE) Mineralization. *Economic Geology*, **100** (1):7-28.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*. **22**:174-182.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D. R., Brito Neves B. B. de. (Org.). Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida. São Paulo: BECA. p. 471-486.*
- Teixeira, J.B.G., Eggler, D.H., 1994. Petrology, geochemistry, and tectonic setting of Archean basaltic and dioritic rocks from the N4 iron deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. *Acta Geology Leopoldensia*, **17**, 71-114.
- Teixeira M.F.B. em preparação. Geologia, petrografia e geoquímica das rochas granitóides arqueanas da área a norte de Sapucaia – Província Carajás. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. Belém.
- Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Moura C.A.V., Dall'Agnol, R., Macambira E.M.B. 2002. Archean crustal sources for Paleoproterozoic tin-mineralized granites in the Carajás Province, SSE Pará, Brazil: Pb–Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. *Precambrian Research*, **119**:257–275.
- Trendall A.F. *et al.* 1998. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **11**(3):265-277.
- Vasquez M.L., Macambira M.J.B., Armstrong, R.A. 2008. Zircon geochronology of granitoids from the western Bacajá domain, southeastern Amazonian craton, Brazil: Neoproterozoic to Orosirian evolution. *Precambrian Research*, **161**(3-4):279-302.
- Vasquez L.V., Rosa-Costa L.T. 2008. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, 328p.
- Vernon R.H., 2004. A practical guide to rock microstructure, third ed., Cambridge University press, Cambridge, 954p.

- Wirth K.R., Gibbs A.K., Olszewski W.J. 1986. U-Pb ages of zircons from the Grão Pará Group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**(2):195-200.
- Zucchetti M. 2007. Rochas máficas do Grupo Grão Pará e sua relação com a mineralização dos depósitos de ferro N4 e N5, Carajás, PA. Tese (Doutorado em Geologia Econômica Aplicada) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ANEXOS

**ANEXO A – PONTOS AMOSTRADOS, SUAS COORDENADAS (UTM) UNIDADES
A QUE PERTENCEM E ESTUDO AOS QUAIS FORAM SUBMETIDOS.**

PONTO	LONGITUDE	LATITUDE	UNIDADE	LITOLOGIA	ESTUDO
AMP-18	626378	9257002	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P
AMP-19	625847	9255860	Associado ao Vila Jussara	Biotita-Anfibólio Tonalito	P+AM
AMP-21	621553	9262154	Granitóide Indiferenciado	Leucogranodiorito	P
AMP-24	620419	9260448	Trondhjemito Colorado	-	
AMP-25	620171	9260524	Trondhjemito Colorado	Muscovita-Biotita Trondhjemito	P
AMP-32	618500	9255656	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P+AM
AMP-34	618472	9256614	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P+AM+Q
AMP-38	624056	9254964	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P
AMP-45	617746	9241364	Leucogranodiorito Porfíritico	-	
AMP-54	620708	9248676	Trondhjemito Colorado	Muscovita-Biotita Trondhjemito	P
AMP-56	619980	9246942	Trondhjemito Colorado	Biotita Granodiorito	P+AM+Q
AMP-57	618505	9243290	Greenstone Belt	-	
AMP-58	618231	9242598	Leucogranodiorito Porfíritico	Muscovita-Biotita Granodiorito	P+AM
AMP-59	617974	9241940	Leucogranodiorito Porfíritico	Muscovita-Biotita Granodiorito	P
AMP-60	621730	9249048	Trondhjemito Colorado	Biotita Trondhjemito	P+AM+Q
AMP-64A	622961	9254214	Anfibólio Tonalito	-	
AMP-65	623241	9254926	Associado ao Vila Jussara	Biotita-Anfibólio Tonalito	P+AM+Q
AMP-74B	624884	9258948	Associado ao Vila Jussara	Granodiorito	-
AMP-74D	624884	9258948	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P
AMP-78B	622375	9258422	Associado ao Vila Jussara	Epidoto-Anfibólio-Biotita Tonalito	P+AM
AMP-79A	624591	9248022	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P+AM
AMP-80A	624308	9247460	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P+AM+Q
AMP-81	625261	9248896	Trondhjemito Colorado	Muscovita-Biotita Granodiorito	P
AMP-82	625549	9248842	Trondhjemito Colorado	Biotita Trondhjemito	P
AMP-85	617017	9259978	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AMP-87B	618862	9259470	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AMP-87C	618862	9259470	Enclave	tonalito/qtz diorito	P
AMP-88B	619180	9259398	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P+AM+Q
AMP-89C	620442	9259574	Associado ao Vila Jussara	-	-
AMP-90B	621048	9259118	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P+AM
AMP-92	627014	9260990	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P+AM+Q
AMP-99	622202	9263742	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P+AM+Q
MAR-36	609811	9262168	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P
MAR-56	608410	9259588	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P
MAR-58	608508	9259142	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P
MAR-60	608480	9258908	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
MAR-61	608456	9258864	Anfibólio Tonalito	-	-
MAR-66	609377	9258514	Trondhjemito Colorado	Biotita Trondhjemito	P
MAR-69	611177	9258744	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
MAR-70A	607413	9240930	Trondhjemito Colorado	Muscovita-Biotita Tonalito	P+AM+Q
MAR-70B	607413	9240930	Enclave	anfibolito	P
MAR-71	607414	9240870	Enclave	anfibolito	P+AM+Q
MAR-73	613014	9252808	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P
MAR-82	611415	9258694	Anfibólio Tonalito	-	-
MAR-83	611414	9258734	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P
MAR-84	611399	9258904	Anfibólio Tonalito	-	-
MAR-85	611405	9257730	Trondhjemito Colorado	Muscovita-Biotita Trondhjemito	P+AM+Q
MAR-93	613193	9254178	Trondhjemito Colorado	-	-
MAR-96	613431	9252426	Trondhjemito Colorado	-	-
MAR-97	613480	9252488	Trondhjemito Colorado	-	-
MAR-99	613571	9252250	Trondhjemito Colorado	-	-

MAR-101A	614126	9241570	Enclave	tonalito/qtz diorito	P+AM+Q
MAR-101B	614126	9241570	Trondhjemitito Colorado	Muscovita-Biotita Trondhjemitito	P
MAR-102	614203	9241540	Trondhjemitito Colorado	Muscovita-Biotita Trondhjemitito	P+AM+Q
MAR-104	612336	9240110	Trondhjemitito Colorado	Muscovita-Biotita Trondhjemitito	P
MAR-105	614887	9241488	Trondhjemitito Colorado	-	-
MAR-107	610236	9250090	Trondhjemitito Colorado	-	-
MAR-108	606352	9250412	Trondhjemitito Colorado	-	-
MAR-109	609301	9251760	Trondhjemitito Colorado	-	-
MAR-110	608561	9253296	Trondhjemitito Colorado	Biotita Granodiorito	P+AM+Q
ADP-01	614140	9241586	Trondhjemitito Colorado	Muscovita-Biotita Trondhjemitito	P
ADP-02	617789	9241472	Leucogranodiorito Porfíritico	-	-
ADP-03	621793	9249322	Trondhjemitito Colorado	-	-
PDA-01	611405	9257730	Trondhjemitito Colorado	-	-
CDGW-20	614889	9241488	Trondhjemitito Colorado	Muscovita-Biotita Tonalito	P
CDGW-21	614122	9241566	Trondhjemitito Colorado	Muscovita-Biotita Tonalito	P
CDGW-78	620137	9238918	Leucogranodiorito Porfíritico	Muscovita-Biotita Granodiorito	P
CDGW-79	620951	9240930	Leucogranodiorito Porfíritico	Muscovita-Biotita Granodiorito	P
CDGW-80	621105	9241326	Leucogranodiorito Porfíritico	Muscovita-Biotita Granodiorito	P
CDGW-106	620301	9243700	Leucogranodiorito Porfíritico	Biotita Granodiorito	P
CDGW-108	622177	9243006	Leucogranodiorito Porfíritico	Muscovita-Biotita Granodiorito	P
CDGW-111	624133	9241874	Leucogranodiorito Porfíritico	Muscovita-Biotita Granodiorito	P
CDGW-112	625989	9241802	Leucogranodiorito Porfíritico	Biotita Granodiorito	P+AM+Q
CDGW-115	628539	9242308	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
CDGW-116A	629190	9243922	Tonalito São Carlos	-	-
CDGW-117A	630222	9246068	Leucogranodiorito	Muscovita-Biotita Trondhjemitito	P
CDGW-120	629022	9251010	Trondhjemitito Colorado	-	-
AFD-01A	621278	9262228	Trondhjemitito Colorado	Biotita Tonalito	P
AFD-01B	621278	9262228	Granitóide indiferenciado	Biotita Leucogranito	P
AFD-02	618743	9255738	Associado ao Vila Jussara	Biotita-Anfibólio Tonalito	P+AM+Q
AFD-03A	618469	9255576	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AFD-03B	618469	9255576	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AFD-05	622931	9254084	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AFD-06	623211	9254900	Associado ao Vila Jussara	Biotita-Anfibólio Tonalito	-
AFD-07	624031	9256938	Associado ao Vila Jussara	Biotita-Anfibólio Tonalito	P+AM+Q
AFD-08	626319	9256956	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P+AM+Q
AFD-09	626656	9257768	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P+AM
AFD-10	626613	9257970	Associado ao Vila Jussara	-	-
AFD-11A	626622	9258168	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P+AM+Q
AFD-11B	626622	9258168	Enclave	Biotita-Anfibólio Tonalito	P+AM+Q
AFD-12	622138	9263674	Trondhjemitito Colorado	Biotita Tonalito	P+AM+Q
AFD-13A	625754	9261208	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P+AM+Q
AFD-13B	625754	9261208	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AFD-14	625593	9260734	Trondhjemitito Colorado	Biotita Tonalito	P+AM+Q
AFD-15	625000	9259300	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P+AM+Q
AFD-16A	624791	9258906	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P+AM+Q
AFD-16B	624791	9258906	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P+AM
AFD-16C	624791	9258906	Trondhjemitito Colorado	Biotita Granodiorito	P
AFD-17	620066	9260476	Trondhjemitito Colorado	Biotita Granodiorito	P+AM+Q

AFD-18	627011	9260924	Tonalito São Carlos	-	
AFD-19	626458	9264960	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P+AM+Q
AFD-20	628965	9250974	Trondhjemito Colorado	Biotita Trondhjemito	P+AM+Q
AFD-21	628607	9249856	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AFD-22	627995	9248130	Planalto	-	-
AFD-23	629754	9246058	Leucogranodiorito Porfíritico	Muscovita-Biotita Granodiorito	P
AFD-24	630164	9246144	Leucogranodiorito Porfíritico	Biotita Granodiorito	P+AM+Q
AFD-25	629177	9243856	Tonalito São Carlos	-	-
AFD-26	628463	9242256	Tonalito São Carlos	-	P+AM+Q
AFD-27	628022	9241100	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AFD-28	628015	9240436	Tonalito São Carlos	-	-
AFD-29	628882	9240000	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AFD-30A	629333	9239794	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P+AM+Q
AFD-30B	629333	9239794	Leucogranodiorito Porfíritico	Biotita Granodiorito	P+AM+Q
AABG - 03	606842	9239684	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P
AABG - 06	607276	9241192	Leucogranodiorito Porfíritico	Biotita Granodiorito	P
AABG - 11	607465	9240918	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P
AABG - 12	606913	9239982	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
AABG - 14	606433	9240934	Granitóide indiferenciado	Muscovita-Granada-Biotita Granodiorito	P
AABG - 16A	606032	9239936	Leucogranodiorito Porfíritico	Muscovita-Biotita Granodiorito	P
ADE-01A	617079	9260010	Trondhjemito Colorado	Biotita Trondhjemito	P+AM+Q
ADE-01D	617079	9260010	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P+AM+Q
ADE-03	616713	9261148	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
ADE-04A	613941	9261911	Leucogranodiorito Porfíritico	Biotita Granodiorito	P
ADE-04B	613941	9261911	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Granodiorito	P+AM+Q
ADE-06	614651	9264663	Trondhjemito Colorado	Biotita Granodiorito	P+AM+Q
ADE-10	626822	9266043	Trondhjemito Colorado	Biotita Tonalito	P
ADE-11	620724	9248637	Trondhjemito Colorado	-	-
ADE-12	621793	9249322	Trondhjemito Colorado	-	-
ADE-14	620000	9246971	Trondhjemito Colorado	-	-
ADE-15	620612	9246390	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P+AM+Q
ADE-16A	621094	9246872	Tonalito São Carlos	-	-
ADE-16D	621094	9246872	Tonalito São Carlos	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
ADE-17	618066	9242151	Leucogranodiorito Porfíritico	-	-
ADE-18	617750	9241359	Leucogranodiorito Porfíritico	Biotita Granodiorito	P+AM+Q
ADE-20	616875	9240581	Leucogranodiorito Porfíritico	Biotita Granodiorito	P
ADE-21	616841	9241393	Leucogranodiorito Porfíritico	-	-
ADE-23	614109	9241590	Trondhjemito Colorado	-	-
ADE-24	612185	9240187	Trondhjemito Colorado	-	-
ADE-27	614742	9241811	Trondhjemito Colorado	-	-
ADE-35	611346	9240517	Trondhjemito Colorado	-	-
ADE-43	607352	9240986	Trondhjemito Colorado	-	-
PDM-01	607499	9254854	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P
PDM-02	608649	9253329	Trondhjemito Colorado	-	-
PDM-03A	607364	9240989	Trondhjemito Colorado	-	-
PDM-03C	607364	9240989	Associado ao Vila Jussara	Anfibólio-Biotita Tonalito	P

P= estudo petrográfico; AM= análise modal; Q= análise química.