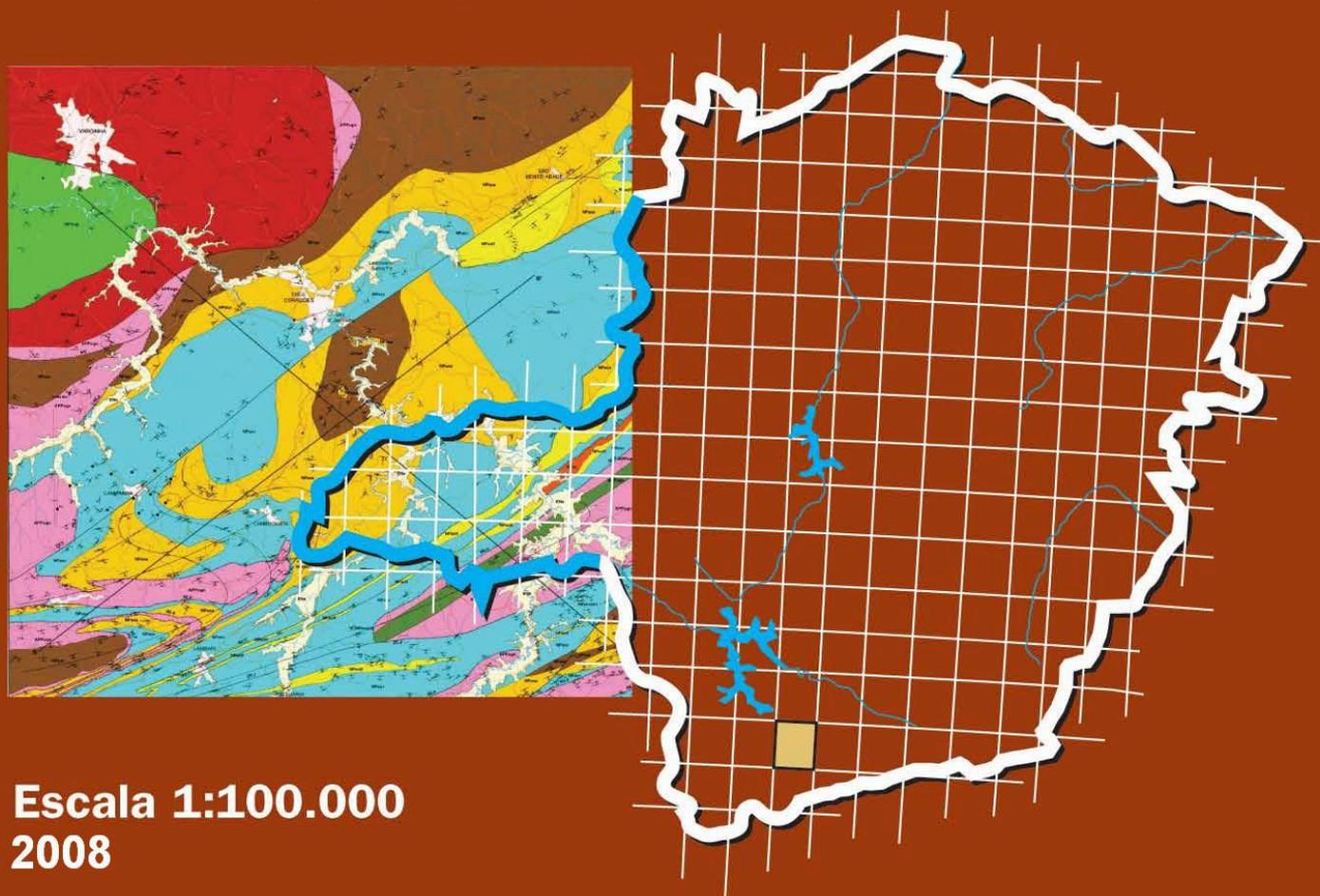


**Programa Geologia do Brasil  
Levantamentos Geológicos Básicos**

# **GEOLOGIA DA FOLHA VARGINHA\* SF.23-V-D-VI**

Sistema de Informações Geográficas – SIG



**Escala 1:100.000  
2008**

\* PARCERIA COM A UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ

 **CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

EDISON LOBÃO

*Ministro*

**Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

CLÁUDIO SCLIAR

*Secretário*

**CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

AGAMENON SÉRGIO LUCAS DANTAS

*Diretor-Presidente*

MANOEL BARRETTO DA ROCHA NETO

*Diretor de Geologia e Recursos Minerais*

JOSÉ RIBEIRO MENDES

*Diretor de Hidrogeologia e Gestão Territorial*

FERNANDO PEREIRA DE CARVALHO

*Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento*

EDUARDO SANTA HELENA

*Diretor de Administração e Finanças*

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ**

ALOÍSIO TEIXEIRA

*Reitor*

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

PROFESSOR JOÃO GRACIANO MENDONÇA FILHO

*Diretor*

***PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL***  
***Contrato CPRM- UFRJ N.º. 067/PR/05***

*Brasília, 2008*



Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Ministério de Minas e Energia



## APRESENTAÇÃO

O Programa Geologia do Brasil (PGB), desenvolvido pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, é responsável pela retomada em larga escala dos levantamentos geológicos básicos do país. Este programa tem por objetivo a ampliação acelerada do conhecimento geológico do território brasileiro, fornecendo subsídios para novos investimentos em pesquisa mineral e para a criação de novos empreendimentos mineiros, com a conseqüente geração de novas oportunidades de emprego e renda. Além disso, os dados obtidos no âmbito desse programa podem ser utilizados em programas de gestão territorial e de recursos hídricos, dentre inúmeras outras aplicações de interesse social.

Destaca-se, entre as ações mais importantes e inovadoras desse programa, a estratégia de implementação de parcerias com grupos de pesquisa de universidades públicas brasileiras, em trabalhos de cartografia geológica básica na escala 1:100.000. Trata-se de uma experiência que, embora de rotina em outros países, foi de caráter pioneiro no Brasil, representando uma importante quebra de paradigmas para as instituições envolvidas. Essa parceria representa assim, uma nova modalidade de interação com outros setores de geração de conhecimento geológico, à medida que abre espaço para a atuação de professores, em geral líderes de grupos de pesquisa, os quais respondem diretamente pela qualidade do trabalho e possibilitam a inserção de outros membros do universo acadêmico. Esses grupos incluem também diversos pesquisadores associados, bolsistas de doutorado e mestrado, recém-doutores, bolsistas de graduação, estudantes em programas de iniciação científica, dentre outros. A sinergia resultante da interação entre essa considerável parcela do conhecimento acadêmico nacional com a excelência em cartografia geológica praticada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) resulta em um enriquecedor processo de produção de conhecimento geológico que beneficia não apenas a academia e o SGB, mas à toda a comunidade geocientífica e à indústria mineral.

Os resultados obtidos mostram um importante avanço, tanto na cartografia geológica quanto no estudo da potencialidade mineral e do conhecimento territorial em amplas áreas do território nacional. O refinamento da cartografia, na escala adotada, fornece aos potenciais usuários, uma ferramenta básica, indispensável aos futuros trabalhos de exploração mineral ou aqueles relacionados à gestão ambiental e à avaliação de potencialidades hídricas, dentre outros.

Além disso, o projeto foi totalmente desenvolvido em ambiente SIG e vinculado ao Banco de Dados Geológicos do SGB (GEOBANK), incorporando o que existe de atualizado em técnicas de geoprocessamento aplicado à cartografia geológica e encontra-se também disponível no Portal do SGB [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br).

As metas físicas da primeira etapa dessa parceria e que corresponde ao biênio 2005-2006, foram plenamente atingidas e contabilizam 41 folhas, na escala 1:100.000, ou seja aproximadamente 1,5% do território brasileiro. As equipes executoras correspondem a grupos de pesquisa das seguintes universidades: UFRGS, USP, UNESP, UnB, UERJ, UFRJ, UFMG, UFOP, UFBA, UFRN, UFPE e UFC.

Este CD contém a *Nota Explicativa Integrada das folhas Varginha e Itajubá*, juntamente com o *Mapa Geológico na escala 1:100.000 da Folha Varginha (SF.23-V-D-VI)*, em ambiente SIG, executado pela UFRJ, através do Contrato CPRM-UFRJ N°067/PR/05.

Brasília, setembro de 2008

AGAMENON DANTAS  
Diretor Presidente

MANOEL BARRETTO  
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

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

**PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL**  
Contrato CPRM-UFRJ N°. 067/PR/05

**NOTA EXPLICATIVA DAS FOLHAS**

**VARGINHA**  
(SF.23-V-D-VI)

**ITAJUBÁ**  
(SF.23-Y-B-III)

1:100.000

**AUTORES**

Rudolph Allard Johannes Trouw, Rodrigo Peternel Machado Nunes,  
Eduardo Mendes Oliveira Castro, Camilo Correia Trouw,  
Gabriel Corrêa de Matos

COORDENAÇÃO GERAL  
Rudolph Allard Johannes Trouw

**APOIO INSTITUCIONAL DA CPRM**

*Departamento de Geologia-DEGEO*

*Divisão de Geologia Básica-DIGEOB*

Inácio Medeiros Delgado

*Divisão de Geoprocessamento-DIGEOP*

João Henrique Gonçalves

*Edição do Produto*

*Divisão de Marketing-DIMARK*

Ernesto von Sperling

*Gerência de Relações Institucionais e  
Desenvolvimento - GERIDE/ SUREG-BH*

Marcelo de Araújo Vieira

Brysa de Oliveira

Elizabeth de Almeida Cadête Costa

M. Madalena Costa Ferreira

Rosângela Gonçalves Bastos de Souza

Silvana Aparecida Soares

*Representante da CPRM no Contrato*

Fernando Antônio Rodrigues de Oliveira

**APOIO TÉCNICO DA CPRM**

*Supervisor Técnico do Contrato*

Luiz Carlos da Silva

*Apoio de Campo*

Nolan Maia Dehler

*Revisão do Texto*

Luiz Carlos da Silva

*Organização e Edição*

Luiz Carlos da Silva

Carlos Augusto da Silva Leite

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM/Serviço Geológico do Brasil.

Varginha- SF.23-V-D-VI, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com a Folha Itajubá./Rudolph Allard Johannes Trouw, Rodrigo Peternel Machado Nunes, Eduardo Mendes Oliveira Castro, Camilo Correia Trouw, Gabriel Corrêa de Matos. - Minas Gerais: CPRM, 2007.

99p; 01 mapa geológico (Série Programa de Geologia do Brasil – PGB) versão em CD-Rom.

Conteúdo: Projeto desenvolvido em SIG – Sistema de Informações Geográficas utilizando o GEOBANK – Banco de dados.

1- Geologia do Brasil- I- Título II- Trouw, R.A.J., Coord. III- Nunes, R.P.M. IV- Castro, E.M.O. V- Trouw, C.C. VI-Matos, G.C.

CDU 551(815)  
ISBN 978-85-7499-028-6

## **AGRADECIMENTOS**

---

Os autores agradecem às seguintes pessoas pelo apoio durante a realização do trabalho: Tarcísio Raimundo de Abreu, técnico em laminação do Departamento de Geologia da UFRJ, Maria Rosalva Campos Coelho e Alan Alves dos Santos, do Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA) – UERJ, Professor Carlos Jorge Abreu e equipe, do Laboratório GEDAP, do Departamento de Geologia – UFRJ, Professor Elton Luis Dantas, do Instituto de Geociências – UnB, Professor Farid Chemale, do Departamento de Geologia – UFRGS, e aos alunos Priscila de Souza Santos, Diogo Justa de Miranda e Leonardo Borges Caixeta.

## SUMÁRIO

---

|   |    |
|---|----|
| AGRADECIMENTOS .....                                  | i  |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                   | 1  |
| 1.1 Localização das Folhas Mapeadas .....             | 1  |
| 1.2 Aspectos Fisiográficos .....                      | 2  |
| 1.3 Aspectos Socioeconômicos.....                     | 3  |
| 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....                   | 5  |
| 2.1 Arqueano/Paleoproterozóico .....                  | 9  |
| 2.2 Meso/Neoproterozóico .....                        | 13 |
| 2.2.1 Seqüências Depositionais.....                   | 13 |
| 2.2.2 Nappe Socorro-Guaxupé (NSG).....                | 17 |
| 2.2.3 Rochas Ígneas Intrusivas Neoproterozóicas ..... | 18 |
| 2.2.4 Estruturas Deformacionais .....                 | 23 |
| 2.2.5 Metamorfismo .....                              | 25 |
| 2.2.6 Geotermobarometria .....                        | 28 |
| 3 ESTRATIGRAFIA.....                                  | 32 |
| 3.1 Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano.....       | 32 |
| 3.1.1 Ortognaisses Migmatíticos (APPogn) .....        | 32 |
| 3.1.2 Rochas Ultramáficas (APPu).....                 | 35 |
| 3.1.3. Seqüência Greenstone (APPugs).....             | 35 |
| 3.2 Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas..... | 36 |
| 3.2.1 Megasseqüência Andrelândia .....                | 36 |
| 3.2.2 Interpretação Paleoambiental .....              | 39 |
| 3.3 Complexo Varginha-Guaxupé.....                    | 39 |
| 3.4 Granitos Tardi a Pós-Colisionais.....             | 42 |
| 3.5 Rochas Alcalinas Terciárias (ENalk) .....         | 46 |
| 3.6 Depósitos Quaternários (ENa) .....                | 47 |
| 4 GEOLOGIA ESTRUTURAL .....                           | 48 |
| 4.1 Fase Deformacional DB .....                       | 48 |
| 4.2 Fase Deformacional DR1 .....                      | 53 |
| 4.3 Fase Deformacional Dr2 .....                      | 61 |
| 4.4 Tectônica Fanerozóica.....                        | 63 |
| 5 METAMORFISMO .....                                  | 64 |
| 5.1 Metamorfismo Brasília (MB) .....                  | 64 |
| 5.2 Metamorfismo Ribeira (MR) .....                   | 66 |
| 5.3 Retrometamorfismo.....                            | 67 |
| 6 EVOLUÇÃO GEOTECTÔNICA.....                          | 69 |
| 7 RECURSOS MINERAIS.....                              | 72 |
| 7.1 Introdução .....                                  | 72 |
| 7.2 Bens Minerais Explorados .....                    | 80 |
| 7.2.1 Areia.....                                      | 80 |
| 7.2.2 Água Mineral.....                               | 80 |

|  |    |
|--|----|
| 7.2.3 Granito/Gnaiss                                     | 84 |
| 7.2.4 Cascalho   | 85 |
| 7.2.5 Argila   | 85 |
| 7.2.6 Quartzo  | 86 |
| 7.2.7 Quartzito  | 86 |
| 7.3 Projeções e Perspectivas                             | 86 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                               | 89 |
| ANEXOS:  |    |
| • Anexo 1 - Análises Químicas de Rochas da Folha Itajubá |    |
| • Anexo 2 - Análises Químicas de Rochas da Folha Itajubá |    |

## 1. INTRODUÇÃO

---

Este volume reúne as informações coletadas para o levantamento geológico básico das Folhas Varginha (SF23-V-D-VI) e Itajubá (SF23-Y-B-III), escala 1:100.000, integrante da Proposta nº UFRJ/01-2005 do programa “A Retomada dos Levantamentos Geológicos Básicos”, realizado pelo Serviço Geológico do Brasil–CPRM (Ministério das Minas e Energia, Governo Federal), em parceria com equipe do Departamento de Geologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Os dados aqui apresentados resultam de mapeamento geológico em escala de semi-detulhe, acrescidos de informações disponíveis na literatura, informações indiretas (aerogeofísica), estudos petrográficos e microtectônicos além de análises geocronológicas e geoquímicas. O conjunto destes dados permite a caracterização de diferentes unidades geológicas e suas relações tectono-estratigráficas, bem como a interpretação da evolução tectônica em um contexto regional.

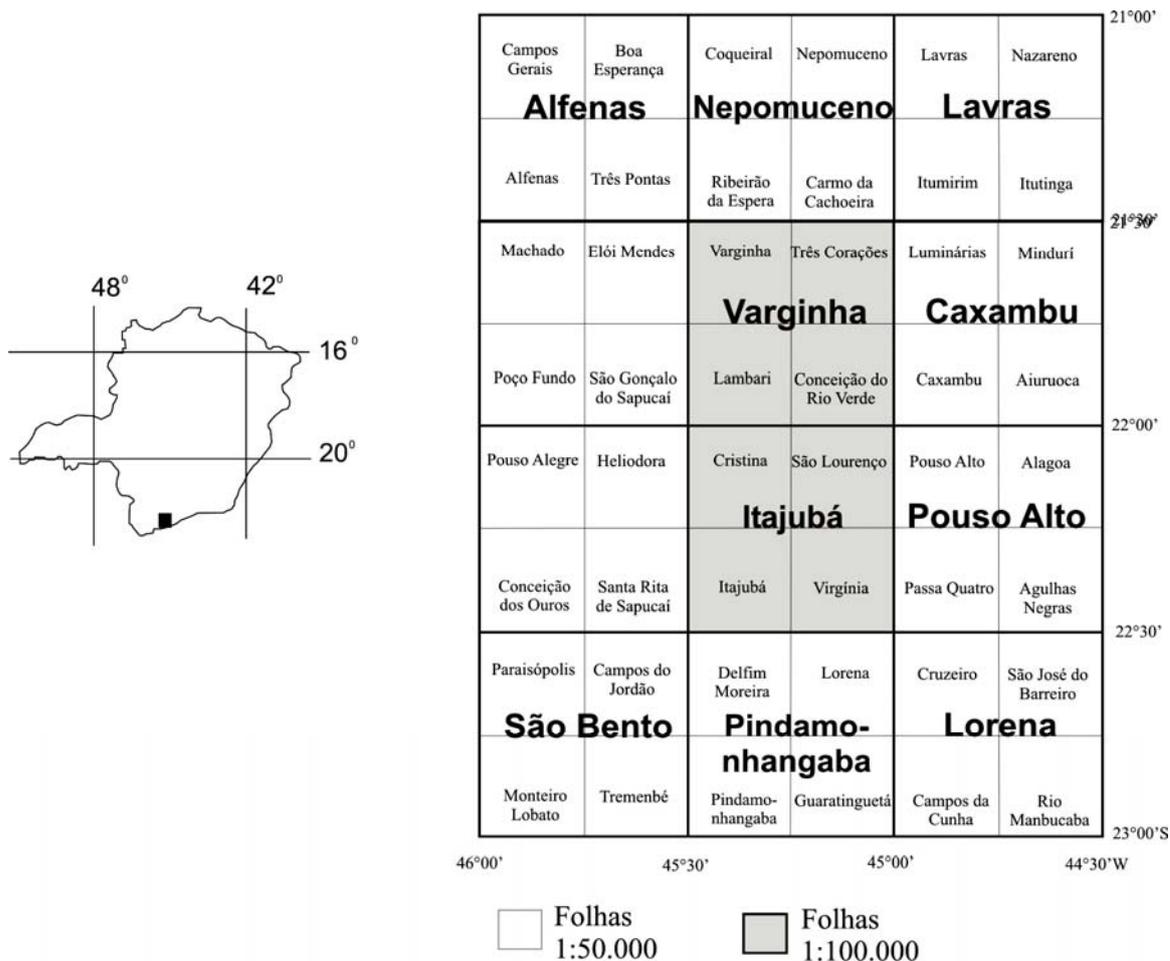
### 1.1 Localização das Folhas Mapeadas

As Folhas Varginha (SF.23-V-D-VI) e Itajubá (SF.23-Y-B-III), escala 1:100.000, situam-se na região sul do Estado de Minas Gerais, englobando a área delimitada pelos meridianos 45°30' – 45°00' W e paralelos 21°30' – 22°30' S (Fig. 1).

Nesta área encontram-se as cidades de Varginha, Itajubá, Três Corações, São Lourenço, Lambari, Cambuquira, Campanha, Conceição do Rio Verde, Maria da Fé, Soledade de Minas, Jesuânia, Carmo de Minas, Cristina, Pedralva, Marmelópolis, Virgínia, São Bento do Abade, Conceição da Pedra, Olímpio Noronha, Águas de Contendas e Dom Viçoso.

O acesso à região é feito pelas rodovias federais BR-381 (Fernão Dias) a partir de São Paulo e Belo Horizonte, e BR-354 e BR-459, a partir da rodovia Presidente Dutra (Rio - São Paulo). Na área abrangida pelas folhas Varginha e Itajubá (1:100.000) o deslocamento entre as cidades supracitadas é feito principalmente através das rodovias federais BR-381, BR-267, BR-459, BR-460 e estaduais MG-26, MG-153 e MG-157. Diversas estradas não pavimentadas complementam a malha viária interligando as fazendas e vilas da região aos maiores centros urbanos.

A região também é cortada por parte da malha férrea da Via Férrea Centro-Oeste (VFCO), atualmente desativada, com diversos trechos danificados pela falta de trilhos e pontes.



**Figura 1:** Articulação das Folhas Varginha e Itajubá (1:100.00).

## 1.2 Aspectos Fisiográficos

As altitudes na área das Folhas Varginha e Itajubá (1:100.000) variam de 780m, no leito do Rio Verde a sudoeste da cidade de Varginha, até 2.350m, na Serra da Mantiqueira, entre os picos do Itaguaré e dos Marins. O clima é tropical de altitude, caracterizado por verões brandos e úmidos e invernos secos. Ao longo do ano a média da temperatura máxima varia em torno de 27°C e da mínima em torno de 15°C, podendo chegar a próximo de 0°C nas altitudes mais elevadas durante invernos mais rigorosos.

A bacia do Rio Verde composta pelo Rio Verde e seus principais afluentes, Rio Baependi, Rio Lambari, Rio Palmela e Rio dos Peixes, drena a maior parte da área da Folha Varginha (1:100.000). O Rio Verde atravessa a área da Folha Varginha (1:100.000) de sudeste a noroeste, apresentando um traçado sinuoso sem grandes desníveis ao longo de quase todo percurso, a exceção de um pequeno *canyon* encachoeirado de poucas centenas de metros formado ao irromper a Serra de Jurumirim. Os demais rios supracitados apresentam feições semelhantes, com o Rio Baependi correndo de leste para oeste, o Rio Lambari de sul-sudoeste para norte-nordeste, o Rio Palmela de sudoeste para Nordeste e o Rio do Peixe de nordeste para sudoeste.

A área do quadrante nordeste e metade do quadrante sudeste da Folha Itajubá (1:100.000) é drenada por afluentes do Rio Verde que fluem para norte-nordeste, como os ribeirões dos Santos,

do Aterrado, do Carmo e dos Criminosos, entre outros. A área dos quadrantes sudoeste, noroeste e parte do quadrante sudeste é drenada pela bacia do Rio Sapucaí, tendo como principais afluentes os rios Lourenço Velho e Turvo. No extremo sudeste da Folha Itajubá (1:100.000) pequenos ribeirões descem pela vertente sudeste da Serra da Mantiqueira em direção a Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Na área da Folha Varginha (1:100.000) ocorrem duas morfologias distintas caracterizadas por colinas e serras. Na parte sudeste da área predomina relevo composto por serras orientadas aproximadamente na direção sudoeste-nordeste, orientação relacionada com a tectônica de cavalgamento de nappes vinculada a Faixa Brasília. Estas serras apresentam desníveis de 150 a 600 metros e são, na sua maioria, constituídas por sucessões metassedimentares da Megassequência Andrelândia. Podem ser compostas por paragneisses (Unidade São Vicente), capeados por sucessões quartzíticas (Unidade São Tomé das Letras) mais resistentes a erosão, como nas serras de Jurumirim, da Boa Vista, do Gonçalvesinho, de São Domingos dos Criminosos, de Contendas, próximo à cidade de Conceição do Rio Verde, ou composta exclusivamente por biotita gnaisses homogêneos (Unidade Santo Antônio), como nas serras do Palmital, dos Tapajós e do Cigano, a leste da cidade de Cambuquira. A exceção ocorre na Serra das Águas, entre as cidades de Lambari e Cambuquira, onde ocorrem fatias tectônicas de ortogneisses paleoproterozóicos intercalados com paragneisses das unidades São Vicente e Santo Antônio.

No restante da folha Varginha (1:100.000) predomina um relevo mais suave composto por colinas, onde o desnível, em geral, não ultrapassa 100 metros.

Na área da Folha Itajubá (1:100.000) predominam serras orientadas aproximadamente na direção nordeste-sudoeste, como as serras da água Limpa, da Boa Vista, da Pedra Branca, as Santa Catarina, do Bugio, da Soledade Velha, da Cristina, do Cubatão, da Estância, do Palmital e parte da Serra da Mantiqueira. Podem ser compostas por paragneisses da Unidade São Vinete, capeados por quartzitos da Unidade São Tomé das Letras, como na Serra de Santa Catarina, por granitos neoproterozóicos, como nas serras da Pedra Branca, Cubatão e da Água Limpa, por granulitos da Unidade Granulítica Basal, do Complexo Varginha-Guaxupé, como a Serra da Cristina ou por ortogneisses paleoproterozóicos da Unidade Ortogneisses Migmatíticos, como as serras da Boa Vista, do Bugio, da Soledade Velha e do Palmital.

Na porção leste da folha Itajubá (1:100.000), entre as cidades de São Lourenço e Virgínia ocorre um relevo mais aplainado, com predomínio de pequenas colinas.

### **1.3 Aspectos Socioeconômicos**

As cidades de Cambuquira, Lambari e São Lourenço, estâncias hidrominerais tradicionais, fazem parte do “Circuitos das Águas” do sul de Minas Gerais. Até a década de 40 esta região atraía uma grande quantidade de turistas, em busca dos benefícios curativos atribuídos às águas minerais locais, bem como pelos grandes cassinos existentes na região. Durante o governo do Presidente Eurico G. Dutra jogos de azar foram proibidos, causando o fechamento dos cassinos que tinham nas apostas seu maior financiamento. Nas décadas seguintes as cidades do circuito das águas passaram por um período de declínio, que vêm sendo lentamente superado com a revitalização do turismo ligado às águas minerais e o desenvolvimento de outras atividades econômicas.

Cidades como Varginha e São Lourenço tem investido para atrair turismo de eventos como congressos, simpósios e festivais. A cidade de Itajubá é um importante pólo industrial da região sul de Minas Gerais. Também possui universidades federal e particular, que atraem estudantes e diversos profissionais ligados a área de ensino, estimulando diversos o comércio da região.

A região da Folha Varginha (1:100.000) faz parte de um importante pólo produtor de café que se estende até a represa de Furnas, aproximadamente 100km ao norte. Nos municípios de Três Corações, Varginha e Cambuquira, que apresentam relevo mais aplainado e boa rede hidrográfica, existem grandes plantações de café. Atualmente algumas das antigas lavouras de café têm sido substituídas por extensas plantações de milho, principalmente no município de Três Corações.

O município de Maria da Fé é um importante pólo produtor de batata da região sul de Minas Gerais.

Na área das Folhas Varginha e Itajubá (1:100.000) atualmente não existe extração de quartzito, entretanto em municípios da Folha Caxambu (1:100.000) existem extensas lavras deste bem mineral, sendo o principal pólo de extração de quartzito de Minas Gerais, inclusive dando nome a seu produto mais conhecido, a “pedra São Tomé”. Devido à proximidade e facilidade de escoamento da produção na cidade de Três Corações existem grandes armazéns e revendedoras desta rocha ornamental.

Devido à beleza da natureza local, esta região tem grande potencial para turismo ecológico, principalmente na sua porção sul-sudeste, destacando-se a prática de vôo livre, escalada, balonismo, *trecking* e circuitos de *MotoCross*, entre outras atividades ao ar livre. As principais cidades que exploram este tipo de turismo são as cidades de Maria da Fé, Itajubá, Marmelópolis, Cambuquira e Lambari.

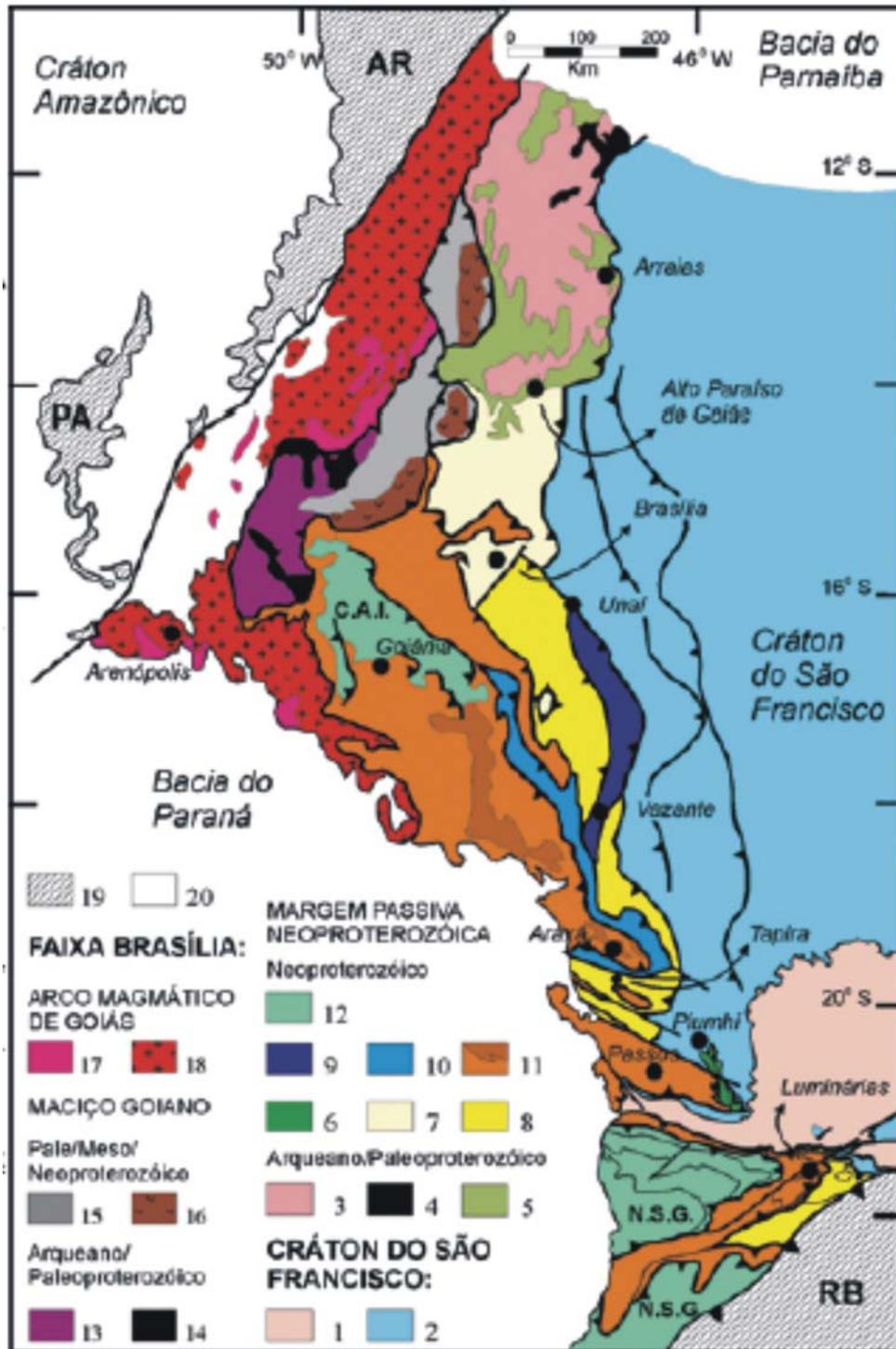
Por fim, um filão econômico, no mínimo insólito, que vem sendo explorado na última década é o turismo relacionado com o caso do “E.T. de Varginha” que fez a cidade ser conhecida mundialmente. Desde a suposta aparição em janeiro de 1996, a região vem atraindo ufólogos e curiosos de todo país e até estrangeiros, com a realização de eventos anuais para comemorar o caso e divulgar a ufologia.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

---

A área encerrada pelas folhas Varginha e Itajubá (1:100.000) se encaixa regionalmente na Província Mantiqueira, representando o extremo sul da Faixa Brasília Meridional (Orógeno Brasília). A área da Folha Varginha está inserida no Domínio Alóctone II e da Folha Itajubá no Domínio Alóctone III (Ribeiro *et al.*, 1990) da zona de interferências entre as Faixas Brasília e Ribeira (Trouw *et al.*, 1994). Sua evolução tectônica está vinculada a processos orogênicos neoproterozóicos decorrentes de duas colisões consecutivas, a mais antiga entre o Paleocontinente Paranapanema, representado pela Nappe Socorro-Guaxupé, e a margem passiva ocidental do Paleocontinente São Francisco, gerando a Faixa Brasília. Posteriormente ocorreu a colisão do Paleocontinente do Congo contra a margem passiva oriental do Paleocontinente São Francisco, resultando na Faixa Ribeira (Orógeno Ribeira). Estas colisões continentais fizeram parte do processo de aglutinação continental responsável pela formação do supercontinente Gondwana (Almeida *et al.*, 2000; Alkmim *et al.*, 2001).

A Faixa Brasília estende da direção norte-sul por mais de 1.000 km na margem oeste do Cráton do São Francisco (Fig. 2.1). No segmento sul da faixa, ao sul da mega-inflexão dos Pirineus, ocorrem de W para E três zonas, interna, externa e cratônica (Marini *et al.*, 1984; Fuck *et al.*, 1994), com registro de dois eventos colisionais. O primeiro gerou por refusão de crosta paleoproterozóica granodioritos e granitos sin a tardi-tectônicos, com idade de cristalização em torno de 794 Ma (U/Pb em zircão; Pimentel *et al.*, 1992). O segundo evento colisional, entre 630-610 Ma (Dardenne, 2000), gerou empurrões para sudeste, granitogênese e metamorfismo que aumenta de E para W, atingindo fácies anfíbolito alto e localmente granulito na zona interna. Os granulitos entre Anápolis e Itauçu têm idades Sm/Nd de  $633 \pm 28$  Ma (isócrona mineral Granada x Monazita x Biotita; Fischel *et al.*, 1998). Datações K-Ar em mica branca indicam resfriamento na extremidade sul da faixa entre 580 e 560 Ma (Valeriano, 1999). Nesta região Valeriano *et al.* (1993) e Simões (1995) reconheceram quatro fases deformacionais (D1NP, D2NP, D3NP e D4NP) e um evento metamórfico associados ao segundo evento colisional. As fases contínuas D1NP e D2NP desenvolveram, respectivamente, empurrões para ESE e para ENE e dobras recumbentes com eixo ESE e vergência para NNE, culminando com a exumação e colocação da Nappe de Passos, ou domínio interno, sobre o domínio externo. Durante D1NP iniciou-se um evento metamórfico de gradiente inverso, com fácies xisto verde médio na base e fácies anfíbolito superior no topo da Nappe de Passos, sendo o auge metamórfico cedo-sin-D2NP. As associações minerais indicam pressão relativamente alta, com cianita estável até a fácies anfíbolito alto e ausência de sillimanita. Análises geotermobarométricas indicam  $T \sim 485^{\circ}\text{C}$  e  $P \sim 6$  kbar na base da nappe e  $T > 740^{\circ}\text{C}$  e  $P > 11$  kbar no topo (Simões, 1995). As isógradas metamórficas têm contornos aproximadamente paralelos ao acamamento e ao empurrão basal da nappe. As fases D3NP e D4NP geraram dobras suaves com planos axiais íngremes e eixos caindo para E ou W e NW ou SE, e falhas subverticais paralelas aos planos axiais.



**Figura 2.1:** Unidades tectônicas da Faixa Brasília (compilado de Dardenne, 2000; Pimentel *et al.* 2000; Valeriano *et al.*,2000; Seer, 1999; Silva, 2003).

A Faixa Ribeira estende-se no rumo NE-SW por cerca de 1.400 km transicionando a nordeste para a Faixa Araçuaí (Fig. 2.2). Sua evolução está ligada a subducção para SE da paleoplaca Sanfranciscana e posterior colisão do paleocontinente São Francisco com o paleocontinente do Congo durante a Orogênese Brasileira (Heilbron *et al.*, 2000). Neste trabalho será focado o segmento central da Faixa Ribeira, subdividido segundo Heilbron *et al.* (2000) em quatro terrenos tectono-estratigráficos principais (Tab. 2.1) com registro de dois episódios colisionais. Segundo

esses autores o primeiro episódio divide-se em quatro estágios tectônicos; o primeiro, pré-colisional, ocorreu entre 630 e 595 Ma (U/Pb em zircões, Machado *et al*, 1996), durante a subducção para SE da paleoplaca Sanfranciscana sob a Microplaca da Serra do Mar (Campos Neto & Figueiredo, 1995), gerando os plútons granitóides do Arco Magmático Rio Negro (Tupinambá *et al*, 1998).

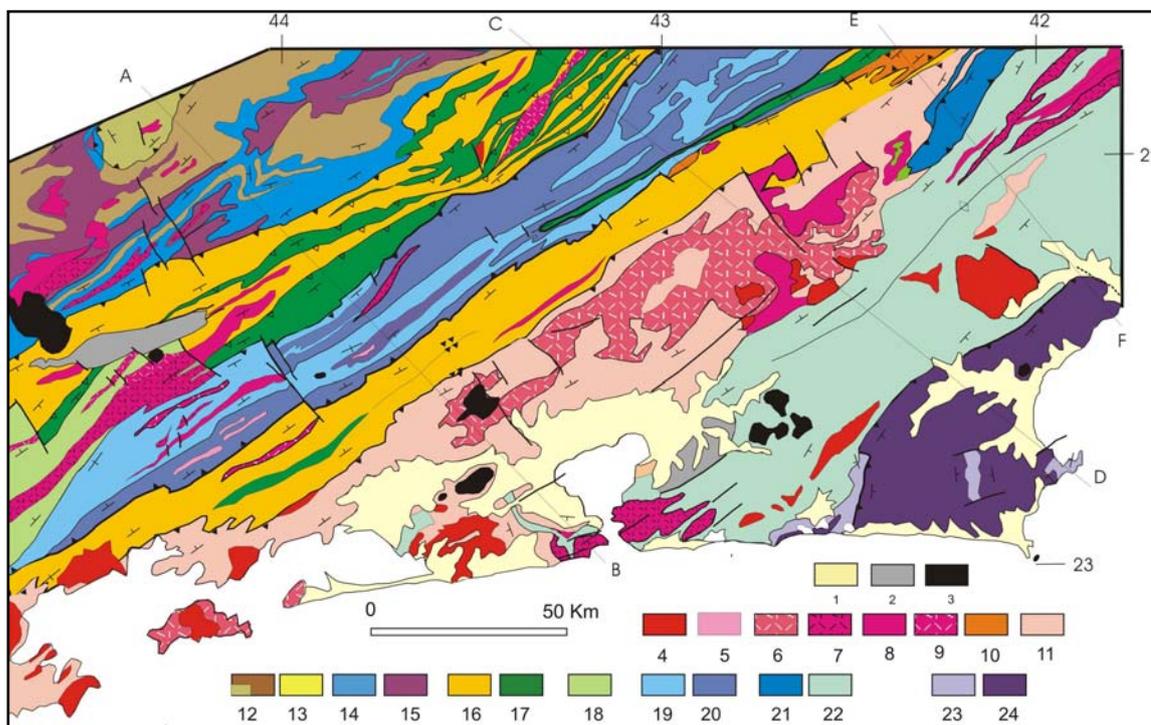
No segundo estágio, de 595 a 565 Ma (Machado *et al*, 1996), ocorreu uma colisão oblíqua entre as placas acima citadas, gerando um sistema de nappes com transporte tectônico de topo para NW registrado em duas fases deformacionais contínuas (DR1 e DR2). Neste período ocorreu o primeiro evento metamórfico (MR1), cedo sin-colisional, de pressão intermediária (P: 6-7 kbar; T: 700<sup>o</sup>-750<sup>o</sup>C; Duarte, 1998), com gradiente inverso e grau metamórfico aumentando para SE, de fácies xisto verde superior à fácies anfibolito superior, chegando à fácies granulito no Terreno Oriental. Também foram gerados plútons granitóides do tipo S associados às falhas de empurrão que delimitam as nappes.

O terceiro estágio (tardi-colisional), entre 565 e 540 Ma (Machado *et al*, 1996), está registrado por plútons graníticos predominantemente do tipo I fracamente foliados (ex. batólito da Serra dos Órgãos).

No quarto estágio (pós-colisional), ocorrido entre 540 e 520 Ma (Machado *et al*, 1996), uma fase compressiva (DR3), aproximadamente SE-NW, gerou dobras com planos axiais subverticais (megassinforma Paraíba do Sul e Megantiforma Rio de Janeiro) e zonas de cisalhamento dúcteis destrais com rumo NE-SW (Zona de Cisalhamento Paraíba do Sul).

Ainda é reconhecida uma quarta fase deformacional (DR4), relacionada com uma compressão regional final E-W (Trouw *et al*, 2000), que gerou dobras abertas a apertadas com eixos N-S e plano axial subvertical, além de zonas de cisalhamento destrais com rumo NE-SW bem desenvolvidas no Domínio Autóctone e zonas de cisalhamento sinistrais com rumo NW-SE mais discretas observadas em todos os domínios.

No Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF), porção mais a SE da Faixa Ribeira, Schmitt (2001) reconheceu cinco fases deformacionais, relacionadas ao segundo episódio colisional no segmento central da FR, que podem ser em parte correlacionadas temporalmente as fases de Heilbron *et al* (2000). Em um primeiro estágio ocorreram duas fases deformacionais progressivas (D1 e D2) que geraram falhas de empurrões com transporte de topo para NNW, foliação com mergulho suave para SSE e metamorfismo de pressão relativamente alta na transição das fácies anfibolito e granulito, com cianita e K-feldspato em metapelitos e clinopiroxênio, granada e quartzo nos ortoanfibolitos. Este metamorfismo atuou nas rochas da Sucessão Búzios e seu embasamento entre 525 e 520 Ma (U/Pb em zircão, Schmitt *et al*, 1999). Durante um segundo estágio, ocorrido a 510 Ma (Schmitt 2001), o DTCF teria sido empurrado para NNW sobre o Terreno Oriental gerando uma terceira fase deformacional (D3), que dobrou a foliação pretérita em dobras recumbentes com eixo com caimento para NNW. Neste período ocorre sillimanita pseudomórfica sobre a cianita do pico metamórfico. Em um terceiro estágio, entre 500 e 490 Ma (U-Pb em monazita e zircão, Schmitt, 2001), foi gerada uma zona de cisalhamento subvertical destrial com direção NE-SW próximo ao contato.



**Figura 2.2:** Mapa geológico simplificado do segmento central da Faixa Ribeira, extraído de Heilbron *et al*, 2004.

**Tabela 2.1:** Principais unidades tectôno-estratigráfica do segmento central da Faixa Ribeira e suas subdivisões (modificado de Heilbron *et al*, 2000 ).

| Terrenos Principais   | Unidades Tectôno-Estratigráficas            | Unidades Litológicas                           | Idades              |
|-----------------------|---|--|---------------------|
| Terreno Ocidental     | Domínio Andrelândia                         | Granitóides sin-tardi colisionais              | Neoproterozóico     |
|                       |   | Bacia Andrelândia                              | Neoproterozóico     |
|                       |   | Complexo Mantiqueira                           | Arqueano            |
| Klippe Paraíba do Sul | -   | Granitóides sin-tardi colisionais              | Neoproterozóico     |
|                       |   | Grupo Paraíba do Sul (~ Sequência Andrelândia) | Neoproterozóico (?) |
|                       |   | Complexo Quirino                               | Paleoproterozóico   |
| Terreno Oriental      | Domínio Costeiro                            | Granitóides sin-tardi colisionais              | Neoproterozóico     |
|                       |   | Bacia Italva                                   | Neoproterozóico     |
|                       |   | Arco Magmático Rio Negro                       | Neoproterozóico     |
| Terreno Cabo Frio     | Domínio Tectônico Cabo Frio (Schmitt, 2001) | Leucogranitos                                  | Neoproterozóico     |
|                       |   | Sucessão Búzios-Palmital                       | Neoproterozóico     |
|                       |   | Complexo Região dos Lagos                      | Paleoproterozóico   |

A Zona de Superposição entre as Faixas Brasília e Ribeira (Trouw *et al*, 1994) representa o extremo sul da Faixa Brasília, onde suas características são gradualmente mascaradas pela superimposição de eventos ligados à Faixa Ribeira (Ribeiro *et al*, 1995; Campos Neto & Caby, 1999, Peternel, 2005). Esta zona localiza-se ao sul da borda meridional do Cráton do São Francisco onde afloram rochas de idade arqueana até terciária, que podem ser agrupadas em três conjuntos

em relação à idade: a) Arqueano/Paleoproterozóico, englobando gnaisses migmatíticos, granulitos, faixas *greenstone* e rochas metaígneas intrusivas; b) Meso/Neoproterozóico, composto por sucessões metassedimentares das Sequências Depositionais São João Del Rei, Carandaí, Andrelândia, Eleutério, Pouso Alegre, pela Nappe Socorro-Guaxupé e por rochas ígneas intrusivas; c) Cretáceo/Terciário representado por rochas alcalinas intrusivas.

## 2.1 Arqueano/Paleoproterozóico

Este conjunto engloba as rochas da borda meridional do Cráton do São Francisco (CSF) em posição autóctone, e rochas alóctones intercaladas tectonicamente, com sucessões da Megassequência Andrelândia.

Na borda meridional do CSF ocorrem terrenos arqueanos granito-gnáissicos e migmatítico, de alto grau metamórfico, possivelmente remanescentes de antigos núcleos ou blocos cratônicos, e faixas *greenstone* de baixo grau metamórfico; rochas metassedimentares paleoproterozóicas do Supergrupo Minas, diversos plútons com idade paleoproterozóica (Fig. 2.3), representantes de magmatismo relacionado com evento de reativação termotectônica que afetou a borda meridional do CSF.

Os terrenos de alto grau estão representados pelos Complexos Metamórficos de Campo Belo, Belo Horizonte e Bonfim de idades entre 3,4 (Schrank & Souza Filho, 1998) e 3,2 Ga. (Teixeira *et al.*, 1998). São compostos por gnaisses contendo, subordinadamente, lentes de anfíbolitos e restos de formação ferrífera bandada. Os gnaisses têm composições tonalítica a granodiorítica com afinidades geoquímicas típicas de suítes TTG arqueanas, e possuem variado grau de migmatização (Machado *et al.*, 1996).

As faixas *greenstone* estão representadas pelo *Greenstone Belt* Rio das Velhas, composto por pacotes de lavas komatiíticas, basálticas komatiíticas e basálticas toleíticas intercaladas com sucessões turbidíticas e recoberto por quartzitos e pelitos (Schrank & Souza Filho, 1998), e pelo *Greenstone Belt* Barbacena (Pires, 1977) composto por uma série de faixas estreitas e descontínuas de sucessões vulcano-sedimentares separadas por granitóides intrusivos paleoproterozóicos.

O Supergrupo Minas (Dorr, 1969) é dividido em 3 unidades: sucessões de quartzitos, filitos e dolomitos (base); sucessões metaturbidíticas recobertas por pelitos com lentes de dolomito, quartzitos e metapelitos carbonáceos; sucessões metaturbidíticas com fragmentos de rochas vulcânicas, graníticas e metapeliíticas (Schrank e Souza Filho, 1998).

Os plútons paleoproterozóicos, com idades variando de 2.255 Ma a 2.100 Ma (Tab. 2.2), apresentam uma grande gama de composições, com variedades tonalíticas, granodioríticas, graníticas, trondhjemiticas, e máficas (Ávila *et al.*, 1998; Noce *et al.*, 2000; Cherman, 2004).

Ao sul da borda meridional do CSF são encontrados na base de nappes desenvolvidas no Neoproterozóico, ortognaisses alóctones de composição granítica a granodiorítica, apresentando feições migmatíticas (Oliveira Castro, 1997; Peternel, 2000). Sob este sistema de nappes ocorre uma área autóctone, descrita por Bittar (1989) e Almeida (1992), com ortognaisses semelhantes aos da parte alóctone, além de corpos metaultramáficos (tremolita-actinolita-xistos, serpentinitos

e talco xistos) e menores proporções de hornblenda-biotita gnaïsse, granada-biotita gnaïsse, anfíbolitos, xistos máficos, rochas calcissilicáticas, quartzito ferruginoso e "gonditos".

Cherman (2004) reconheceu nas rochas da borda meridional do CSF pelo menos três fases deformacionais. A primeira fase, presente apenas em rochas com mais de 2.177 Ma, apresenta poucos registros, sendo observado clivagens contínuas e/ou anastomosadas e xistosidades muito finas transposta pela fase posterior. A fase principal está registrada em todas as rochas e gerou foliação com direções de mergulho para S-SE e ângulo variando de 35° a vertical, dobras fechadas, apertadas a isoclinais com planos axiais íngremes e paralelos a foliação e lineação mineral e de estiramento para SW com mergulho em torno de 45°. Esta fase apresenta um comportamento dúctil em litótipos máficos, metaultramáficos e metassedimentares, e mais rúptil nos corpos intrusivos de maior dimensão. A última fase, de comportamento dúctil/rúptil, gerou dobras abertas e suaves, com planos axiais íngremes mergulhando para SW, com eixos de caimento suave para SW e zonas de cisalhamento com mergulho íngreme para SSW e W.

Ainda segundo a autora, associado a estas fases deformacionais observa-se registro de dois eventos metamórficos. O primeiro metamorfismo está registrado nas rochas do *greenstone belt* Barbacena e nas intrusivas mais antigas que 2.177 Ma, exibindo paragênese metamórfica de fácies anfíbolito baixo a moderado. O segundo metamorfismo, de fácies xisto verde alto a médio, é observado tanto nas rochas acima citadas quanto nas intrusivas com idade entre 2.155 Ma e 2.100 Ma (Cherman, 2004).

As lascas alóctones compostas por ortognaïsses apresentam elementos estruturais paralelos com as estruturas presentes nas rochas supracrustais neoproterozóicas. Entretanto idade de 2.088 ± 26 Ma (zircão – U/Pb; Peternel, 2000) confirmaram que estes gnaïsses pertencem ao embasamento da Megassequência Andrelândia. Considerando que os cristais de zircão plotaram próximos ao intercepto superior, conclui-se que estes foram pouco afetados pelo evento termo-tectônico posterior, não desenvolvendo nenhuma população neoproterozóica.

Próximo à cidade de Amparo, ainda em um domínio alóctone, Fetter *et al* (2003) descrevem ortognaïsses trondjemíticos migmatizados e ortognaïsses bandados de composição granodiorítica com idades U/Pb em zircão de 3.024 ± 9 Ma e 2.772 ± 26 Ma, respectivamente. Os mesmos autores ainda apresentam idades U/Pb em zircão em ortognaïsses próximos às cidades de Pouso Alegre e São Gonçalo do Sapucaí de 2.136 ± 8 Ma e 2.119 ± 6 Ma, respectivamente. Estas rochas são correlacionadas com a borda meridional do Cráton do São Francisco e interpretadas como uma parte da paleoplaca Sanfranciscana que foi desmembrada durante a evolução da Faixa Brasília.

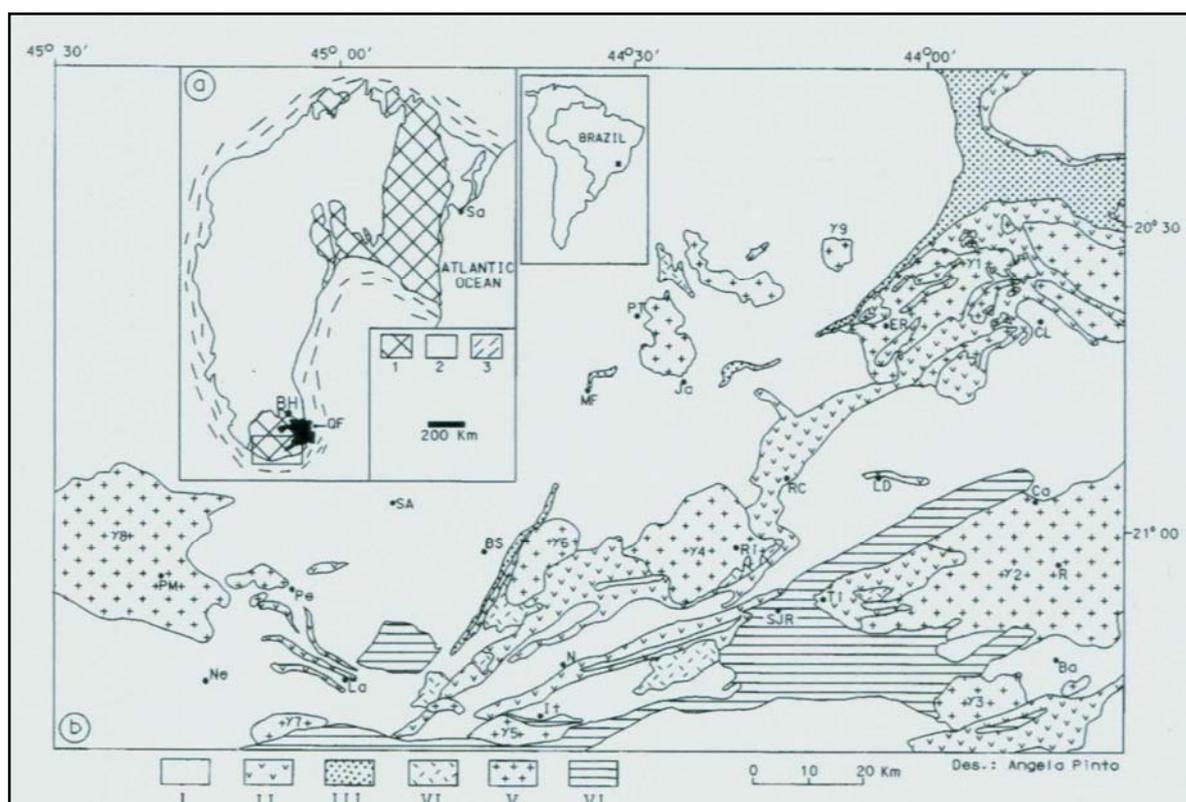
Segundo Cherman (2004) os ortognaïsses com idades entre 2.177 e 2.255 Ma, com composição variando de tonalítica a granodiorítica, e subordinadamente, granítica, são em geral subcalinos peraluminosos e seguem trends de diferenciação das rochas cálcio-calinas de médio K. De acordo com os dados geoquímicos dos elementos traços foram formados em ambiente de arco vulcânico pré-colisão. Os valores de  $\epsilon_{Nd}(t)$  entre -0,15 e -8,10 indicam origem em fontes crustais, não devendo ser descartado alguma contribuição mantélica.

Já os ortognaïsses com idades entre 2.116 Ma e 2.100 Ma, de composição variando entre sienogranitos a monzogranitos e subordinadamente granodioritos a tonalitos, são em geral

granitóides do tipo I com caráter peraluminoso. São classificados como subalcalinos (diagrama TAS; Irvine & Baragar, 1971) e com filiação cálcio-alcálica (diagrama AFM; Irvine & Baragar, 1971). Os dados geoquímicos de elementos traços indicam que os protólitos são granitos de arcos vulcânicos sin-colisionais. Os valores de  $\epsilon_{Nd}(t)$  entre -1,73 e -6,90, indicam fontes crustais para os magmas e as razões iniciais de  $^{87}Sr/^{86}Sr$  correspondem a origem em crosta inferior (Cherman, 2004) .

Segundo Teixeira et al (1997), os plútons Ritápolis, Campolide, Itutinga e Alto Jacarandá, com idades entre 1.998 Ma. e 1.863 Ma., apresentam valores iniciais elevados de  $^{87}Sr/^{86}Sr$  (0,7584 a 0,7096) e/ou valores muito baixo e negativo de  $\epsilon_{Nd}(t)$  entre -5,95 e -10,97, o que indica que teriam se formado em grande parte a partir de magmas derivados de componentes crustais.

O plúton do Alto Maranhão, 2.124 Ma de composição tonalítica, apresenta valor de  $\epsilon_{Nd}(t)$  +2,45, indicativo de magmas mantélicos ou juvenis. Os plútons de Lavras, 1.982 Ma., Porto Mendes, 2.061 Ma. e Ressaquinha, 2.010 Ma., de composição granodiorítica, granítica e granodiorítica-tonalítica, respectivamente, apresentam valores  $\epsilon_{Nd}(t)$  de -1,66 a -3,73 e razões iniciais de  $^{87}Sr/^{86}Sr$  entre 0,7041 e 0,7083, compatíveis com magmas com proporções variáveis de materiais juvenis e de crosta continental (Valença, com. verbal).



**Figura 2.3:** a) Contorno do Cráton do São Francisco com as principais unidades geológicas: 1) embasamento cratônico de idade arqueana-paleoproterozóica; 2) cobertura sedimentar; 3) Faixas móveis brasileiras. QF = Quadrilátero ferrífero; BH - Belo Horizonte; Sa = Salvador; b) Mapa geológico simplificado da borda sul do Cráton do São Francisco com I); II) Greenstone Belt Arqueano; III) Supergrupo Minas (Paleoproterozóico); IV) Intrusões gabróicas e dioríticas; V) Plútons de Granitóides Paleoproterozóicos: 1 = Alto Maranhão, 2 = Ressaquinha, 3 = Campolide; 4 = Ritápolis; 5 = Itutinga; VI) Tabuões; 7 = Lavras; 8 = Porto Mendes; 9 = Alto Jacandá; VI) Meso a Neoproterozóico; Grupo São João Del Rei = CL = Conselheiro Lafaiete; ER = Entre Rios de Minas, Ca = Carandaí; R = Ressaquinha; Ba = Barbacena, Ti = Tiradentes, SJDR = São João Del Rei, Ri - Ritápolis, RC = Resende Costa, LD = Lagoa Dourada; Ja - Jacarandira, PT - Passa Quatro; MF = Morro de Ferro; Bs - Bonsucesso; N - Nazareno; RC - Rezende Costa, It - Itutinga, La - Lavras, Pe - Perdões, SA = Santo Antônio do Amparo; Ne = Nepomuceno, PM = Porto Mendes.

**Tabela 2.2:** Dados geocronológicos das rochas arqueanas e paleoproterozóicas da borda meridional do Cráton do São Francisco e da zona de superposição entre as faixas Brasília e Ribeira. Autores: (1) Machado *et al.* (1992); (2) Schrank & Machado (1996); (3) Fetter *et al.* (2003); (4) Machado & Carneiro (1992), (5) Noce *et al.* (1998); (6) Romano *et al.* (1991); (7) Cherman (2004); (8) Noce *et al.* (2000); (9) Pires (1977); (10) Trouw *et al.* (1986); (11) Ávila *et al.* (1998); (12) Fiumari *et al.* (1985); (13) Peternel (2000); (14) Valença *et al.* (1998); (15) Noce *et al.* (1997).

| Unidade                        | Litologia  | Método - material                        | Idade (Ma)   | interpretação                   |
|--------------------------------|--|--|--|---------------------------------|
| Supergrupo<br>Rio das Velhas   | Lava félsica   | U/Pb (DI) - zircão                       | <sup>(1)</sup> 2.776   |                                 |
|                                | sedimento  | U/Pb (DI) - zircão e monazita detríticos | <sup>(2)</sup> 2.857   | Limite superior da sedimentação |
| Intrusivas<br>neo<br>arqueanas | Trondjhemito (Amparo)                                  | U/Pb (DI) - zircão                       | <sup>(3)</sup> 3.024 ± 9                                       | crystalização                   |
|                                | Tonalito (Samambaia)                                   |  | <sup>(4)</sup> 2,78 Ga.  | crystalização                   |
|                                | Granodiorito (Caeté)                                   |  | <sup>(1)</sup> 2,78 Ga.  | crystalização                   |
|                                | Granodiorito (Amparo)                                  | U/Pb (DI) - zircão                       | <sup>(3)</sup> 2.772 ± 26                                      | crystalização                   |
|                                | Granito Salto do Paraopeba                             |  | <sup>(5)</sup> 2,61 Ga.  | crystalização                   |
|                                | Granito (Caio Martins)                                 |  | <sup>(6)</sup> 2,59 Ga.  | crystalização                   |
|                                | Granitóide-gnaiss (Itutinga)<br>(Pedreira de Varginha) | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(7)</sup> 2.255 + 6<br><sup>(7)</sup> 2.205 + 5           | crystalização                   |
|                                | Granito (Tabuões)                                      | Rb/Sr (DI) - RT                          | <sup>(8)</sup> 1.962 ± 20<br><sup>(9)</sup> 1.932 + 20         | crystalização                   |
|                                | Gabro (São Sebastião da Vitória)                       | U/Pb (DI) - zircão                       | <sup>(10)</sup> 2.220 + 3                                      | crystalização                   |
|                                | Qtz-diorito (Brito)                                    | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(11)</sup> 2.198 + 6                                      | crystalização                   |
|                                | Granodiorito (Suiço)                                   | U/Pb (DI) - zircão                       | <sup>(10)</sup> 2.194 + 8                                      | crystalização                   |
|                                | Granófiro  | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(11)</sup> 2.192 + 4                                      | crystalização                   |
|                                | Granitóide (Brumado de cima)                           | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(11)</sup> 2.187 + 4                                      | crystalização                   |
|                                | Granito (Porto Mendes)                                 | Rb/Sr (DI) - RT                          | <sup>(8)</sup> 2.061 ± 82                                      | crystalização                   |
|                                | Ortomigmatito (Itumirim)                               | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(5)</sup> 2.177 + 4                                       | crystalização                   |
|                                | Trondjhemito (Cassiterita-Caxambú)                     | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(11)</sup> 2.162 + 0,01                                   | crystalização                   |
|                                | Diorito - qtz-tonalito                                 | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(7)</sup> 2.155 + 3                                       | crystalização                   |
|                                | Ortognaisse (Pouso Alegre)                             | U/Pb (DI) - zircão                       | <sup>(3)</sup> 2.136 ± 8                                       | crystalização                   |
|                                | Diorito (Brumado)                                      | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(11)</sup> 2.128 + 0,004                                  | crystalização                   |
|                                | Tonalito (Alto Maranhão)                               | U/Pb (DI) - zircão                       | <sup>(12)</sup> 2.124 + 2                                      | crystalização                   |
|                                | Granitóide (Ritápolis)                                 | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(11)</sup> 2.122 + 0,006<br><sup>(11)</sup> 2.121 + 0,007 | crystalização                   |
|                                | Ortognaisse(S. Gonçalo do Sapucaí)                     | U/Pb (DI) - zircão                       | <sup>(3)</sup> 2.119 ± 6                                       | crystalização                   |
|                                | Granitóide (Macuco de Minas)                           | Pb/Pb (Ev) - zircão                      | <sup>(7)</sup> 2.116 + 9                                       | crystalização                   |

continua...

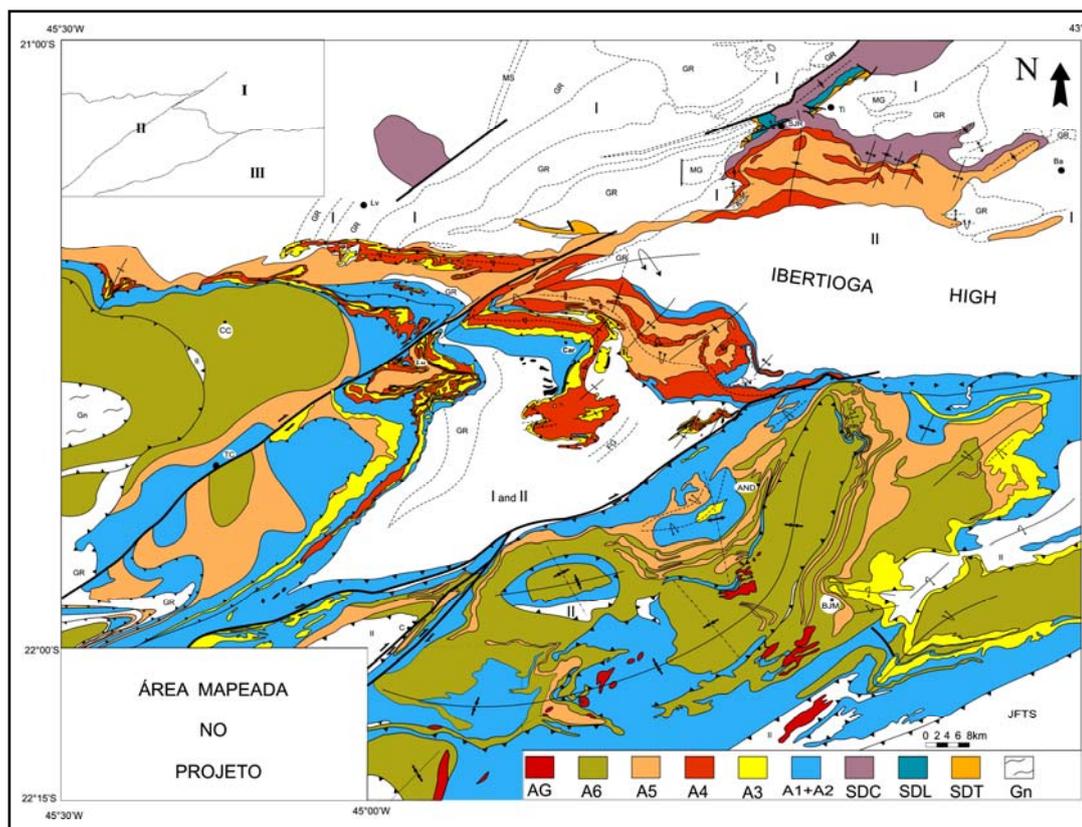
...continuação

| Unidade | Litologia   | Método - material   | Idade (Ma)  | interpretação |
|---------|---|---------------------|---|---------------|
|         | Granitóide (Pedreira de Itumirim)<br>Parte homogênea<br>Parte hibridizada<br>Parte máfica | Pb/Pb (Ev) - zircão | <sup>(7)</sup> 2.101 + 8<br><sup>(7)</sup> 2.112 + 7<br><sup>(7)</sup> 2.108 + 18 | cristalização |
|         | Granitóide (Rod. MG-265)  | Pb/Pb (Ev) - zircão | <sup>(7)</sup> 2.103 + 5  | cristalização |
|         | Granitóide-gnaiss (alóctone)  | U/Pb (DI) - zircão  | <sup>(13)</sup> 2.088 + 26 (IS)   | cristalização |
|         | Granodiorito-tonalito (Ressaquinha)   | Rb/Sr (DI) - RT     | <sup>(8)</sup> 2.010 + 52   | cristalização |
|         | Granito (Campolide)   | Rb/Sr (DI) - RT     | <sup>(8)</sup> 1.998 + 97   | cristalização |
|         | Granodiorito (Lavras)   | Rb/Sr (DI) - RT     | <sup>(14/15)</sup> 1.982 + 134  | cristalização |
|         | Granito (Alto Jacarandá)  | Rb/Sr (DI) - RT     | <sup>(14)</sup> 1.900 + 108   | cristalização |
|         | Granito (Ritápolis)   | Rb/Sr (DI) - RT     | <sup>(8)</sup> 1.863 + 44   | cristalização |

## 2.2 Meso/Neoproterozóico

### 2.2.1 Sequências Depositionais

Uma importante discordância regional, ora litológica, ora angular, separa o embasamento de sucessões mesoproterozóicas das sequências deposicionais São João del Rei e Carandaí, e neoproterozóicas da Megassequência Andrelândia (Fig. 2.4). Também há registros do desenvolvimento de pequenas bacias sedimentares durante o final do Neoproterozóico associadas a evolução das Faixa Ribeira.



**Figura 2.4:** Mapa geológico da zona de interferência entre as faixas móveis Brasília e Ribeira, no sul de Minas Gerais. Unidades do embasamento: I) greenstone belts, II) Complexo Mantiqueira, MS) Supergrupo Minas; Intrusões Paleoproterozóicas: GR) granitóides, MG) gabróicas. Sequências Depositionais Proterozóicas: SDT) Tiradentes, SDL) Lenheiro, SDC) Carandaí, SDA) Andrelândia, Unidades da SDA: A1 e A2) biotita gnaisses bandados, com intercalações de quartzitos, anfíbolitos e xistos máficos / ultramáficos, A3) quartzitos com intercalações de muscovita-xistos, A4) filitos / xistos cinzentos com intercalações quartzíticas subordinadas, A5) biotita-xistos, maciços ou laminados, localmente com grânulos e seixos pingados, A6) biotita-xistos / gnaisses grossos, com intercalações de anfíbolitos, quartzitos, metacherts e rochas calcissilicáticas. Áreas pretas) principais corpos ultramáficos; GA) granitos anatéticos, NG) Nappe de Guaxupé, JFS) Sistema de empurrões de Juiz de Fora. Cidades: SJR- São João Del Rei, Ti- Tiradentes, Ba- Barbacena, Lv- Lavras, Car- Carrancas, Lu- Luminárias, CC- Carmo da Cachoeira, TC- três Corações, C- Caxambú, AND- Andrelândia, BJM- Bom Jardim de Minas. Detalhe na parte superior esquerda: Domínios Tectônicos - I) autóctone, II e III) alóctones. Polígono Preto - área do presente trabalho, A-A' e B-B' - Seções geológicas. Modificado de Peternel 2000 e Trouw *et al* (2000).

As associações de litofácies que compõem a Megassequência Andrelândia (MSA) são, da base para o topo, as seguintes (Paciullo *et al*, 2000):

A1: biotita gnaisses finos bandados contendo intercalações de corpos anfíbolíticos;

A2: biotita gnaisses finos bandados com intercalações de quartzitos, xistos e anfíbolitos;

A3: quartzitos com intercalações subordinadas de xistos e escassos conglomerados;

A4: filitos/xistos cinzentos com intercalações quartzíticas subordinadas;

A5: biotita xistos/gnaisses finos, maciços ou laminados, localmente com grânulos e seixos pingados;

A6: biotita xistos/gnaisses grossos, contendo intercalações de rochas calciossilicáticas, quartzitos manganésíferos, quartzitos e anfíbolitos.

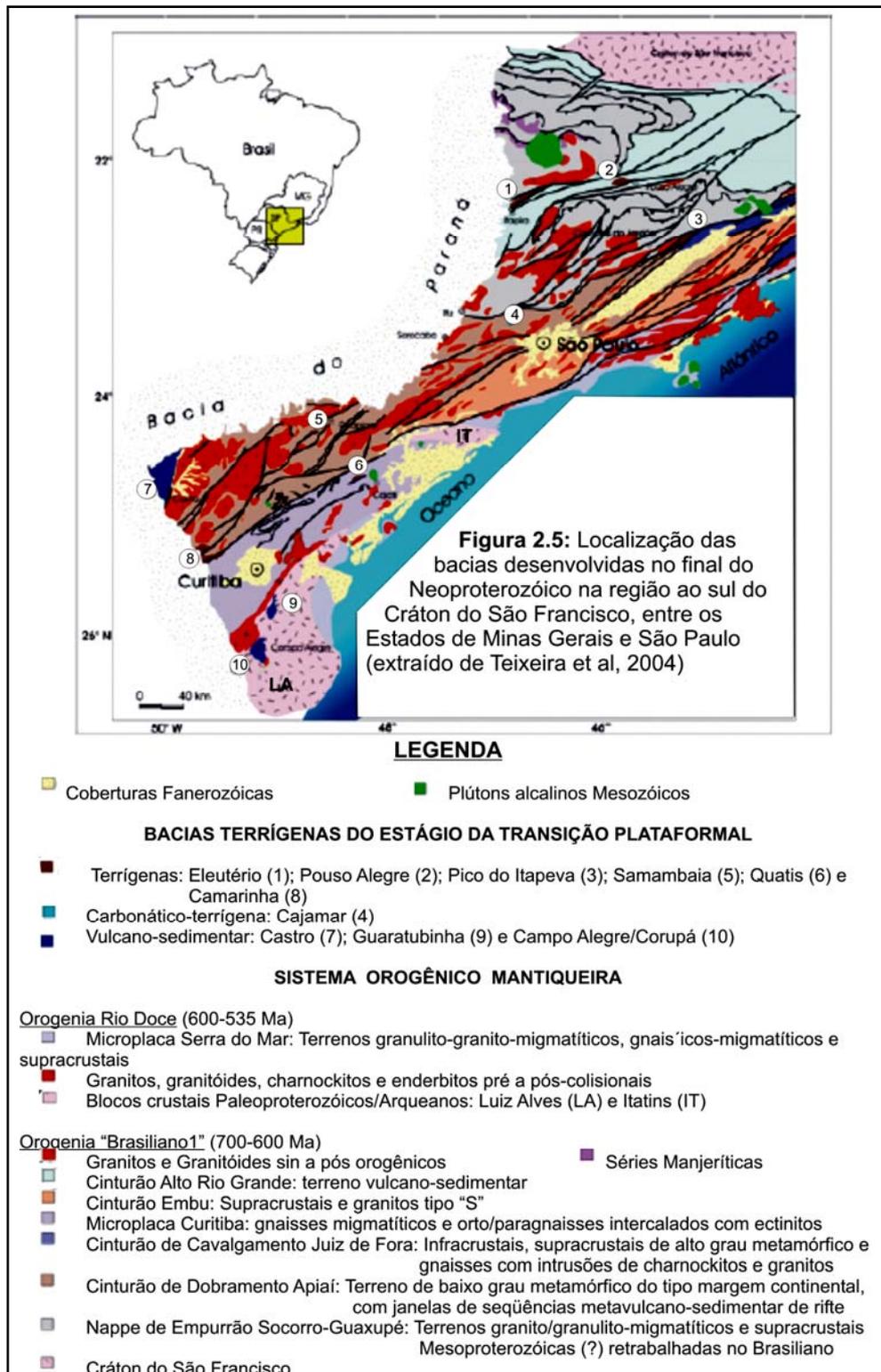
São reconhecidas duas seqüências deposicionais na MSA, separadas por uma discordância interna. A Seqüência Carrancas, inferior, é composta pelas associações de litofácies A1 à A4 enquanto a Seqüência Serra do Turvo, superior, é composta pela associação A5. Estas associações gradam lateralmente para a associação A6, que representa sucessões distais da bacia, depositada contemporaneamente às outras associações durante todo o período de sedimentação da Bacia Andrelândia (Paciullo *et al* 2003).

A interpretação destas associações de litofácies sugere uma bacia sedimentar de margem continental intraplaca (Ribeiro *et al.*, 1995; Paciullo, 1997). Análises geoquímicas dos anfíbolitos das associações 1, 2 e 6, indicam um magmatismo toleítico, com uma variação química que reflete dois estágios da evolução da Bacia Andrelândia: primeiro um magmatismo continental equivalente a fase rift da bacia, representado por anfíbolitos das três associações com química de basaltos continentais; posteriormente, um magmatismo da fase proto-oceânica, representado por anfíbolitos das associações 2 e 6, com química de basalto tipo P-MORB (Gonçalves & Figueiredo, 1992; Paciullo, 1997). A discordância interna que separa as seqüências Carrancas e Serra do Turvo é uma superfície erosiva gerada durante uma regressão marinha associada provavelmente com o período glacial do Ripheano tardio (980-850 Ma) (Paciullo *et al.*, 2000).

A Bacia Eleutério, estudada por Teixeira (1995), encontra-se a NW da cidade de Itapira (SP), limitada ao norte pela Zona de Cisalhamento de Jacutinga, intimamente ligada a sua formação (Fig. 2.5). Segundo este autor é uma bacia do tipo pull-apart preenchida por sedimentos oriundos, inicialmente, de sua borda NW e posteriormente da borda SE. São descritos sedimentos de sistemas de leques aluviais coalescentes transicionando para planícies aluviais limitada na porção distal por sedimentos de ambiente lacustre ou marinho. Esta bacia teria se desenvolvido no intervalo entre 600 e 530 Ma (Tab. 2.3). O limite máximo para a sedimentação é marcado pela presença na bacia de seixos de riolito que apresentaram idade mínima de cristalização de  $606 \pm 13$  Ma (zircão; U/Pb – SHRIMP, Teixeira *et al.*, 1999), e estão associados ao maciços da região de Morungaba, como o plúton Jaguarí (Vlach, 1993), desenvolvidos durante um estágio tardi-orogênico, em relação a Faixa Brasília. O limite mínimo para a sedimentação é marcado por idades K-Ar em rocha total em torno de 530 Ma (Tab 2.3) obtidas nos mesmos seixos de riolito de conglomerados da Bacia Eleutério, que foram metamorfizados no mesmo grau que a matriz e o restante dos metassedimentos da bacia (Teixeira, 1995) e em metamargas da Bacia Pouso Alegre (Hama & Cunha, 1977), correlacionada temporal e geneticamente a Bacia Eleutério (Leonardos Jr. *et al.*, 1971).

Em rochas sedimentares de origem pelítica das bacias Eleutério, Pouso Alegre, Pico do Itapeva e Cajamar (Fig. 2.5), foram encontrados registros fossilíferos que indicam uma sedimentação durante o limite Neoproterozóico-Cambiano (Gaucher *et al.*, 1996; Gaucher, 2000; Gaucher & Sprechmann, 1999). Nas bacias Eleutério e Pico do Itapeva ocorre o Acrítarcas *Cloudina riemkeae*

com espectro de existência determinado entre 565 e 543 Ma (Knoll, 1996). Baseado nestes dados Teixeira & Petri (2001) sugeriram que o melhor intervalo para a sedimentação das seqüências terrígenas e terrígenas-carbonáticas da região sudeste seria entre 570 e 540 Ma.

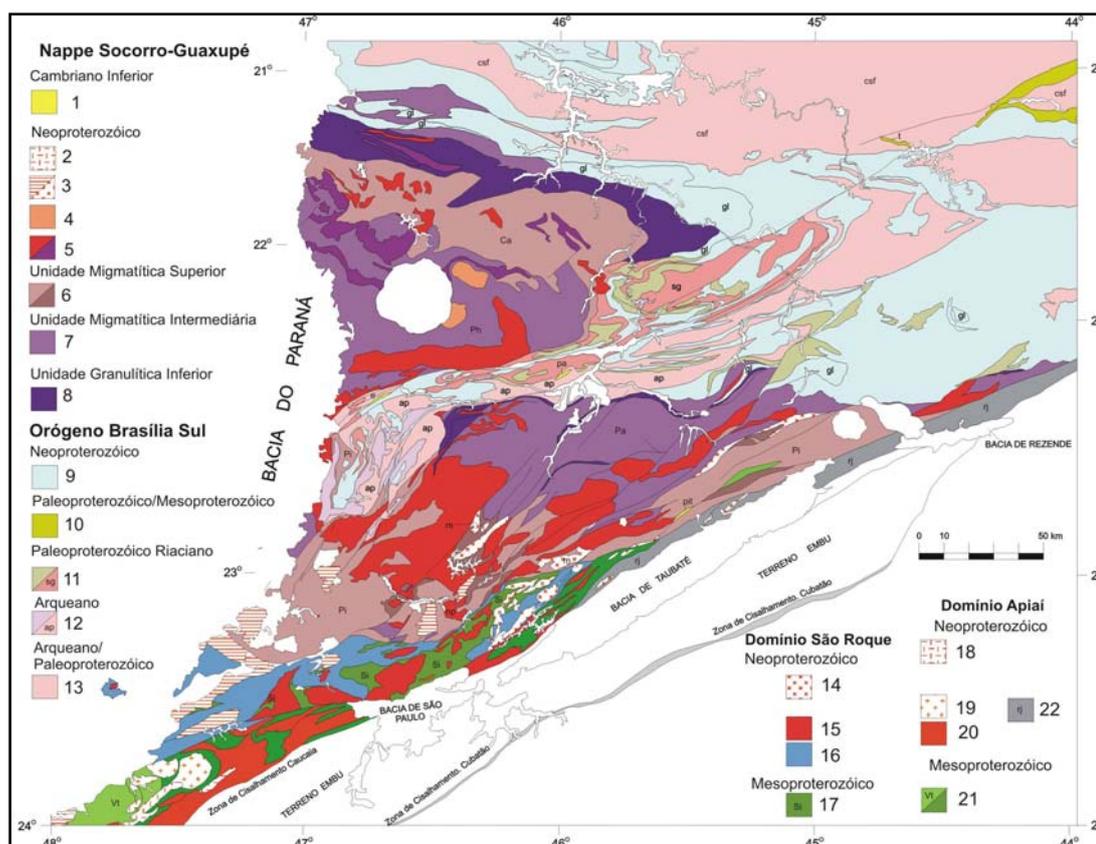


**Figura 2.5:** Localização das bacias desenvolvidas no final do Neoproterozóico na região ao sul do Cráton do São Francisco, entre os estados de Minas Gerais e São Paulo (extraído de Teixeira *et al*, 2004).

## 2.2.2 Nappe Socorro-Guaxupé (NSG)

A Nappe Socorro-Guaxupé representa a paleoplaca continental que se sobrepôs a paleoplaca Sanfranciscana durante a evolução da Faixa Brasília. É dividida em duas partes, ao norte a Nappe Guaxupé e ao sul a Nappe Socorro, com sucessões metassedimentares da Megasequência Andrelândia e rochas do seu embasamento alóctone ocorrendo entre e abaixo delas (Fig. 2.6). A descrição que segue abaixo é um resumo dos trabalhos de Campos Neto & Caby (1999, 2000).

A NSG é composta na base por granulitos enderbíticos intercalados com camadas de espessura decimétrica de gnaiss gabro-norítico, que gradam em direção ao topo para gnaisses tonalíticos a granodioríticos ricos em hornblenda e biotita-hornblenda, com muitas lentes decamétricas de metabasitos e bandas estromáticas de composição leuco-tonalítica a trondhjemitica. Este conjunto, com aproximadamente 3km de espessura, foi interpretado como derivado de protólitos ígneos de um arco magmático desenvolvido ao longo de uma paleomargem continental ativa (Campos Neto & Figueiredo, 1995). Algumas lentes de gnaisses peraluminosos de composição pelítica (grabada-biotita-espínélio) estão intercalados com os granulitos máficos, e mostram relações químicas de elementos maiores compatíveis com sedimentação oriunda de margem ativa (Campos Neto & Caby, 2000) .



**Figura 2.6:** Mapa Geológico da Nappe Socorro-Guaxupé e do Domínio São Roque (extraído de Heilbron *et al*, 2004).

Este conjunto basal grada em direção ao topo para um pacote com aproximadamente 6 km de espessura de gnaiss com textura migmatítica estromática. O mesossoma tem composição diorítica-tonalítica com hornblenda-biotita+clinopiroxênio, o leucossoma tem composição

trondhjemítica e o melanossoma é rico em minerais Fe-Mg. A textura estromática é descontínua e envolta por leucogranitos de granulometria grossa com biotita-hornblenda que transicionam para granitos porfiríticos deformados de dimensões batolíticas, com enclaves de gnaisses dioríticos-monozodiorítico e xenólitos de rocha calcissilicática com granada-diopsídio-escapolita. Entre estes batólitos ocorrem lentes de kinzigitos com espessura decamétrica (Campos Neto & Caby, 1999; 2000).

No topo os migmatitos intercalam-se com uma seqüência metassedimentar migmatizada composta por gnaisses bandados com granada-sillimanita-biotita que gradam para mica xistos peraluminosos. Subordinadamente ocorrem intercalações de quartzitos feldspáticos com sillimanita-muscovita e gnaisses ricos em quartzo, gnaisses calcissilicáticos, escassos mármore, Hornblenda-gnaisses e metaintrusivas máficas. (Campos Neto & Caby, 2000) .

### **2.2.3 Rochas Ígneas Intrusivas Neoproterozóicas**

Na região ao sul da borda meridional do Cráton do São Francisco ocorrem diversos corpos ígneos intrusivos de idades neoproterozóicas associados a diferentes episódios da evolução das faixas móveis Brasília e Ribeira. Assim estes corpos servem como importante ferramenta para posicionar cronologicamente fases deformacionais e eventos metamórficos relacionados à evolução das faixas supracitadas.

#### Magmatismo Neoproterozóico relacionado com a evolução da Faixa Brasília

Os dados apresentados a seguir foram sintetizados a partir dos trabalhos de Janasi (1999) e Campos Neto & Caby (1999, 2000).

#### Suítes Charnockíticas

Concentram-se na base da Nappe Socorro-Guaxupé, sendo encontradas em maior quantidade na Nappe Guaxupé e subordinadamente na Nappe Socorro. São corpos fortemente estirados e lineares de gnaisses de composição bastante variável, de norito a enderbito-charnockito e apresentam *trend* cálcio-alcálico de alto K. Apresentam megacristais de microclina e, subordinadamente, plagioclásio, e tem como minerais máficos ortopiroxênio, biotita e hornblenda (Campos Neto & Caby, 2000).

Estas rochas são o mais antigo registro de magmatismo neoproterozóico encontrado na Nappe Socorro-Guaxupé, com idades variando entre 667 e 643 Ma (Tab. 2.3). Segundo Janasi (1999) esse magmatismo representaria a raiz de um arco magmático continental gerado em um estágio pré-colisional, correspondendo a manifestações iniciais do magmatismo cálcio-alcálico sin-orogênico registrado por monzonitos e monzogranitos porfiríticos como os dos batólitos Socorro (Töpfer, 1996) e Pinhal-Ipuiúna (Janasi, 1999).

#### Suíte Mangerítica-granítica

Ocorre principalmente em uma faixa NW-SE na parte central da Nappe Guaxupé, denominada Suíte mangerítico-granítica São José do Rio Pardo, e subordinadamente na Nappe Socorro, na região de Ouro Fino (MG). São corpos de gnaisses, geralmente dobrados, localmente com forte foliação, apresentando variação composicional de mangerítica, com hiperstênio, a granítica. Podem ser subdivididas em: suíte Divinolândia, com rochas mais máficas onde predominam mangeritos, além de

charnockitos, quartzo- sienitos, piroxênio-dioritos e raros granitos; e suíte São Pedro de Caldas, caracterizada por uma seqüência mangeritos-hornblenda granito-granito hololeucocrático. As rochas da suíte Divinolândia possuem características químicas que as aproximam de rochas anorogênicas, enquanto as rochas da suíte São Pedro de Caldas apresentam características “transicionais” para rochas de série cálcio-alcálicas (Janasi, 1999) . Este magmatismo seria produto de fusão da crosta granulítica que compõe a base da Nappe Socorro Guaxupé (Janasi 1997).

#### Granitóides porfíricos cálcio-alcálicos

Encontram-se amplamente distribuídos por toda Nappe Socorro-Guaxupé, intrudindo principalmente rochas da Unidade Superior, apresentando íntima ligação com os migmatitos regionais. Estão representados pelos batólitos Socorro (Töpfner, 1996) e Pinhal-Ipuiúna (Janasi, 1999) compostos por (hornblenda-biotita-granada-quartzo) monzonitos a monzogranitos. Possuem abundantes enclaves máficos e pequenos corpos de gabro. Estas rochas seguem um trend cálcio-alcálico de alto K e apresentam caráter geralmente peraluminoso, com alguns corpos, com titanita e allanita primária entre os minerais acessórios apresentando caráter mataluminoso. Estas rochas seriam produto da fusão de rochas metassedimentares e subordinadamente metaígneas, que teria ocorrido em ambiente tectônico sin-orogênico, sendo consideradas como representantes de um arco magmático continental (Wernick, 1984; Janasi & Vasconcellos, 1989; Figueiredo e Campos Neto, 1984).

Tanto as suítes mangerítica-graníticas quanto os granitóides cálcio-alcálicos apresentam idades de cristalização entre 631 e 620 Ma (Tab. 2.3), compondo o arco magmático continental, relacionadas à subducção para W da paleoplaca do São Francisco. Este magmatismo seria contemporâneo ao pico térmico do metamorfismo principal registrado nas rochas metamórficas da NSG, de idades entre 629 e 620 Ma (Tab. 2.3). Idades entre 613 e 602 Ma também são encontradas em monazitas dos granitóides cálcio-alcálicos e representariam um resfriamento dos corpos abaixo da temperatura crítica de formação da monazita ou um novo evento termal ao redor de 610 Ma (Janasi, 1999).

#### Plútons Sieníticos

Este episódio magmático gerou corpos de forma subcirculares não deformados, como os maciços da Pedra Branca (Janasi *et al.*, 1993; Janasi & Vlach, 1997) e Capituva, encontrados apenas na Nappe Guaxupé. São constituídos principalmente por álcali feldspato sienitos, de caráter potássico, geralmente saturados a supersaturados em sílica. Estes plútons apresentam idades de cristalização entre 613 e 610 Ma (Tab. 2.3). São interpretados como oriundos de fracionamento de magma básico que não ascendeu ao nível de colocação dos corpos, ocorrido após importante deslocamento vertical da Nappe Socorro-Guaxupé e após o metamorfismo principal registrado em suas rochas (Janasi, 1999).

#### Granitos relacionados a zonas de cisalhamento

Ao longo da Nappe Socorro ocorrem plútons de composição variada, de sienogranito (Maciço granítico de Atibaia, Maciço Serra do Lopo, Jaguarí), a monzodiorito (Maciço Piracaia) que seguem *trend* cálcio-alcálico rico em potássio. Estes corpos apresentam idade de cristalização entre 590 e 580 Ma (Tab. 2.3). Tal magmatismo é considerado tardi-orogênico em relação ao desenvolvimento da NSG e está associado ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento de alto ângulo de direção predominante NE-SW, geralmente localizados em inflexões para direções NNE-SSW, geradas após o soergimento da Nappe Socorro-Guaxupé para níveis crustais mais rasos (Ebert *et al.*, 1995).

## **Magmatismo Neoproterozóico relacionado com a evolução da Faixa Ribeira**

Neste tópico será adotada a subdivisão em 5 estágios tectônicos de Heilbron *et al.* (2000) para o alojamento das rochas ígneas intrusivas relacionadas com a Faixa Ribeira. A descrição a seguir é essencialmente extraída dos trabalhos de Heilbron *et al.* (2000, 2004) e Heilbron e Machado (2003).

### **Estágio pré-colisional (630-595 Ma)**

Este estágio não possui representantes na zona de superposição entre as faixas móveis, sendo encontrado apenas no Terreno Oriental da Faixa Ribeira. Este magmatismo pré-colisional foi responsável pela geração de tonalitos-granodioritos e gabros toleíticos em ambiente de arco magmático (Arco Mágmatíco Rio Negro). Próximo aos contatos tectônicos estas rochas apresentam foliação e bandas miloníticas (Heilbron *et al.*, 2000).

### **Estágio Sin-colisional (595-565 Ma)**

Rochas intrusivas relacionadas a este estágio são encontradas desde o Terreno Oriental da Faixa Ribeira até a zona de superposição entre as duas faixas móveis. Geralmente são corpos alongados segundo a direção SW-NE, apresentando foliação e bandas miloníticas paralela à estruturação principal da Faixa Ribeira. São predominantemente granitóides tipo S, de caráter peraluminosos, e tipo I, metaluminosos, originados de retrabalhamento crustal de sucessões metassedimentares e de rochas ortoderivadas, respectivamente (Heilbron *et al.*, 2000). Apresentam uma variedade composicional desde granada-biotita granodiorito até leucogranitos. São subalcalinas e alinham-se em *trend* evolutivo cálcio-alcalino. São compatíveis com rochas geradas em ambiente sin-colisional (Tupinambá, 1999).

Estão representados pelos plútons Granito Rio Turvo, Granito Funil (Pereira *et al.*, 2001a), Granito Mendanha e Granitóide Marins (Pereira *et al.*, 2001b).

### **Estágio Tardi-colisional (565 – 540 Ma)**

Neste estágio houve a geração de muitos granitos tipo I de caráter metaluminoso, apresentando enclaves de rocha básica, e em menor quantidade leucogranitos tipo S, peraluminosos. São granada-biotita granitóides com composição variando de granodiorítica a granítica, e em geral apresentam fraca foliação descontínua. Estes corpos teriam sido originados a partir de retrabalhamento crustal de rochas do embasamento e de sucessões metassedimentares, respectivamente. O principal corpo desta fase é o Batólito da Serra dos Órgãos (Heilbron *et al.*, 2000; Heilbron & Machado, 2003).

### **Estágio Pós-colisional (540-520 Ma)**

Neste estágio foram gerados batólitos e *stocks* de leucogranitos com caráter metaluminoso a levemente peraluminoso, que seguem um *trend* de diferenciação cálcio-alcalino e plotam em campos de ambientes sin-colisionais a tardi-colisionais em vários gráficos de ambiência tectônica (Tupinambá, 1999; Almeida, 2000). Formam diques e plútons subverticais relacionados com zonas de cisalhamento, apresentando fraca foliação nas bordas. Estes corpos seriam produto de retrabalhamento crustal de rochas do embasamento e de sucessões metassedimentares (Heilbron *et al.*, 2000; Heilbron & Machado, 2003).

### Estágio Pós-tectônico (< 520 Ma)

Neste estágio ocorreu a geração de plútons de granitóides cálcio-alcálicos a alcali-cálcicos associados a gabros e dioritos de afinidade toleítica, sem registro de foliação. Alguns dos representantes deste estágio são os plútons da Pedra Branca, Nova Friburgo e Sana. Estes corpos são detectados apenas no terreno oriental (ACRN e Domínio Cabo Frio), não possuindo representantes na zona de superposição.

**Tabela 2.3:** Compilação de dados disponíveis na literatura sobre análises geocronológicas realizadas em rochas do extremo sul da Faixa Brasília, do segmento central da Faixa Ribeira e da zona de interferência entre as faixas. Abreviações minerais segundo Kretz (1983). Outras abreviações: Ev - evaporação; I.S. - intercepta superior; I.I. - intercepta inferior; conc. - concordante; RT - rocha total; Min. - idade mínima; DC - Domínio Costeiro; DPF - Domínio Paraíba do Sul; DJF - Domínio Juiz de Fora; DA - Domínio Andrelândia; bc. - Bacia; RJ - Rio de Janeiro. Autores: (1) Kröner in Campos Neto & Caby (2000); (2) Basei *et al.* (1995); (3) Janasi (1999); (4) Topfner (1996); (5) Vlach (1993); (6) Ebert *et al.* (1995); (7) Tassinari (1988); (8) Janasi (1986); (9) Teixeira inédito, in (3); (10) Fetter *et al.* (2003); (10) Trouw & Pankhurst (1993); (12) Machado *et al.* (1996); (13) Teixeira *et al.* (1999), (14) Teixeira (1995); (15) Hama & Cunha (1977); (16) Tupinambá *et al.* (2000); (17) Cordani *et al.* (1973); (18) Heilbron & Machado (2003); (19) Pereira *et al.* (2001a); (20) Pereira *et al.* (2001b); (21) Söllner *et al.* (1991); (22) Silva (2001); (23) Pires *et al.* (1982).

| Unidade                                       | Litologia / Localização                                    | Método - Material                   | Idade (Ma)   | Interpretação                                      |
|---|--|-------------------------------------|--|--|
| Suíte Charnockítica                           | charnockito<br>charnockito                                 | U-Pb (Ev) - zircão<br>U-Pb - zircão | <sup>(1)</sup> 667 ± 17<br><sup>(2)</sup> 643 ± 12       | cristalização<br>cristalização                     |
| Suíte Mangerítica -Granítica                  | Mangeritos /<br>Divinolândia                               | U-Pb - zircão                       | <sup>(2)</sup> 625 ± 7                                   | cristalização                                      |
| Granitóides                                   | Granito tipo Nazaré Paulista                               | U-Pb - monazita<br>U-Pb - zircão    | <sup>(3)</sup> 623,3 ± 3,1<br><sup>(3)</sup> 631,5 ± 4,8 | cristalização<br>cristalização                     |
| Cálcio-alcálicos                              | Batólito Socorro   | U-Pb - zircão<br>U-Pb - monazita    | <sup>(2)</sup> 629 ± 8<br><sup>(3)</sup> 623,6 ± 1,9     | cristalização<br>resfriamento x novo evento termal |
|   | Ms-Bt-leucogranito   | U-Pb - zircão e monazita            | <sup>(3)</sup> 626,4 ± 4,4                               | cristalização                                      |
|   | Granito tipo Pinhal  | U-Pb - monazita                     | <sup>(3)</sup> 602,7 ± 2,7                               | cristalização                                      |
|   |  | U-Pb - zircão<br>U-Pb - monazita    | <sup>(3)</sup> 624,6 ± 3,0<br><sup>(3)</sup> 613 ± 5     | cristalização<br>resfriamento x novo evento termal |
|   | U-Pb - monazita  | <sup>(3)</sup> 607,3 ± 2,5          | resfriamento x novo evento termal                        |  |
| Plútons Sieníticos                            | Maciço Sienítico Pedra Branca<br>Maciço Sienítico Capituva | U-Pb - zircão<br>U-Pb - zircão      | <sup>(4)</sup> 613 ± 3<br><sup>(3)</sup> 610 ± 3         | cristalização<br>cristalização                     |
| Granitos relacionados a Zonas de cisalhamento | Pluton Jaguari - Morungaba                                 |                                     | <sup>(5)</sup> 610 ± 10                                  | Cristalização                                      |
|   | Maciço Serra do Lopo                                       |                                     | <sup>(6)</sup> 595 ± 12                                  | cristalização                                      |
|   | Sienogranito - Batólito Itú                                |                                     | <sup>(7)</sup> 586 ± 10                                  | cristalização                                      |
|   | Maciço Piracaia  | U-Pb - zircão<br>Rb-Sr              | <sup>(3)</sup> 577 ± 2<br><sup>(8)</sup> 586 ± 13        | cristalização<br>cristalização                     |
|   | Granulito - Piranguinho                                    | Sm-Nd (Grt-Bt-RT)                   | <sup>(9)</sup> 629 ± 14                                  | Metamorfismo MB                                    |
|   | Metassedimento - Atibaia                                   | Rb-Sr                               | <sup>(7)</sup> 620 ± 15                                  | Metamorfismo MB                                    |
|   | Gnaiss -Silvianópolis                                      | U/Pb - monazita                     | <sup>(10)</sup> 609 ± 2 Ma                               | Metamorfismo MB                                    |
| MSA embasamento                               | Grt-ky-Kfs granulito                                       | Sm-Nd - Grt x RT                    | <sup>(11)</sup> 604 ± 16                                 | Metamorfismo MB                                    |
|   | hbl-bt gnaiss migmatítico (DA)                             | U-Pb - titanita (conc.)             | <sup>(12)</sup> 604 ± 4                                  | metamorfismo                                       |
|   | Bt gnaiss (DPS)  | U-Pb - zircão (conc.)               | <sup>(12)</sup> 604 ± 3                                  | metamorfismo                                       |
| MSA   | Quartzito  | U-Pb - monazita                     | <sup>(12)</sup> 611 (Min.)                               | resfriamento metamórfico                           |
| Bc. Eleutério                                 | Seixo sienito  | U-Pb - zircão (SHRIMP)              | <sup>(13)</sup> 606 ± 13                                 | Cristalização do sienito                           |
|   | Seixo sienito  | K-Ar - RT                           | <sup>(14)</sup> 530,5 ± 14,5                             | resfriamento metamórfico                           |

continua...

...continuação

| Unidade                       | Litologia /<br>Localização                           | Método - Material       | Idade (Ma)  | Interpretação                   |
|-------------------------------|--|-------------------------|---|---------------------------------|
| Bc. Pouso Alegre              | metamarga  | K-Ar - RT               | <sup>(15)</sup> 524 ± 20                                  | metamorfismo                    |
| Arco Magmático Rio Negro      | Tonalito - Cantagalo (RJ)<br>Leucossoma em kinzigito | U-Pb - (I.S.)           | <sup>(16)</sup> 635 ± 10                                  | Cristalização pré-colisional    |
|                               |  | U-Pb - (I.S.)           | <sup>(17)</sup> 620 ± 10                                  | Cristalização pré-colisional    |
|                               |  | U-Pb - zircão (I.S.)    | <sup>(18)</sup> 633 ± 5                                   | Cristalização pré-colisional    |
|                               |  | U-Pb - zircão (I.S.)    | <sup>(18)</sup> 623 ± 5                                   | Fusão parcial de metassedimento |
| Granitóides Sin-colisionais   | Granito Mendanha (MG)                                | Pb-Pb (Ev) - zircão     | <sup>(19)</sup> 592 ± 5                                   | Cristalização                   |
|                               | Granito Funil  | Pb-Pb (Ev) - zircão     | <sup>(20)</sup> 584 ± 5                                   | Cristalização                   |
|                               | Gnaiss Facoidal - RJ                                 | U-Pb - zircão (I.S.)    | <sup>(18)</sup> 578 ± 19                                  | Cristalização                   |
|                               | Leucognaiss intrusivo no Arco                        | U-Pb - zircão (conc.)   | <sup>(18)</sup> 576 ± 2                                   | Cristalização                   |
|                               | Magmático Rio Negro                                  | U-Pb - monazita (conc.) | <sup>(18)</sup> 571 + 14/-15                              | Cristalização                   |
|                               | Granito Rio Turvo                                    |                         | <sup>(12)</sup> 579 ± 6                                   | Cristalização                   |
|                               | Bt-hbl gnaiss migmatítico(DC)                        | U-Pb - zircão (conc.)   | <sup>(12)</sup> 589 ± 8                                   | Cristalização                   |
|                               | Bt-Hbl gnaiss (DPS)                                  | U-Pb - titanita (conc.) | <sup>(12)</sup> 584 ± 3                                   | Metamorfismo MR1                |
|                               | Hbl gnaiss - Valença (DPS)                           | U-Pb - zircão (I.I.)    | <sup>(12)</sup> 571 ± 3                                   | Metamorfismo MR1                |
|                               | Quartzito feldspático (DJF)                          | U-Pb - monazita (conc.) | <sup>(12)</sup> 579 ± 4                                   | Metamorfismo MR1                |
|                               |  |                         | <sup>(12)</sup> 572 ± 5                                   | Metamorfismo MR1                |
|                               | Granulito félsico (DJF)                              | U-Pb - monazita (conc.) | <sup>(12)</sup> 563 ± 3                                   | Metamorfismo MR1                |
|                               | (embasamento)  | U-Pb - zircão (I.I.)    | <sup>(12)</sup> 579                                       | Metamorfismo MR1                |
|                               | Bt-grt-sil-cdr paragnaisse (DA)                      | U-Pb - monazita (conc.) | <sup>(12)</sup> 581 ± 3                                   | Metamorfismo MR1                |
|                               | Migmatização de sucessão metassedimentar (DC)        | I.S.                    | <sup>(21)</sup> 575 + 2/-4<br><sup>(21)</sup> 580 + 20/-6 | Metamorfismo MR1                |
|                               | Enderbitto (DC)                                      | I.S.                    | <sup>(21)</sup> 565 + 5/-12                               | Metamorfismo MR1                |
| Granitóides Tardi-colisionais | Batólito Serra dos Orgãos                            | U-Pb - zircão (I.S.)    | <sup>(16)</sup> 560 ± 4                                   | Cristalização                   |
|                               | Gnaiss Facoidal (RJ)                                 | U-Pb (SHRIMP)<br>zircão | <sup>(22)</sup> 560 ± 7<br><sup>(21)</sup> 559 ± 4        | Cristalização                   |
|                               | sucessão metassedimentar(DC)                         | U-Pb - zircão           | <sup>(21)</sup> 519 + 10/-16                              | Metamorfismo MR2/Migmatização   |
|                               | Hbl gnaiss - Valença (DPS)                           | U-Pb - titanita (conc.) | <sup>(12)</sup> 535 ± 12                                  | Metamorfismo MR2                |
|                               | bandas leucograníticas - idem                        | U-Pb - titanita (conc.) | <sup>(12)</sup> 521 ± 9                                   | Metamorfismo MR2                |
|                               | bt-hbl gnaiss migmatítico (DC)                       | U-Pb - zircão (conc.)   | <sup>(12)</sup> 532 ± 8                                   | Metamorfismo MR2                |
|                               | Granito Getulândia (DPS)                             | U-Pb - monazita (conc.) | <sup>(12)</sup> 527 ± 3                                   | Cristalização pós-colisional    |
|                               |  |                         | <sup>(12)</sup> 535 ± 3                                   | Sin DR3                         |
|                               | Pegmatito - Maciço Pedra Branca                      | U-Pb - zircão+monazita  | <sup>(18)</sup> 513 ± 5                                   | cristalização                   |
|                               | Dique granítico                                      | U-Pb - zircão (conc.)   | <sup>(18)</sup> 482 ± 6                                   | cristalização                   |
|                               | Granito Mangaratiba                                  | U-Pb - zircão           | <sup>(12)</sup> 492 ± 15                                  | cristalização                   |
|                               | Granito Favela                                       | Rb-Sr - Rocha Total     | <sup>(23)</sup> 482 ± 31                                  | cristalização                   |

#### 2.2.4 Estruturas Deformacionais

As rochas proterozóicas e arqueanas da região ao sul da borda meridional do Cráton do São Francisco apresentam registro de várias fases deformacionais relacionadas com a evolução das faixas Brasília e Ribeira durante o Neoproterozóico. Neste trabalho serão adotadas as denominações de Ribeiro *et al.*, (1995) e Trouw *et al.* (2000) .

A primeira fase deformacional relacionada a Faixa Brasília (DB1) foi reponsável pelo deslocamento da Nappe de Passos e da Klippe Carrancas com movimento de topo para ESE gerando superfícies de empurrão, foliação (SB1), lineação (LB1). Na maior parte da região SB1 foi transposta pela fase posterior, estando preservada na Klippe Carrancas, uma fatia de metassedimentos da MSA, colocada tectonicamente sobre um domínio autóctone (Pacciulo 1997).

Na segunda fase relacionada à Faixa Brasília (DB2) ocorreu o desenvolvimento de um sistema de nappes com transporte tectônico de topo para ENE, estruturado num sinformal aberto, com eixo de baixo caimento para WSW. Na região de Três Corações são identificadas sete nappes que da base para o topo são: Luminárias, São Tomé das Letras, Carmo da Cachoeira, Cambuquira, Lambari, Varginha e Socorro-Guaxupé. O desenvolvimento deste sistema de nappes causou o dobramento da Klippe Carrancas em um sinformal fechado com eixo variando de E-W a SE-NW.

Durante esta fase desenvolveram-se a foliação principal (SB2), lineações de estiramento e mineral (LB2) e dobras fechadas a isoclinais nas rochas envolvidas no sistema de nappes. Estas dobras, de escala desde microscópica até megascópica, associadas com os empurrões, evidenciam o caráter dúctil da deformação.

A foliação (SB2) é uma xistosidade contínua, espaçada ou anastomosada, dependendo da litologia na qual se desenvolve. É definida pela orientação preferencial de micas, cianita, sillimanita, anfibólio, piroxênios, quartzo e estauroлита. Em geral SB2 é subparalela ao acamamento e ao bandamento composicional das rochas, entretanto, em lugares onde SB1 ainda é reconhecível SB2 apresenta-se como uma clivagem de crenulação.

A lineação mineral (LB2) é bem evidente nas rochas mais xistosas e a lineação de estiramento nos gnaisses, quartzitos e veios de quartzo. Ambas lineações apresentam uma constância na direção, com caimento suave para SW, entretanto também observam-se lineações LB2 com caimento de poucos graus para SSW e NE, devido a superposição da fase posterior. No topo da Nappe Varginha LB2 se dispõem em leque, com direções aproximadamente ortogonais ao contato basal da Nappe Guaxupé, sendo esta distribuição provavelmente relacionada com o posicionamento desta nappe sobre as demais (Peternel, 2000) .

As dobras de DB2 são assimétricas, fechadas a isoclinais, com plano axial de baixo mergulho, subparalelo à foliação principal. Os eixos têm caimento suave geralmente ortogonais à direção geral de LB2. Porém também apresentam direção paralela a LB2, que podem ser interpretadas como dobras obliquas (*oblique folds*, Passchier, 1986) .

Bandas de cisalhamento do tipo S-C', estruturas do tipo *fish* de muscovita, cianita e piroxênio, *foliation fish* de muscovita e lentes de quartzo estirados são alguns dos indicadores cinemáticos relacionados a DB2.

Segundo Heilbron *et al* (2000, 2004) as duas primeiras fases deformacionais relacionadas à Faixa Ribeira (DR1+DR2) são contínuas e correspondem a uma compressão NW-SE que gerou zonas de cisalhamento reversas com transporte tectônico de topo para NW e dobras de escala regional, geralmente abertas apresentando planos axiais com traço NE-SW e eixos de caimento suave para WSW. Nesta fase a foliação principal SB2 foi localmente crenulada e dobrada. Uma foliação milonítica (SR1+2) que transpõe a foliação SB2, desenvolveu-se ao longo das zonas de cisalhamento. As dobras desta fase são simétricas na região de Três Corações-Varginha e apresentam uma suave assimetria sugerindo vergência para NW, na região de Lambarí-Cambuquira, demonstrando aumento na intensidade da deformação na direção SE (Oliveira Castro, 1997; Peternel, 2000). Este dobramento é coaxial a algumas dobras DB2, diferenciando-se pelo estilo das dobras e pela orientação íngreme das superfícies axiais, ortogonais à foliação SB2.

Segundo Heilbron *et al* (2000, 2004) a terceira fase da Faixa Ribeira (DR3) desenvolveu-se durante uma compressão E-W, gerando dobras abertas com eixo N-S e plano axial vertical e zonas de cisalhamento subverticais destrais com direção NE-SW, que truncam e deslocam todas as estruturas pré existentes. Ao longo destas zonas ocorrem milonitos e cataclasitos que registram um comportamento reológico dúctil-rúptil das rochas envolvidas. Os planos miloníticos (SR3) têm mergulho íngreme a subvertical geralmente para SE, contendo uma lineação de estiramento (LR3) com caimento suave para NE. Indicadores cinemáticos e o padrão de deslocamento e deflexão das estruturas antigas mostram que o principal componente de movimento destas zonas de cisalhamento é horizontal dextral, com deslocamento estimado entre 12 e 20 km (Almeida, 1994, Peternel, 2000, Trouw *et al*, 2003; Trouw, 2004). Na zona de cisalhamento Três Corações ainda ocorre um deslocamento vertical secundário, com abatimento do bloco sul em relação ao bloco norte (Almeida, 1994; Peternel, 2000) que poderia estar relacionado a esta fase deformacional ou em parte ser uma reativação durante o mesozóico relacionada a fase de rifteamento e abertura do Oceano Atlântico.

Ainda segundo Heilbron *et al* (2000, 2004) uma quarta fase deformacional da Faixa Ribeira (DR4) gerou dobras abertas com plano axial íngreme e eixo caindo suave para N ou S, indicativo de uma compressão E-W. Esta fase está melhor registrada no segmento central da Faixa Ribeira, fora da zona de superposição.

Ribeiro *et al*. (1990) identificaram três domínios tectônicos pré-cambrianos (Fig. 2) na região ao sul da borda meridional do Cráton do São Francisco:

**Domínio I - autóctone** - corresponde à transição do antepaís do São Francisco para a porção autóctone da zona orogênica. A deformação aumenta de norte para sul, isto é, para o interior da zona orogênica;

**Domínio II - alóctone** - predomina a sucessão de *nappes* e escamas empurradas, geradas pela indentação da Nappe Socorro-Guaxupé e relacionadas à evolução da Faixa Brasília. Subordinadamente ocorrem estruturas relacionadas à Faixa Ribeira, como zonas de cisalhamento destrais subverticais e dobras abertas assimétricas com plano axial subvertical, ambos com rumo SW-NE, que deformam as estruturas anteriores.

**Domínio III - alóctone** - representa a zona de maior superposição entre as faixas Brasília e Ribeira. A Nappe Liberdade é uma estrutura importante deste domínio, que sintetiza seu padrão

tectônico: indicadores cinemáticos registram transporte tectônico para NE, relacionado à evolução da Faixa Brasília, sobreposto por outro, com transporte para NW, relacionado à Faixa Ribeira. Neste domínio as dobras relacionadas a Faixa Ribeira ficam gradualmente mais fechadas quando se avança para SE e as zonas de cisalhamento destrais subverticais de direção SW-NE se tornam mais freqüentes.

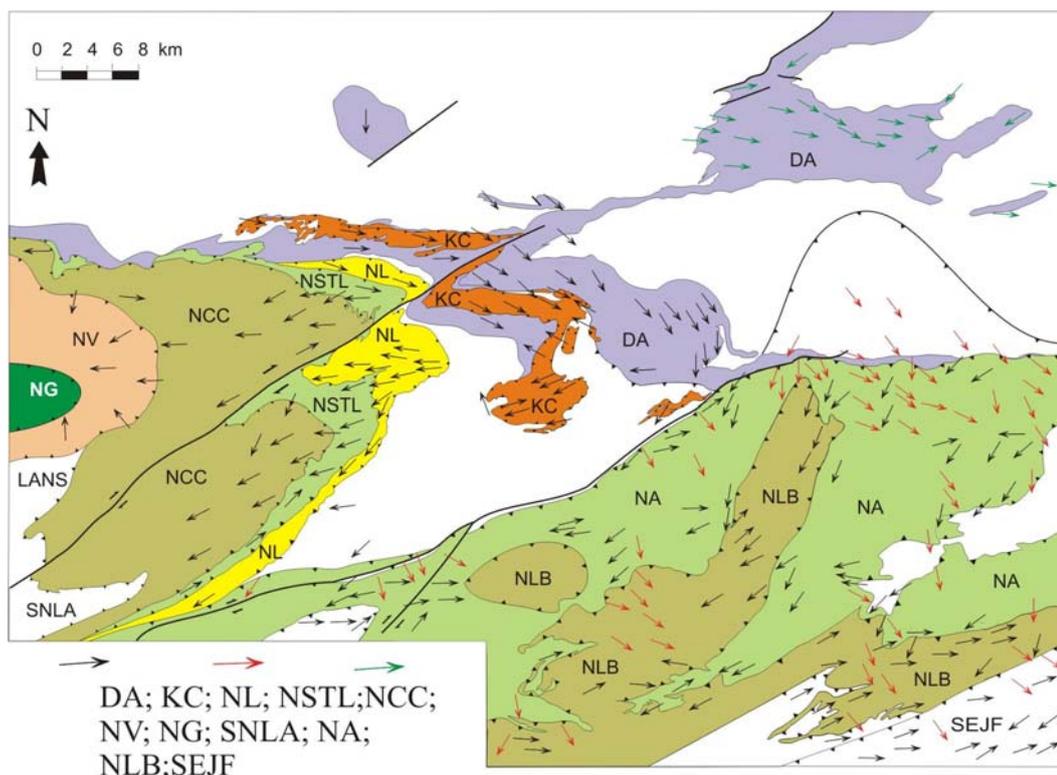
Segundo Almeida & Ebert (1998) a Nappe Socorro-Guaxupé (NSG) está estruturada em um megassinformal separado em dois segmentos por um antiformal no qual afloram rochas das unidades sotopostas. Ao norte a NSG é limitada pelo Cinturão transcorrente Campo do Meio, formado por diversas zonas de cisalhamento de alto ângulo, com direção WNW-ESSE e movimento sinistral. Ao sul é limitada pelo Cinturão transcorrente Rio Paraíba do Sul, formado por zonas de cisalhamento de direção NE-SW com movimentação dextral.

No domínio da Nappe Socorro-Guaxupé (NSG) Campos Neto & Caby (1999, 2000) descrevem uma foliação principal com baixo mergulho para SW desenvolvida sob condições de temperatura alta, apresentando lineações minerais e de estiramento que indicam transporte tectônico com movimento de topo para E. Segundo estes autores esta fase deformacional está associada com o metamorfismo principal registrado nas rochas da NSG Posteriormente estas estruturas são cortadas por zonas de cisalhamento de alto ângulo de direção principal NE-SW com inflexões para NNE-SSW. Garcia & Campos Neto (1997) reconhecem um movimento inicial lateral sinistral ao longo destas zonas de cisalhamento, sob condições metamórficas de grau médio, que teria propiciado domínios transtensivos nas áreas de inflexão possibilitando a ascensão e alojamento de alguns plútons. Posteriormente teria ocorrido uma retomada dos movimentos laterais, agora com sentido dextral e sob condições de temperatura mais baixa que o anterior (Garcia & Campos Neto, 1997).

Relação semelhante entre movimentos de zonas de cisalhamento sinistrais e destrais é descrita por Teixeira (1995, 2000), Campanha (1991) e Riccomini (1993) para a abertura e fechamento da bacia Eleutério, Samambaia e Pico do Itapeva, respectivamente. A abertura desta bacia estaria associada a movimentos laterais sinistrais ao longo de zonas de cisalhamento com rumo geral NE-SW e inflexões locais para NNE-SSW. Nestas áreas de inflexão ocorreriam domínios transtensivos possibilitando o abatimento de blocos e formação de bacias sedimentares. O fechamento da bacia ocorreu em uma segunda fase deformacional, com a retomada dos movimentos ao longo das mesmas zonas de cisalhamento, agora com deslocamentos laterais destrais. Esta fase gerou, nos metassedimentos da bacia, uma foliação (S1) marcada pela orientação de minerais metamórficos como muscovita (sericita) e clorita.

### **2.2.5 Metamorfismo**

Ebert (1971), Trouw *et al.* (1980, 1984, 1986), Ribeiro & Heilbron (1982) e Heilbron (1984, 1985) reconheceram metamorfismo regional progressivo, do tipo barroviense, nos metassedimentos proterozóicos do sul de Minas Gerais. O metamorfismo aumentaria de norte para sul, desde fácies xisto verde médio à anfíbolito alto e granulito (Fig. 2.7). Dois eventos metamórficos foram reconhecidos (cf. Ribeiro *et al.*, 1995; Oliveira Castro & Trouw, 1996) : O primeiro, MB, que atingiu fácies granulito de pressão relativamente alta está associado a evolução da Faixa Móvel Brasília (Fig. 2.7).



**Figura 2.7:** Mapa estrutural simplificado da extremidade meridional da Faixa Brasília, com discriminação das nappes desenvolvidas nas fases deformacionais DB1 e DB2: Nappes de alta Temperatura: NG - Nappe Guaxupé; Nappes de pressão média a alta: NV - Nappe Varginha, NLB - Nappe Liberdade, NCC - Nappe Carmo da Cachoeira, NA - Nappe Andrelândia, NSTL - Nappe São Tomé das Letras, NL - Nappe Luminárias, KC - Kippe Carrancas; DA - Domínio Autóctone; SEJF - Sistema de Empurrão Juiz de Fora, relacionado com a Faixa Ribeira. Setas pretas: Eixos de dobra e lineações de estiramento das fases DB1 e DB2 da Faixa Brasília; Setas Vermelhas: Eixos de dobra e lineações de estiramento das fases DR1 + DR2 d Faixa Ribeira; Setas Verdes: Eixos de dobra e lineações de estiramento do Domínio Autóctone (Modificado de Trouw *et al*, 2000).

No domínio autóctone e nas nappes São Tomé das Letras à Lambarí são encontradas em metapelitos da MSA associações metamórficas com granada+biotita(ou cloritóide)+ muscovita+ clorita +quartzo +rutilo+Albita/oligoclásio e granada +biotita +estauroлита+ cianita+muscovita+ quartzo+rutilo+oligoclásio que caracterizam as facies xisto verde alto e anfíbolito, respectivamente (Ribeiro *et al*, 1995; Peternel, 2000) . As isógradas granada-*in*, estauroлита/cianita-*in* / cloritóide-*out* que delimitam estas facies encontram-se truncadas e deslocadas por empurrões das fases DB1 e DB2, indicando que este evento já atuava desde cedo sin-DB1 (Peternel, 2000). Na Nappe Varginha e nas klippes Carvalho e Aiuruoca são encontrados registros de facies granulito de pressão relativamente alta em litologias da associação A6: metapelitos com cianita+K-feldspato+granada+rutilo+quartzo e rochas metabásicas com clinopiroxênio+ hornblenda+ granada+plagioclásio+quartzo (Oliveira Castro & Trouw, 1996; Peternel, 2000).

No topo da Nappe Varginha encontra-se silimanita prismática orientada segundo a foliação SB2 no lugar da cianita, entretanto está ainda é observada como inclusão em granadas. Esta relação indica que estas rochas passaram por condições de pressão mais elevada antes do crescimento da silimanita, o que provavelmente estaria relacionado com a decompressão ocorrida durante a exumação da nappe para posições mais rasas na crosta (Peternel, 2000). Eclogitos e retro-eclogitos compostos por clinopiroxênio+granada+ anfíbolio+rutilo+quartzo ocorrem localmente

intercalados nos cianita-K-feldspato granulitos na região entre Andrelândia, Liberdade e Caxambu (Ribeiro *et al*, 1995), na Nappe Varginha (Campos Neto & Caby, 1999) ao norte de Pouso Alegre (Choudhuri *et al*, 1978), indicando que estas rochas passaram por um estágio de pressão mais elevada antes do equilíbrio em facies granulito durante o metamorfismo relacionado a Faixa Brasília. Parkinson *et al* (2001) reconheceram pela primeira vez que os cianita-K-feldspato granulitos da Nappe Varginha passaram por um estágio de pressão ultra-alta (UHP), indicado pela presença de coesita inclusa em cristal de zircão. Estes autores também reconheceram feições semelhantes a texturas de descompressão encontradas em rochas que passaram por estágio de UHP: a) granada com ex-solução rutilo, e possivelmente clinopiroxênio e apatita, que foi descrito por Ye *et al* (2000) em eclogitos de UHP do Terreno Dabie, na China; b) apatita com ex-solução de monazita, descrito por Zhang & Liou (1999) em rochas metamorfizadas sob UHP no Maciço Kokchetav, no Kazaquistão, e no Terreno Dabie, na China. As isógradas K-feldspato-*in* / muscovita-*out* e silimanita-*in*, associadas a facies granulito, acompanham ou coincidem com as superfícies de empurrão DB2, indicando uma contemporaneidade entre a atuação de condições de pressão e temperatura mais elevadas e o auge da deformação relacionada a Faixa Brasília.

O segundo evento, MR, vinculado à Faixa Ribeira, na zona de superposição alcançou condições de facies anfibolito em condições de pressão mais baixa que MB. A associação metamórfica sillimanita(fibrosa)+granada+biotita+estaurolita é encontrada em metapelitos das associações A5 e A6 nos domínios II e III, sendo característica deste evento. Além disso, também ocorre, localmente no domínio III, cordierita em metapelitos. A proporção silimanita / cianita aumenta de norte para sul e as isógradas de silimanita-*in* e cianita-*out* relacionadas com MR corta as superfícies de empurrão DB2 e acompanha as zonas de cisalhamento da fase DR2. Esta relação indica que o surgimento da silimanita é nitidamente posterior ao desenvolvimento da faixa Brasília e contemporâneo a evolução da Faixa Ribeira.

Trouw & Pankhurst (1993) ratificaram a relação entre metamorfismo e deformação descrita em Ribeiro *et al*. (1990; M<sub>B</sub> com D<sub>B1</sub>+D<sub>B2</sub> e M<sub>R</sub> com D<sub>R</sub>), associando as diversas fases à pulsos distintos do ETT Brasileiro, o que foi posteriormente corroborado por Machado *et al.*, (1996), demonstrando a existência de pelo menos dois pulsos tectono-metamórfico distintos relacionado ao ETT Brasileiro no sul do Cráton de São Francisco.

As rochas da base da Nappe Socorro-Guaxupé apresentam associações metamórficas indicativas de facies granulito de temperatura alta, com ortopiroxênio, clinopiroxênio, granada, plagioclásio e quartzo em rochas máficas e granada, silimanita, cordierita, espinélio, biotita, plagioclásio e quartzo em metapelitos (Campos Neto e Caby, 2000) .

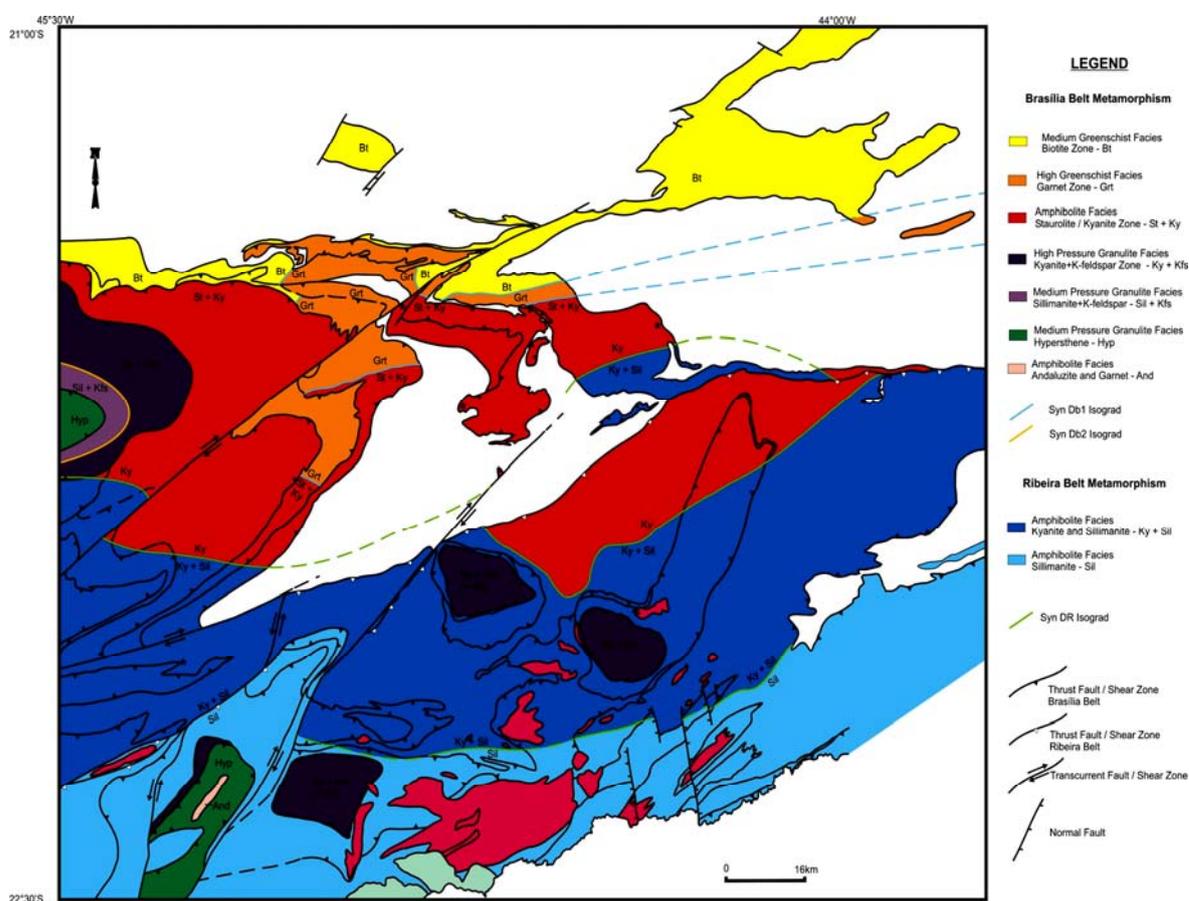
Segundo Janasi (1999) na NSG idades entre 629 e 620 Ma (Tab. 2.3) são atribuídas ao metamorfismo principal registrado, responsável pela formação dos granulitos basais e da migmatização das unidades superiores. Este metamorfismo é contemporâneo ao magmatismo que gerou as suítes mangerítica-graníticas e os granitóides cálcio-alcálicos.

Nas sucessões metassedimentares da MSA e em rochas ortoderivadas do seu embasamento Trouw & Pankhurst (1993) e Machado *et al*. (1996) reportam idades entre 604 e 611 Ma (Tab. 2.3) interpretadas como relacionadas a um evento metamórfico. Segundo Trouw & Pankhurst (1993)

representariam o estágio inicial do metamorfismo de alta pressão MB ligado a Faixa Brasília, enquanto que Machado *et al* (1996) reconhecem que se trata de um evento anterior ao metamorfismo MR1 da Faixa Ribeira, porém não o vinculam claramente à Faixa Brasília.

Idades entre 613 e 602 Ma (Tab. 2.3) também são encontradas em monazitas dos granitóides cálcio-alcálinos e representariam um resfriamento dos corpos abaixo da temperatura crítica de formação da monazita ou um novo evento termal ao redor de 610 Ma (Janasi, 1999).

Os metassedimentos da Bacia Eleutério apresentam formação de muscovita e clorita nos planos da foliação, indicando condições de facies xisto verde inferior, contrastante com o grau metamórfico em facies anfibolito encontrado em rochas encaixantes da bacia. Os seixos de riolito datados apresentam corrosão em grãos de feldspato com recristalização de sericita e clorita, indicando grau metamórfico semelhante ao encontrado no restante dos metassedimentos da bacia (Teixeira, 1995).



**Figura 2.8:** Mapa metamórfico simplificado da Zona de Superposição entre as Faixas Brasília e Ribeira (escala 1:400.000)

### 2.2.6 Geotermobarometria

Há pelo menos duas décadas que diversos autores tem estimado as condições de pressão e temperatura dos eventos metamórficos neoproterozóicos registrados no sul de Minas Gerais. Aqui será apresentada uma síntese dos dados obtidos na literatura para rochas da Nappe Socorro-Guaxupé (NSG) e da Megasequência Andrelândia (MSA).

### Cianita-K-feldspato Granulitos, Granulitos Máficos e retro-eclogitos associados

Trouw (1992) e Trouw *et al* (2000) apresentaram cálculos das condições de pressão e temperatura para amostras de cianita-K-feldspato granulito, granulitos máficos com anfibólio, plagioclásio, granada e clinopiroxênio e retro-eclogitos com granada, clinopiroxênio, anfibólio, plagioclásio e biotita, ambos intercalados em metassedimentos da MAS (Fig. 2.8). Para os primeiros obteve condições do auge do metamorfismo de  $T=800-900^{\circ}\text{C}$  e  $P=11-12$  kbar com parcial reequilíbrio em  $T=500-650^{\circ}\text{C}$  e  $P=4-6$  kbar. Nos granulitos máficos o auge metamórfico teria ocorrido a  $T=750-900^{\circ}\text{C}$  e  $P=12-13,5$  kbar com parcial reequilíbrio a  $T=500-600^{\circ}\text{C}$  e  $P$  em torno de 4 kbar. Em amostras de retro-eclogitos a temperatura original seria próxima à  $700^{\circ}\text{C}$  e com pressão mínima entre 13 e 14 kbar, com parcial reequilíbrio em condições semelhantes as dos granulitos máficos. As condições de pressão e temperatura mais elevadas estariam associadas ao metamorfismo da Faixa Brasília, quando formaram-se os granulitos com cianita e K-feldspato, compatíveis com as condições calculadas para os granulitos máficos. Já as condições de reequilíbrio metamórfico encontradas são compatíveis com o metamorfismo da Faixa Ribeira, que gerou o crescimento de silimanita e cloritóide nos metassedimentos da MSA.

Campos Neto & Caby (1999; 2000) obtiveram para cianita-granulitos da Nappe Varginha registro de 4 estágios de sua evolução metamórfica (Fig. 2.9). Um estágio progrado inicial com  $T=470^{\circ}\text{C}$  (termometro de Hodges & Spear, 1982) e  $P=7,5$  kbar (barometro de Bohlen *et al*, 1983) para associação granada, quartzo, ilmenita, cianita, biotita. O estágio seguinte, que representaria o auge do metamorfismo nestas rochas, teria gerado associação granada, cianita, plagioclásio, mica branca primária, biotita e rutilo nos metapelitos que indicaria  $T=745-780^{\circ}\text{C}$  e  $P=10,6-13,5$  kbar. O par diopsídio-granada em rochas calcissilicáticas intercaladas indica  $T=650^{\circ}\text{C}$  e  $P=12,5$  kbar. No terceiro estágio, sin-foliação principal, o par diopsídio-granada, em rocha calcissilicática, indicaria  $T=675^{\circ}\text{C}$  e  $P=9,2$  kbar, e o par granada-biotita na presença de cianita em metapelitos registraria  $T=600-690^{\circ}\text{C}$  e  $P=11$  kbar. No topo da nappe, onde ocorre silimanita em rochas que anteriormente tinham cianita, ocorreria um aumento de temperatura com  $T=830-950^{\circ}\text{C}$  e  $P=12$  kbar. O ultimo estágio, retrogrado, registrado nestas rochas indicaria para a substituição de granada por simplectito de biotita e plagioclásio em equilíbrio com crescimento de silimanita  $T=795^{\circ}\text{C}$  e  $P=7,9$  kbar. Já a associação biotita verde, silimanita, oligoclásio (pobre em cálcio) que substitui a granada ocorreria a  $T=640-690^{\circ}\text{C}$  e  $P=6,8-7,6$  kbar.

Análises em retro-eclogitos utilizando o termômetro granada-anfibólio (Graham & Powell, 1984) e o barômetro % alumínio em anfibólio (Hammarstrom & Zen, 1986; Hollister *et al*, 1987) indicaram  $T=569-600^{\circ}\text{C}$  e  $P=11,5-14$  kbar. O auge de pressão nestas rochas foi calculado em 17,5 kbar para temperatura de  $660^{\circ}\text{C}$  com o barômetro de Meyre *et al* (1997) utilizando a composição de lamelas de jadeita em clinopiroxênio incluso em granada (Campos Neto & Caby, 1999).

Moraes *et al* (2003) analisaram granulitos félsicos da Pedreira de Três Pontas, com a associação metamórfica granada+K-feldspato+cianita+rutilo+quartzo e biotita em pequena quantidade. Estes granulitos apresentam estauroлита inclusa em cristais de granada, K-feldspato com exsolução de oligoclásio e leocossomas gerados por fusão parcial paralelos e cortando a foliação principal da rocha. A partir destes dados foi inferido que este granulito passou pelo campo de estabilidade da estauroлита durante um estágio progrado do metamorfismo e teria alcançado a curva da reação de

fusão de biotita+plagioclásio +quartzo em condições de temperatura em torno de 950°C e pressão superior a 17 kbar, produzindo associação Grt+fundido+feldspato ternário (sem a presença de ortopiroxênio). Cálculos realizados com o programa THERMOCALC (Holland & Powell, 1998) utilizando a granada+K-feldspato+cianita+rutilo+quartzo+biotita indicam temperatura semelhante a inferida ( $T=920^{\circ}\pm 75^{\circ}\text{C}$ ) e pressões um pouco mais baixas ( $P=12,5\pm 1,9$  kbar).

#### Granulitos da base da Nappe Socorro-Guaxupé (NSG)

Na Nappe Guaxupé (porção norte da NSG) análise de pares orto-clinopiroxênio em granulitos da base da NSG indicam  $T=870^{\circ}\text{C}$  e de granada-piroxênio  $T=820-775^{\circ}\text{C}$  pressões entre 14-11,5 kbar para temperaturas mais altas e 9 kbar para as mais baixas (barômetro GADES e GASP, Eckert *et al*, 1991) . Na Nappe Socorro (porção sul da NSG) análises do par granada-ortopiroxênio indicam  $T=860^{\circ}$  e  $P=11,7$  kbar (Fig. 2.10; Campos Neto & Caby, 2000)

Vasconcellos *et al* (1991) obtiveram para os granulitos basais da NSG na região de Varginha  $T=900 \pm 50^{\circ}\text{C}$  e  $P=11 \pm 1$  kbar.

Iyer *et al* (1996) analisaram granada granulitos da região de Guaxupé e obtiveram como condições do pico metamórfico valores de  $T=800-900^{\circ}\text{C}$  e  $P=8-9$  kbar e reequilíbrio após decompressão e resfriamento com temperatura próxima de  $650^{\circ}\text{C}$  e pressão em torno de 6 kbar (Fig. 2.10).

Del Lama (1993, 1998) apresentou dados de termobarometria em granulitos basais da NSG, na região de Guaxupé, onde identificou três estágios do metamorfismo. O primeiro, que representaria o auge do metamorfismo, foi calculado com a associação granada, clinopiroxênio, ortopiroxênio, plagioclásio em  $T=950-960^{\circ}\text{C}$  e  $P=12,5-13$  kbar. O segundo e terceiro estágio, que seriam reequilíbrios após resfriamentos e decompressões teriam ocorrido a  $T=820-860^{\circ}\text{C} / P=11-12,5$  kbar e  $735-790^{\circ}\text{C} / P=9-10,5$  kbar (Fig. 2.10).

Oliveira & Hypollito (1978) analisaram pares de orto e clinopiroxênio de charnockitos da região de São José do Rio Pardo e obtiveram temperaturas entre  $795^{\circ}$  e  $883^{\circ}\text{C}$  com o geotermômetro de Wood & Banno (1973).

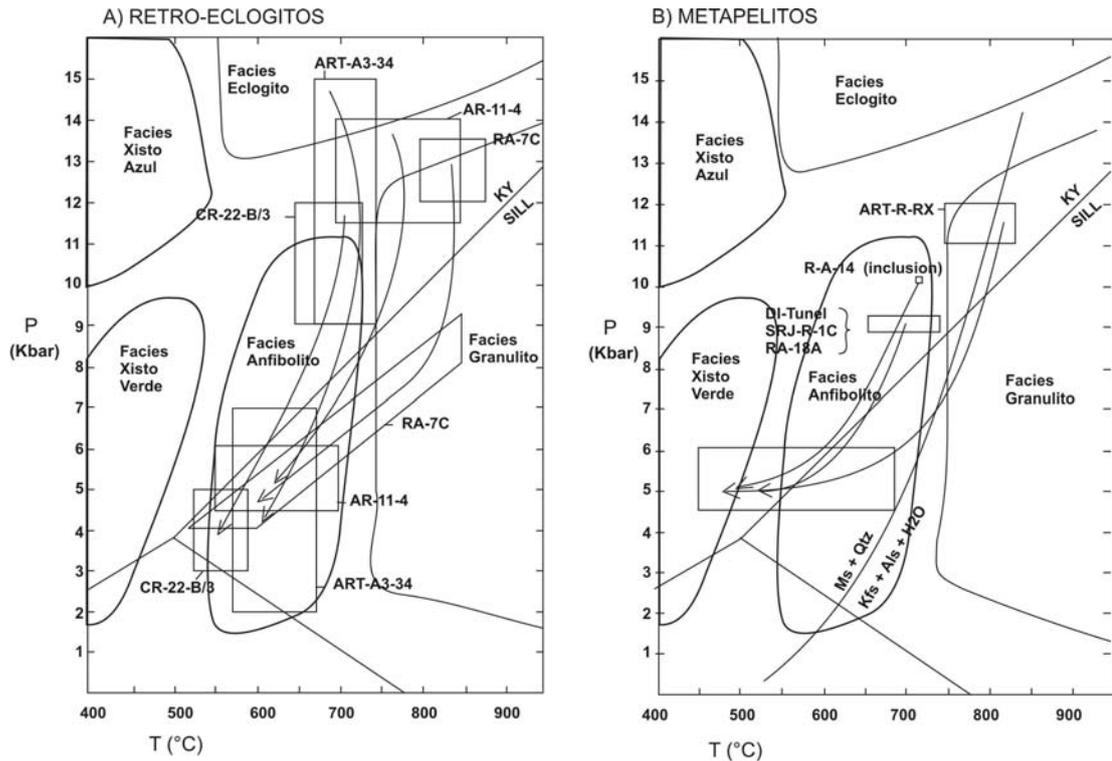
#### Rochas da parte Média e superior da Nappe Socorro-Guaxupé

Janasi (1992) calculou para os mangeritos com ortopiroxênio da região entre Caldas e Campestre (MG) pressão mínima de 7 kbar para a recristalização metamórfica com decompressão posterior para  $P=3-4$  kbar

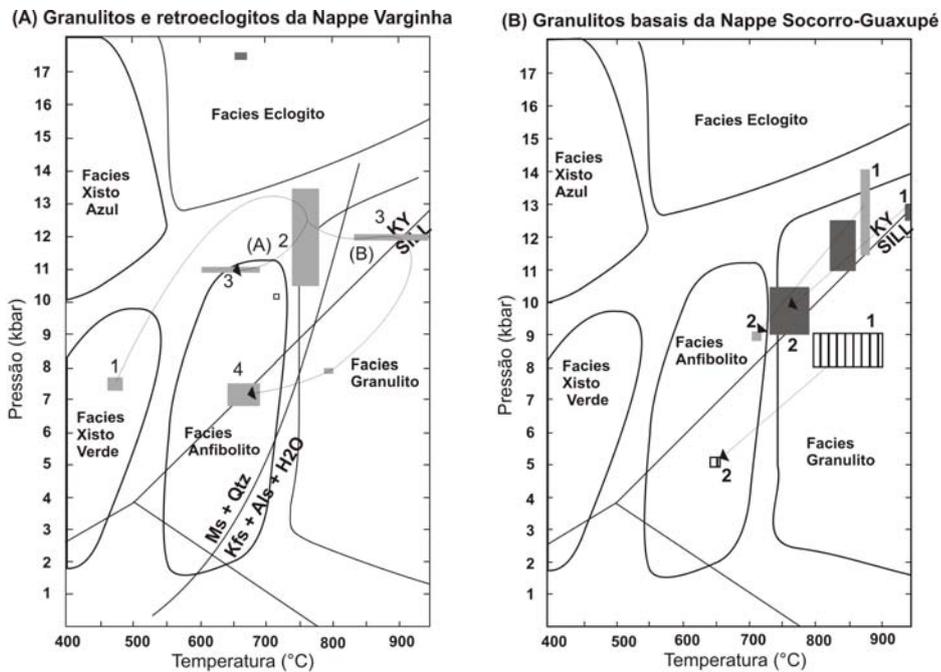
Vasconcellos *et al* (1991) obtiveram para metapelitos dos níveis superiores, no extremo meridional da Nappe Socorro,  $T=820 \pm 50^{\circ}\text{C}$  e  $P=4,5 \pm 0,5$  kbar.

#### Metapelitos da MSA metamorfizados em Facies Anfibolito

Campos Neto & Caby (1999; 2000) analisaram metapelitos ao sul da cidade de Andrelândia com estauroilita, cianita, granada, muscovita e plagioclásio obtendo  $T=580^{\circ}\text{C}$  para a associação granada-muscovita-plagioclásio com o termômetro de Spear & Cheney (1989) e  $P=8,9$  kbar para granada-cianita-rutilo (Fig. 2.12) com o barômetro GRAIL (Bohlen *et al*, 1983) .



**Figura 2.9:** Diagramas P-T mostrando as trajetórias retrógradas de amostras de: A) granulitos máficos de alta pressão (RA-7c) e retro-eclogitos (ART-A3-34; CR-22B; CR-22-3; AR-11-4); B) Cianita-K-feldspato paragranulitos (ART-R-RX) e metapelitos em facies anfibolito, ambos pertencentes a Associação de litofacies 6 da Megassequência Andrelândia. (Extraído de Trouw *et al*, 2000).



**Figura 2.10:** Diagramas P-T simplificado mostrando diversos estágios do evento metamórfico MB, com base em dados de geotermobarometria apresentados por: a) Campos Neto & Caby (2000) para Cianita-K-feldspato granulitos da Nappe Varginha e retro-eclogitos associados da Nappe Varginha; 1-estágio progrado; 2-auge metamórfico; 3-primeiro estágio retrogrado sin-cinemático; 4-segundo estágio retrometamórfico sin-cinemático. Curva (A) - estágio retrogrado dos Cianita-K-feldspato granulito; Curva (B) - estágio retrogrado dos Sillimanita-cianita-K-feldspato granulito. B) Del Lama (1993, 1998), áreas escuras, Iyer *et al* (1996), área achureada, e Campos Neto & Caby (2000), áreas claras, para Granulitos basais da Nappe Socorro-Guaxupé; 1-auge metamórfico; 2-estágio retrometamórfico sin-cinemático.

### **3. ESTRATIGRAFIA**

---

A partir dos trabalhos de campo foram reconhecidas diversas litologias, agrupadas em unidades de mapeamento de acordo com sua gênese, relações cronológicas e correlações regionais. Estas unidades de mapeamento podem ser reunidas em 6 grupos principais: a) Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano - constituído principalmente por ortognaisses, localmente migmatíticos, além de pequenos corpos de rochas máficas e ultramáficas e seqüência tipo *greenstone belt*; b) Sucessões metassedimentares neoproterozóicas - composta por paragnaisses, xistos, quartzitos e, localmente, cálcero e rocha calcissilicática, além de rochas metabásicas intercaladas; c) Ortognaisses neoproterozóicos; d) Granitos neoproterozóicos; e) Rochas alcalinas terciárias; f) Sedimentos cenozóicos inconsolidados.

#### **3.1 Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano**

As rochas do embasamento estão expostas em um domínio autóctone sob o sistema de *nappes*, na porção sudeste da Folha Varginha (1:100.000) e como lascas tectônicas intercaladas no sistema de *nappes*, principalmente na Folha Itajubá (1:100.000).

O embasamento é composto essencialmente por rochas ortoderivadas predominando metagranitóides (ortognaisses) e subordinadamente metabasitos (anfíbolitos e rochas ultramáficas) e associação tipo *greenstone belt*.

##### **3.1.1 Ortognaisses Migmatíticos (APPogn)**

Ocorrem em uma extensa *nappe* posicionada tectonicamente sobre sucessões metassedimentares neoproterozóicas (Anexo 1), o que é evidenciado pela inversão estratigráfica, pelo truncamento do contato entre diferentes unidades das sucessões metassedimentares e por algumas rochas miloníticas. Afloram como lajedos em encostas e drenagens, cortes de estradas com até dezenas de metros de extensão, paredões rochosos e morros isolados com até dezenas de metros de altura. Apresentam intercalações de corpos lenticulares de anfíbolito.

##### **Ortognaisses**

Em relação à textura estes ortognaisses podem ser divididos em três tipos:

- 1) Ortognaisses bandados (Foto 3.1), evidenciado pela alternância de bandas félsicas compostas principalmente por quartzo e feldspatos e bandas mais máficas ricas em biotita e/ou hornblenda. A espessura deste bandamento é bastante variável, desde centimétrica até métrica, podendo ser bem observada em escala de afloramento.
- 2) Ortognaisses migmatíticos: possuem dois tipos de estruturas: a) oftálmica (Foto 3.2), definida por abundantes cristais de feldspatos com até 6 cm de comprimento em matriz de

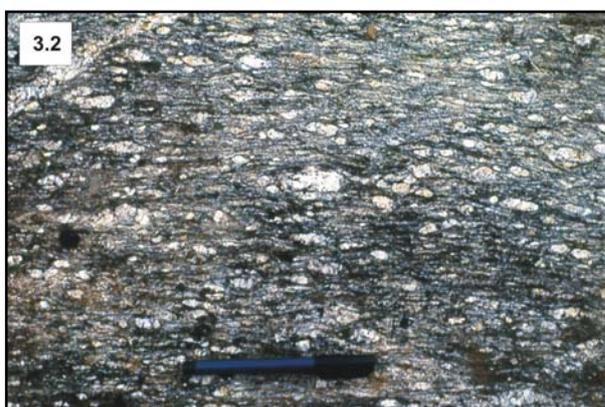
granulometria menor que 1 cm composta por quartzo, feldspato e biotita; b) estromática (Foto 3.3), definida por leitos descontínuos, de espessura até decimétrica, félsicos, compostos por quartzo e feldspatos com cristais de hornblenda e/ou biotita isolados e máficos, ricos em biotita e/ou hornblenda.

3) Ortognaisse diatexíticos: podem ser descrito em termo de estrutura como um L-tectonito. Apresenta forte lineação marcada pela orientação do quartzo, dos feldspatos e da biotita, sem apresentar foliação. A ocorrência deste tipo é mais restrita tendo sido encontrado apenas a leste da cidade de Heliodora em uma área com aproximadamente 3 Km de diâmetro.

Quanto a composição mineralógica dos ortognaisses do embasamento foram reconhecidos dois litotipos principais: biotita-(granada) gnaisses (Foto 3.4) e hornblenda-biotita-(granada) gnaisses (Foto 3.5). Os ortognaisses apresentam variação composicional desde sienogranito até tonalito (Fig. 3.1).



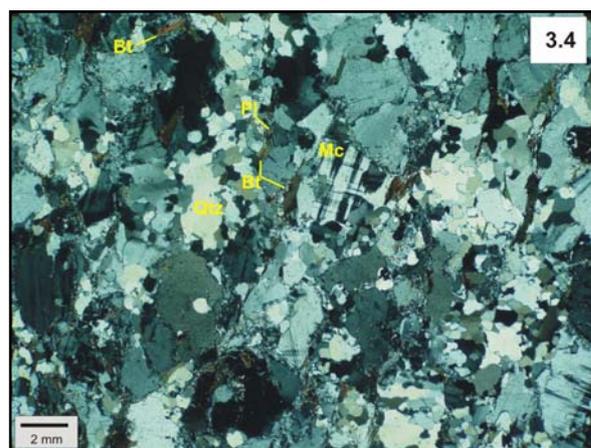
**Foto 3.1:** Ortognaisse do embasamento apresentando banda mento composicional marcado por níveis félsicos ricos em quartzo e feldspato e níveis máficos mais ricos em biotita e/ou anfibólio. (ponto. RD-1068; escala: martelo de 30 cm).



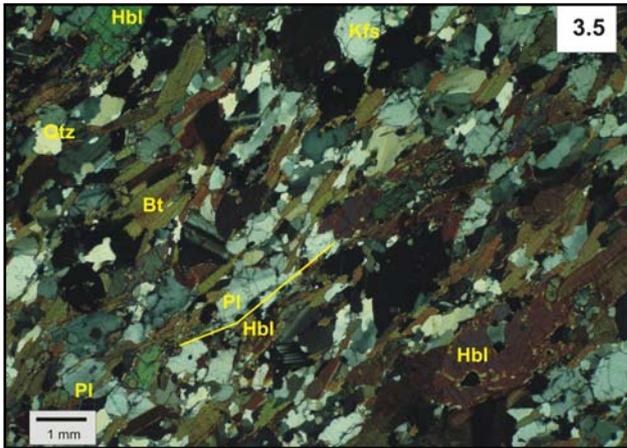
**Foto 3.2:** Ortognaisse com textura oftálmica marcada por fenocristais de feldspato com até 4cm de comprimento (ponto RD-275; escala: caneta de 14 cm).



**Foto 3.3:** Ortognaisse migmatítico do embasamento com textura estromática marcada por leitos félsicos descontínuos de composição quartzo-feldspática, e leitos máficos ricos em biotita e/ou anfibólio (ponto RD-89; escala: martelo de 30 cm). Observação: a orientação desta Foto é na vertical.

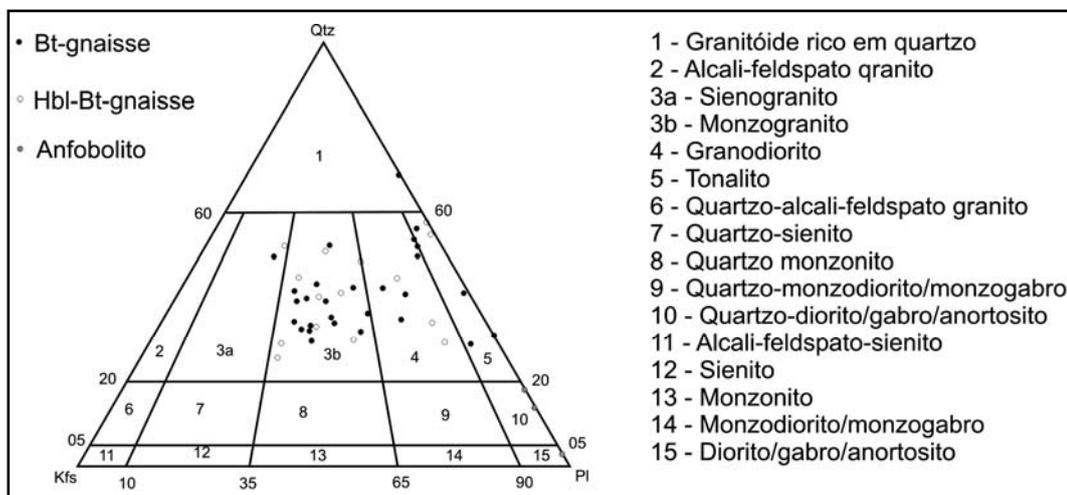


**Foto 3.4:** Textura inequigranular em Biotita gnaisse do embasamento, com cristais maiores de microclina envoltos em matriz composta por quartzo, plagioclásio, microclina e biotita. A orientação preferencial da biotita, definindo uma foliação espaçada, e a recristalização do quartzo, novos grãos de quartzo com contato interlobular, são registros deforma- cionais comuns nestes ortognaisses do embasamento (ponto RD-89).



**Foto 3.5:** Hornblenda-biotita ortogneisse do embasamento com quartzo, plagioclásio e K-feldspato, além de porfiroblastos de biotita e hornblenda orientados preferencialmente definindo a foliação principal da rocha (ponto RD-108).

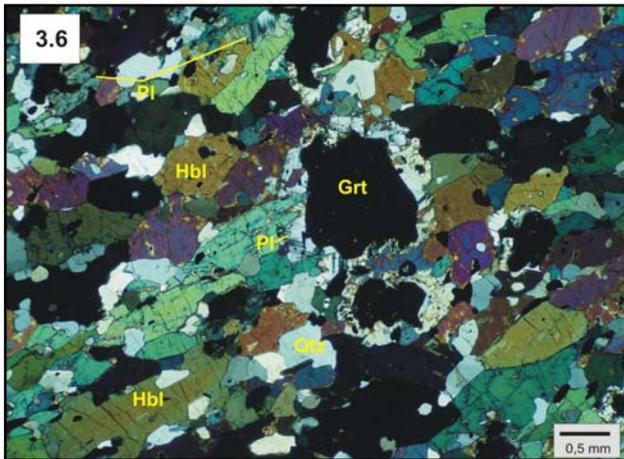
Análises geocronológicas realizadas em zircões de 4 amostras de ortogneisses indicaram idades paleoproterozóicas e arqueana para a cristalização destas rochas. No ponto MR-140, parte oeste da Folha Lambari (1:50.000) zircões de ortogneisse migmatítico oftálmico, analisados pelo método U-Pb por diluição isotópica deram idade de  $2.088 \pm 26$  Ma (Peternel *et al*, 2005). Na pedra próxima a cidade de Soledade de Minas (ponto RD-89) zircões de biotita gnaisse granítico analisados pelo método Pb-Pb por evaporação deram idade mínima para a cristalização de  $2.090 \pm 3$  Ma (Peternel, 2005). Em pedra desativada localizada na Fazenda São Domingos (ponto RD-584), entre Cristina e Pedralva, zircões de hornblenda-biotita gnaisse tonalítico analisados pelo método Pb-Pb por evaporação deram idade mínima para a cristalização de  $2.152 \pm 3$  Ma (Peternel, 2005). Em biotita gnaisse tonalítico/trondhjemitico próximo a Fazenda Pedrão (ponto RD-293) na Folha Cristina (1:50.000), zircões analisados pelo método Pb-Pb por evaporação deram idade mínima de cristalização de  $2.909 \pm 1$  Ma (Peternel, 2005).



**Figura 3.1:** Diagrama QAP de classificação de rochas ígneas (Streckeisen, 1967), com as composições modais de ortogneisses e anfíbolitos do embasamento (contagem de ponto com média de 350 pontos de lâmina).

### Anfíbolitos

Os anfíbolitos ocorrem como bandas lenticulares estendidas de espessura centimétrica até métrica, intercaladas nos ortogneisses do embasamento, geralmente paralelas à foliação principal da rocha encaixante. Estas rochas são compostas principalmente por hornblenda e plagioclásio, com quantidades variáveis de quartzo, granada e biotita (Foto 3.6). Como minerais acessórios encontram-se zircões, titanita, minerais opacos e epidoto.



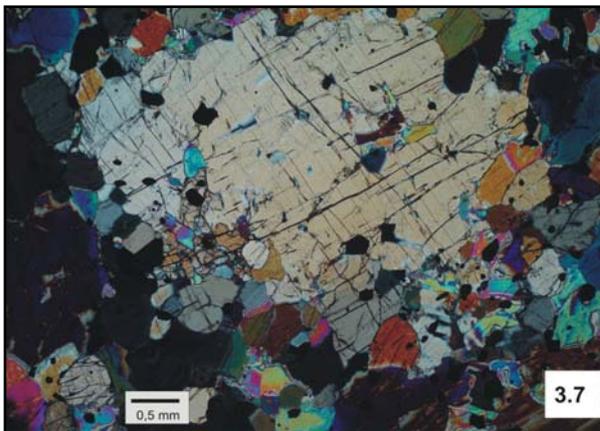
**Foto 3.6:** Anfibolito intercalado em ortognaisse do embasamento, composto essencialmente por hornblenda, orientada preferencialmente definindo a foliação Sb2, além de plagioclásio, quartzo e granada. Nota-se uma coroa de plagioclásio ao redor de porfiroblasto de granada, produto de retrometamorfismo (ponto RD-695).

### 3.1.2 Rochas Ultramáficas (APPu)

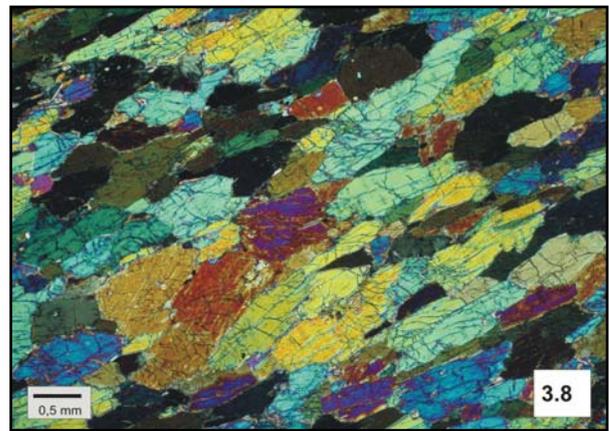
As rochas ultramáficas presentes na área de domínio do embasamento são piroxenitos e xistos ultramáficos.

Os piroxenitos são encontrados na metade sul da Folha Itajubá (1:100.000) como pequenos corpos de espessura métrica a decamétrica, geralmente apresentando fraca deformação, podendo-se observar contornos ígneos dos cristais de piroxênio parcialmente preservados (Foto 3.7). Estas rochas são compostas por ortopiroxênio, com plagioclásio em quantidade subordinada. Cristais de hornblenda ocorrem substituindo o piroxênio.

Os xistos ultramáficos são encontrados ao longo do contato tectônico entre ortognaisses do embasamento e sucessões da Megassequência Andrelândia (Anexo 1). Localmente ocorrem intercalações de camadas centimétricas de anfibolito associadas aos xistos ultramáficos. Estes xistos são compostos quase que exclusivamente por tremolita-actinolita (Foto 3.8), apresentando traços de minerais opacos e biotita como mineral secundário.



**Foto 3.7:** Rocha ultramáfica que ocorre intercalada em ortognaisse do embasamento, com ortopiroxênios interpretados como ígneos preservados (ponto RD-256).



**Foto 3.8:** Xisto ultramáfico que ocorre no contato tectônico entre ortognaisses do embasamento e metassedimentos da Megassequência Andrelândia, composto essencialmente por cristais tabulares orientados preferencialmente de tremolita/actinolita, definindo a foliação Sb2 (ponto RD-116).

### 3.1.3 Seqüência Greenstone (APPugs)

Em domínio autóctone na região a noroeste da cidade de Conceição do Rio Verde ocorrem intercalações de xistos ultramáficos (tremolita-actinolita-xistos, talco xistos e clorita xistos) com anfibolitos, quartzitos e metaprecipitados químicos (gonditos), e gnaisses bandados finos. Este conjunto de rochas pode ser interpretado como uma associação tipo *greenstone-belt*. Estas rochas foram estudadas originalmente por Bittar (1989) e Almeida (1992) em folhas adjacentes (folhas Caxambú e Luminárias, 1:50.000).

## 3.2 Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas

### 3.2.1 Megasseqüência Andrelândia

Trata-se de uma sucessão metassedimentar com rochas metaígneas máficas associadas, composta regionalmente por seis associações de litofácies (Paciullo *et al*, 2000). Uma discordância interna reconhecida tanto em domínios autóctones quanto alóctones, separa as seqüências deposicionais Carrancas, inferior, constituídas pelas unidades São Vicente, São Tomé das Letras e Campestre, e Serra do Turvo, superior, composta pela unidade Santo Antônio. As sucessões distais das duas seqüências são representadas pela Unidade Arantina.

#### Unidade São Vicente (NPasv)

É a unidade basal da Megasseqüência Andrelândia, ocorrendo na base das *nappes* Luminárias, São Tomé das Letras e Carmo da Cachoeira, posicionada tectonicamente sobre ortognaisses do embasamento e outras unidades da Megasseqüência Andrelândia. Também é encontrada no quadrante sudeste da Folha Itajuba (1:100.000) posicionada sobre ortognaisses neoproterozóicos do Complexo Varginha-Guaxupé devido a falhamento reverso relacionado com a Faixa Ribeira.

Esta unidade engloba as duas associações de litofácies basais descritas por Paciullo *et al* (2000) para a Megasseqüência Andrelândia, devido a dificuldade de separá-las na maior parte da área das Folhas Varginha e Itajuba (1:100.000). Na associação inferior predominam paragnaisses bandados de granulometria fina, com intercalações de anfíbolitos e xistos ultramáficos na base. Para o topo da unidade são comuns intercalações de muscovita xistos associados com quartzitos, biotita xistos, anfíbolitos e escassos mármores ou xistos carbonáticos, caracterizando a associação superior.

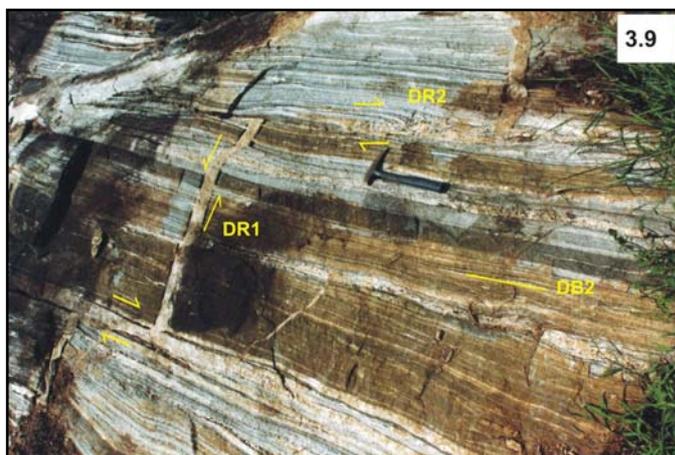
Os paragnaisses caracterizam-se por um bandamento ou estratificação delgada, aparentemente tabular, definida pela alternância de camadas quartzo-feldspáticas, mais ou menos ricas em biotita (Foto 3.9). Em geral, as camadas pobres em biotita têm granulometria média à grossa e podem conter grânulos e seixos finos arredondados, de quartzo, feldspatos e litoclastos plutônicos, quartzo-feldspáticos. São ricos em plagioclásio e quartzo, possuindo quantidades variáveis de biotita, muscovita, epidoto, microclina e localmente granada. Além disso, ocorrem em menor proporção minerais opacos, allanita, apatita, zircão, titanita, rutilo, carbonato e anfibólio.

Os quartzitos ocorrem em sucessões com espessuras decimétricas à métricas, constituídas pelo empilhamento de camadas, aparentemente tabulares, delgadas à médias, geralmente separadas por películas ou lâminas micáceas.

Os muscovita-quartzo xistos ocorrem como lâminas ou camadas delgadas, isoladas ou agrupadas em sucessões com até 1,5 metro de espessura associados com os quartzitos. São xistos cinzentos ou prateados, de granulometria média à grossa, homogêneos, compostos por muscovita e quartzo, além de plagioclásio, granada, biotita e traços de titanita, rutilo e minerais opacos. Contêm ainda clorita, na fácies xisto verde e cianita, na fácies anfíbolito.

Os anfíbolitos ocorrem como corpos de geometria aparente tabular com espessura máxima de poucos metros. São rochas homogêneas compostas essencialmente por anfibólio e plagioclásio, com xistosidade mal desenvolvida, geralmente observadas em avançado estado de alteração.

Os xistos ultramáficos ocorrem em camadas de geometria aparentemente tabular e espessura decimétrica. São xistos homogêneos, de cor esverdeada, compostos, principalmente, por tremolita, e menor proporção de clorita e minerais opacos.



**Foto 3.9:** Afloramento típico do biotita-gnaíссе da Unidade São Vicente, com bandamento delgado apresentando grande continuidade lateral e intercalação centimétrica de anfibolito. Este afloramento apresenta uma síntese das estruturas encontradas na área estudada: a foliação principal (Sb2), paralela ao bandamento gnaíssico, com rumo ENE-WSW e mergulho subvertical devido ao dobramento da fase DR1, está cortada por pequenas falhas transcorrentes sinistrais SSW-NNE (DR1), associada com extensão na direção WSW-ENE e alojamento de pequenos diques graníticos sem foliação. Estes, por sua vez, são truncados e deslocados por zonas de cisalhamento transcorrentes destrais (DR2) subparalelas a foliação principal (ponto RD-654; escala: martelo de 30 cm).

### **Unidade São Tomé das Letras (NPastI)**

Esta unidade está restrita às *nappes* inferiores (Luminárias e São Tomé das Letras), assentando-se concordantemente sobre os paragneisses da unidade São Vicente, apresentando contato gradacional. É composta por sucessões quartzíticas e intercalações subordinadas de muscovita-xistos. Os quartzitos ocorrem em camadas de geometria aparente tabular ou lenticular muito estendida, delgadas, predominantes, à espessas, geralmente separadas por películas micáceas. Contêm, além de abundante quartzo, muscovita, turmalina e minerais opacos.

Os muscovita-xistos são mais frequentes na base e no topo da unidade, ocorrendo em lâminas ou camadas delgadas isoladas ou agrupadas em monótonas sucessões com até 4m de espessura. Têm granulometria fina, cor prateada e são constituídos por quartzo, muscovita e proporções subordinadas de turmalina, epidoto, biotita, plagioclásio e minerais opacos.

### **Unidade Campestre (NPac)**

Esta unidade ocorre nas *nappes* inferiores (Luminárias e São Tomé das Letras) e apresenta contato gradacional com a unidade São Tomé das Letras. Composta por sucessões de filitos e/ou xistos cinzentos, que alcançam espessuras até decamétricas, separadas por intercalações quartzíticas subordinadas, de espessura até métrica. Os filitos são compostos por mica branca e quantidades variáveis de grafita, além de menores proporções de quartzo, turmalina, zircão, rutilo, minerais opacos e, raramente, plagioclásio. Conforme a zona metamórfica podem conter também granada, estauroлита, cianita e/ou sillimanita.

### **Unidade Santo Antônio (NPasa)**

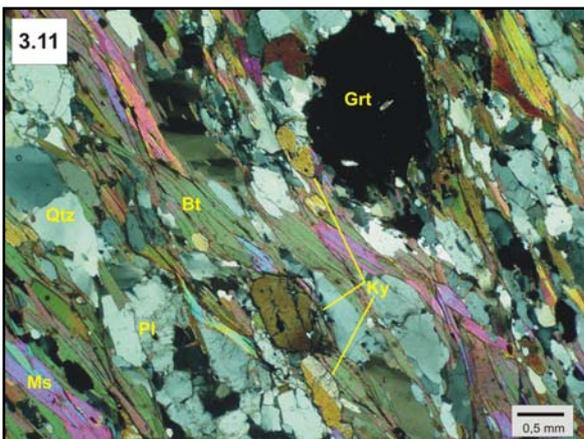
Ocorre nas *nappes* Luminárias, São Tomé das Letras e Carmo da Cachoeira. Trata-se de sucessões monótonas, com até centenas de metros de espessura aparente de muscovita-biotita xistos de granulometria fina, ricos em plagioclásio, que localmente gradam a gnaísses (Foto 3.10). Geralmente contêm cristais de granada e rutilo, e delgados veios lenticulares de quartzo. Em zonas de fácies xisto verde apresenta biotita e clorita, já em fácies anfibolito ocorre estauroлита,

cianita e/ou sillimanita (Foto 3.11). O contato inferior é interpretado como uma discordância intraformacional (Paciullo *et al.*, 2003), evidenciada a oeste da Serra de São Tomé, onde xistos desta unidade truncam os muscovita-xistos e os quartzitos das unidades São Tomé das Letras e Campestre (Peternel, 2000). O contato superior é gradacional para xistos da unidade Arantina.

### Unidade Arantina (NPaar / Npaarg)

Ocorre nas *nappes* Carmo da Cachoeira e Lambari, em facies anfíbolito (NPaar) e na Nappe Varginha, em facies granulito (NPaarg).

Trata-se sucessões de espessuras até decamétricas de biotita-muscovita xistos/gnaisses de



**Foto 3.11:** Biotita xisto da associação de litofácies 5 da Megassequência Andrelândia composto por de granada, cianita, biotita, muscovita, quartzo e plagioclásio, com as micas e a cianita orientadas preferencialmente definindo a foliação Sb2 (ponto RD-961). Biotita xisto da associação de litofácies 5 da Megassequência Andrelândia composto por de granada, cianita, biotita, muscovita, quartzo e plagioclásio, com as micas e a cianita orientadas preferencialmente definindo a foliação Sb2 (ponto RD-961).

Quartzitos e quartzo xistos ocorrem em sucessões de camadas lenticulares muito estendidas de espessura até métrica. As rochas calcissilicáticas e os quartzitos manganésíferos ocorrem como camadas lenticulares de espessura decimétricas, frequentemente boudinadas. Os anfíbolitos ocorrem como *boudin* e camadas tabulares, de espessuras centimétricas a métricas, apresentando contatos planos bem definidos com paragneisses e xistos.

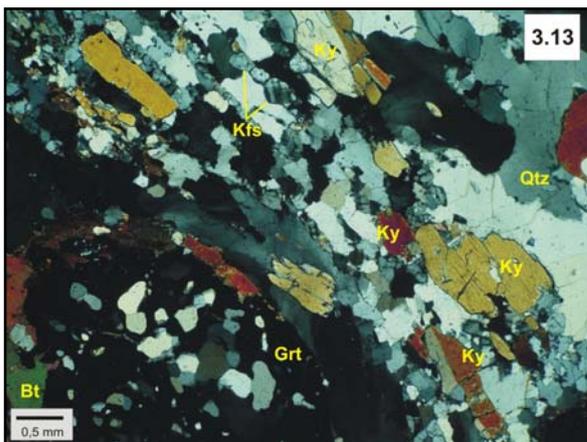


**Foto 3.10:** Biotita xisto da Unidade Santo Antônio, com lentes de quartzo estiradas indicando movimento de topo para nordeste durante a fase DB (escala: tampa com 5cm).

granulometria grossa, separadas por freqüentes intercalações de quartzitos, quartzo xistos, anfíbolitos, quartzitos manganésíferos e rochas calcissilicáticas. Os biotita-muscovita xistos/gnaisses são ricos em granada cianita e/ou sillimanita, muscovita e biotita. A Unidade Arantina em fácies granulito (NPaarg) é caracterizada por gnaisses fitados com cianita e K-feldspato e ausência de muscovita (Fotos 3.12 e 3.13).



**Foto 3.12:** Aspecto característico de cianita-K-feldspato gnaiss granulítico da associação de litofácies 6 da Megassequência Andrelândia, com porfiroclastos de granada com até 3cm de diâmetro e fitas de quartzo indicando deformação em condições de temperatura elevada (ponto RD-505-5; escala: 14 cm).



**Foto 3.13:** Associação de cianita, K-feldspato e granada, na ausência de muscovita, típica dos cianita-K-feldspato gnaisses da associação de litofácies 6 da Megassequência Andrelândia, metamorizados em fácies granulito de pressão alta durante o evento metamórfico MB (ponto RD-178).

### 3.2.2 Interpretação Paleoambiental

A interpretação paleoambiental das unidades da Megassequência Andrelândia está de acordo com os trabalhos de Ribeiro *et al.* (1995), Paciullo (1997), Paciullo *et al.* (2000), Peternel (2000) e Trouw *et al.* (2003). Os gnaisses da Unidade São Vicente representam sedimentos depositados, provavelmente, em planícies fluviais arenosas entrelaçadas, enquanto que os corpos ultramáficos e máficos intercalados representariam a atividade ígnea contemporânea à sedimentação continental, durante o rifteamento que deu origem a Bacia Andrelândia. Os paragneisses intercalados com quartzitos e xistos pelíticos são

interpretados como arenitos feldspáticos de trato de sistema de mar baixo e representam a gradativa entrada do mar plataformar na bacia, promovendo o retrabalhamento de parte das sucessões da associação basal e do próprio embasamento. Os anfibolitos têm assinatura geoquímica de basaltos intraplaca continental e oceânico enriquecido (Paciullo, 1997). Os pares filito/xisto-paragneisse e filito/xistoquartzito são interpretados como parassequências de trato de sistema transgressivo. Os quartzitos da Unidade São Tomé das Letras representam sedimentos arenosos depositados em ambiente de plataforma distal, provavelmente, *shoreface* inferior. Neste cenário, durante períodos de correntes fracas ou nulas teriam sido depositados os recobrimentos que deram origem as películas e lâminas micáceas. Já os pacotes mais espessos de muscovita-xisto próximos ao topo da unidade, bem como os filitos/xistos da Unidade Campestre representam sedimentos pelíticos depositados em ambiente de *offshore* durante trato de sistema de mar alto. As superfícies de inundação marinha estão representadas pelos primeiros níveis de filitos grafitosos, na Unidade São Vicente e pelos filitos grafitosos basais da Unidade Campestre.

Segundo Paciullo *et al.* (2003) os biotita xistos da Unidade Santo Antônio são interpretados como turbiditos pelíticos, localmente com seixos pingados, como em São Tomé das Letras (Peternel, 2000) e Madre de Deus de Minas (Paciullo *et al.*, 2003), que passam no topo a pelitos hemipelágicos. Estes depósitos devem representar, respectivamente, sedimentação de mar baixo e mar alto glácio-eustáticas, provavelmente relacionadas à Glaciação Sturtiana (Macaúbas).

Segundo Trouw *et al.* (2003) a Unidade Arantina é interpretada como uma associação de litofácies distal em relação às sequências Carrancas e Serra do Turvo, com intercalações de basaltos toleíticos intraplaca e oceânico transicional representados pelos anfibolitos (Paciullo *et al.*, 2003).

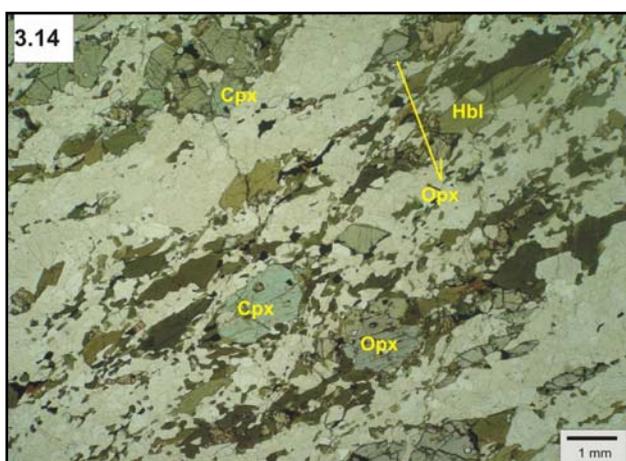
### 3.3 Complexo Varginha-Guaxupé

Na porção oeste da Folha Varginha (1:100.000) e sul da Folha Itajuba (1:100.000) ocorrem gnaisses neoproterozóicos, de origem ígnea e sedimentar, que compõem o Complexo Varginha-Guaxupé. Este complexo é dividido em três unidades: Granulítica Basal, Ortognáissica Migmatítica

Intermediária e Paragnáissica Migmatítica Superior. Ao menos as duas unidades superiores são intrudidas por um granitóide cedo a sin-colisional que ocorre restrito ao domínio do Complexo Varginha-Guaxupé.

### Unidade Granulítica Basal (NP2vgi)

Composta por hiperstênio-granulitos, de pressão intermédia, está unidade ocorre, nas duas regiões, posicionada tectonicamente sobre granulitos de alta pressão, com cianita e K-feldspato, da unidade Arantina (fácies granulítica) da Megassequência Andrelândia, que compõem a *Nappe* Varginha. Aparecem em cortes de estradas, matações espalhados nos campos, no leito do Rio Verde e colinas suaves, alcançando até dezenas de metros de espessura, medida perpendicularmente à foliação principal.



**Foto 3.14:** Ortognaisse Neoproterozóico da Nappe Socorro com textura de gnaiss fitado com orto e clinopiroxênio (ponto RD-1060).

Esses gnaisses granulíticos apresentam estratificação composicional definida por leitões, relativamente contínuos, milimétricos à centimétricos de dois tipos: leucocráticos quartzo-feldspáticos e melanocráticos, ricos em piroxênios e anfibólio. São constituídos, essencialmente, por plagioclásio, k-feldspato, quartzo, ortopiroxênio e clinopiroxênio, com

porcentagens menores de granada, anfibólio, biotita e minerais opacos, além de traços de apatita e zircão (Foto 3.14).

### Unidade Ortognáissica Migmatítica Intermediária (NP2ovg)

Composta por Hornblenda biotita ortognaisses (Fotos 3.15 e 3.16) e Biotita ortognaisse, de composição granodiorítica a tonalítica. Estes gnaisses possuem granulometria fina, localmente com porfiroclastos, originalmente fenocristais, de feldspato, com até 3cm de comprimento. Geralmente apresentam aspecto migmatítico com textura estromática (Foto 3.17). Ambos os litótipos possuem intercalações de lentes de anfibolitos com espessura variando de centimétrica a métrica e granulometria fina a grossa (Fotos 3.15 a 3.17). Estes anfibolitos são compostos por hornblenda, plagioclásio e clinopiroxênio. Como minerais acessórios ocorrem apatita, titanita, minerais opacos e zircão.



**Foto 3.15:** Hornblenda-biotita ortognaisse da Unidade Ortognáissica Migmatítica Intermediária, com intercalações de bandas de anfibolitos, com geometria geralmente tabular ou lenticular estendida, com alguns níveis boudinados (ponto RD-1066; parede com aproximadamente 10 metros de altura).

Análises de zircões de uma amostra do

hornblenda-biotita gnaiss, próxima ao limite leste da Folha Itajubá, na cidade de Itanhandu, produziu uma idade mínima de cristalização de  $657 \pm 2$  Ma (método Pb-Pb por evaporação; Peternel, 2005) e uma idade de cristalização de  $670 \pm 17$  Ma (método U-Pb por diluição isotópica; Peternel, 2005).



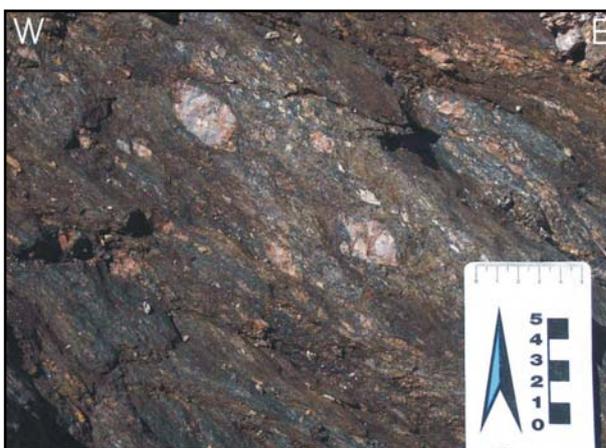
**Foto 3.16:** Hornblenda-biotita ortognaiss bandedo com intercalações de corpo aparentemente tabular de anfibolito, da Unidade Ortognaissica Migmatítica Intermediária (Ponto GI-015).



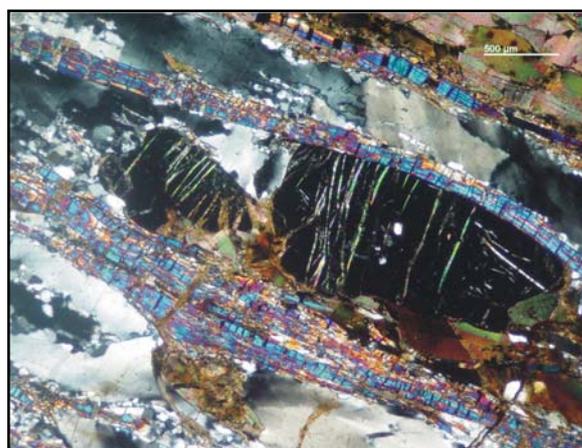
**Foto 3.17:** Nível migmatítico estromático do hornblenda-biotita ortognaiss, com corpos anfibolíticos, da Unidade Ortognaissica Migmatítica Intermediária. Marreta com 40cm (Ponto GI-033).

### Unidade Paragnaissica Migmatítica Superior (NP2vgs)

Esta unidade ocorre posicionada sobre ortognaisses das duas unidades anteriores. É composta por sillimanita granada paragnaisses com porfiroblastos de K-feldspato com até 5cm de comprimento (Foto 3.18) e de granada com até 1,5 cm de diâmetro. São compostos por biotita, quartzo, microclina, plagioclásio, granada e sillimanita (Foto 3.19). Como minerais acessórios ocorrem titanita, apatita, epidoto e zircão. Clorita e muscovita aparecem como minerais secundários. Geralmente estes gnaisses estão intercalados com granitos anatéticos, de granulometria média a grossa, localmente gnaissificados. Estes granitos formam corpos tabulares, com espessura variando de decimétrica a métrica, paralelos a foliação principal dos paragnaisses.

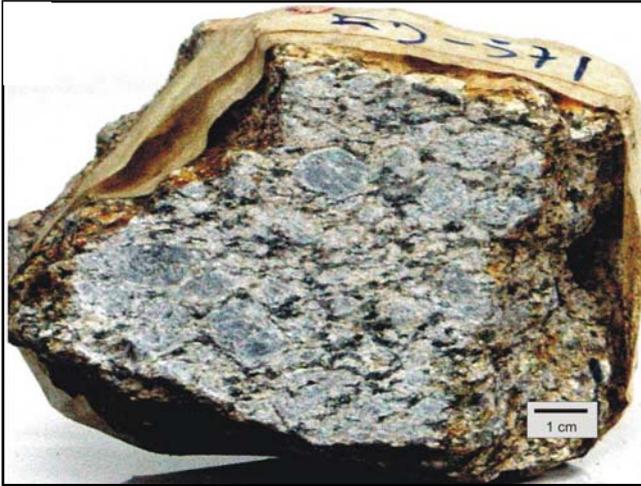


**Foto 3.18:** Paragnaiss com megacristais de K-feldspato e forte xistosidade (Sb2) defletida em torno dos porfiroclastos (Ponto GI-112).



**Foto 3.19:** Grãos prismáticos de sillimanita boudinados, paralelos a foliação principal (Sb2) e suavemente defletidos em torno de porfiroblastos de granada. As microfaturas nos grãos de sillimanita e granada estão preenchidas por minerais opacos e biotita (Ponto GI-040).

### Granitóide Cedo a Sin-colisional (NP2σγ1-2 )



**Foto 3.20:** Orto gnaisse Neoproterozóico da Nappe Socorro com cristais lenticulares de feldspato produzindo textura tipo augen gnaisse (ponto RD-571).

Ocorre principalmente na Serra da Água Limpa, como um corpo com dimensões quilométricas, alongado na direção nordeste-sudoeste, encaixado em gnaisses das três unidades anteriores. Apresenta partes equidimensionais com granulometria média a grossa, e outras partes com fenocristais de microclina (Foto 3.20), com até 6cm de comprimento, orientados paralelamente a foliação regional. É composto por microclina, quartzo, plagioclásio, biotita e hornblenda. Como minerais acessórios destaca-se a allanita, além de apatita, titanita, minerais opacos e zircão. A composição química é de

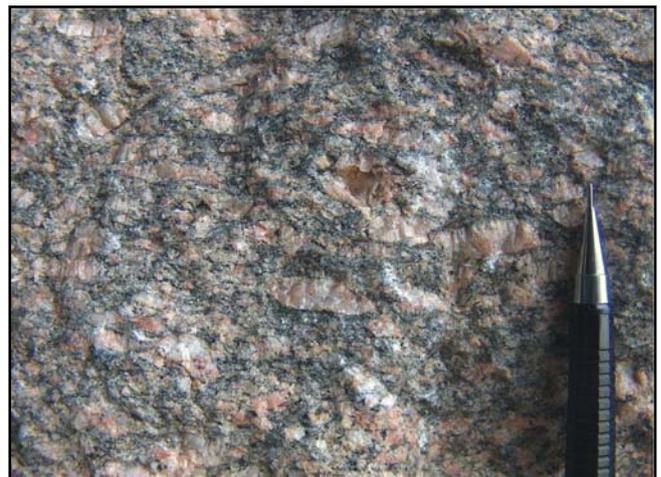
monzogranito, localmente chegando a quartzo-monzonito. Localmente encontram-se xenólitos de gnaisses encaixantes e enclave de diorito.

### 3.4 Granitos Tardi a Pós-Colisionais

Na metade sul da Folha Itajubá (1:100.000) afloram vários corpos graníticos, alguns com foliação induzida por deformação em estado sólido outros mostrando evidências de fluxo magmático. Alguns são alongados, seguindo zonas de cisalhamento, outros tendem a ser ovalados ou circulares, mostrando um caráter tardi a pós-tectônico ou tardi a pós-colisional. Os seguintes corpos foram individualizados no mapa: Granito Pedra Branca, Granito Glória, Granito Marins, Granito Itanhandú, Granito Marmelópolis, Granito Serra da Onça e Granito Cubatão.

#### Granito Serra da Onça (NP3γ3so)

Ocorre na Serra da Onça, a sudeste da cidade de Itajubá, intrudindo paragneisses da Unidade São Vicente. É um granito rosado de granulometria média a grossa, com textura inequigranular porfirítica, com fenocristais de K-feldspato com até 3cm de comprimento (Foto 3.21), orientados por fluxo ígneo, com rumo nordeste-sudoeste e mergulho íngreme para sudeste. Este granito deriva de um magma calcio-alcálico, tem caráter metaluminoso e geração sin-colisional.



**Foto 3.21:** Granito Serra da Onça, com fenocristais amendoados de K-feldspato. Ponta da lapiseira com 2cm de comprimento. Ponto GI-081

#### Granito Serra da Pedra Branca (NP3γ3spb)

Ocorre ao longo da serra da Pedra Branca ao sul da cidade de Conceição da Pedra, como um corpo alongado na direção ENE-WSW e mergulho íngreme para sudeste, com comprimento em torno de



**Foto 3.22:** Vista do extremo leste do Serra da Pedra Branca onde ocorre o granito Neoproterozóico homônimo, que está alojado ao longo da Zona de Cisalhamento Reversa Conceição da Pedra. Linha em amarelo indica a espessura aproximada do corpo.

vando-se um fraco bandamento composicional (Foto 3.25) marcado pela variação na proporção de minerais máficos, principalmente biotita. Ao longo de todo corpo ocorrem agregados lenticulares máficos (*schlieren*), compostos principalmente por biotita, com 2 a 3 cm de largura e 0,5 a 1m de comprimento. Também são encontrados xenólitos lenticulares dos ortognaisses encaixante com até 20 cm de largura e 2 m de comprimento (Foto 3.25).

A maior parte do corpo não apresenta sinais de foliação tectônica, possuindo apenas uma foliação ígnea, registrada pela orientação preferencial de fenocristais idiomórficos de feldspato e cristais de biotita (Foto 3.24). Entretanto em algumas partes, principalmente onde

existe bandamento composicional, observa-se o desenvolvimento de uma foliação tectônica (Foto 3.26) paralela à foliação milonítica (Sr1) registrada na rocha encaixante, podendo, na borda do corpo, desenvolver planos miloníticos (Foto 3.27) paralelos a Falha de Empurrão de Conceição da Pedra (ver Cap. 4). Ao longo de todo o corpo encontram-se fraturas preenchidas por veios de quartzo (*tension gashes*), de até 20 cm de espessura, que cortam o corpo quase perpendicularmente a sua orientação.

O granito é composto por quartzo, microclina, plagioclásio e biotita, além de allanita, apatita, titanita, epidoto, zircão e minerais opacos como minerais acessórios, e muscovita e carbonato como minerais secundários. Com base na composição mineralógica este corpo é classificado como um monzogranito (Fig. 3.2).

Análise de zircão da pelo método U-Pb por diluição isotópica produziu uma idade concordante de  $573 \pm 8$  Ma, na parte não deformada, interpretada como a idade de cristalização do granito. Na parte deformada os zircões deram idade discordante de  $563 \pm 10$  Ma (intercepta superior) que representaria uma idade mínima de cristalização do corpo.

12km e largura de aproximadamente 500m (Foto 3.22). Aflora ao longo de toda a serra como lajedos e matacões na encosta suave e paredões com centenas de metros de altura. Encontra-se encaixado em ortognaisses do embasamento, localmente cortados por diques e *sills* de leucogranitos (Foto 3.23) associados ao corpo principal.

A rocha é muito homogênea, apresentando uma textura inequigranular porfírica (Foto 3.24), localmente obser-



**Foto 3.23:** Ortognaisse do embasamento, encaixante do Granito Serra da Pedra Branca, com foliação milonítica da Fase DR1 cortada por dique de granito fino associado aos estágios finais de cristalização do corpo principal (ponto RD-213; escala: martelo de 30 cm).

Segundo dados geoquímicos levantados neste trabalho este granito deriva de um magma calcio-alcalino, tem caráter peraluminoso e geração sin-colisional.



**Foto 3.24:** a) Textura inequigranular de parte sem foliação tectônica do Granito Serra da Pedra Branca com feldspatos euédricos com até 2 cm de comprimento; b) Cristais anédricos de quartzo entre fenocristais de microclina apresentam extinção ondulante e desenvolvimento de subgrãos, indicando que mesmo as porções do granito sem desenvolvimento de foliação tectônica também sofreram deformação no estado sólido (ponto RD-1197; escala na Foto a: caneta com 13 cm).

### Granito Glória (NP3y3gl)

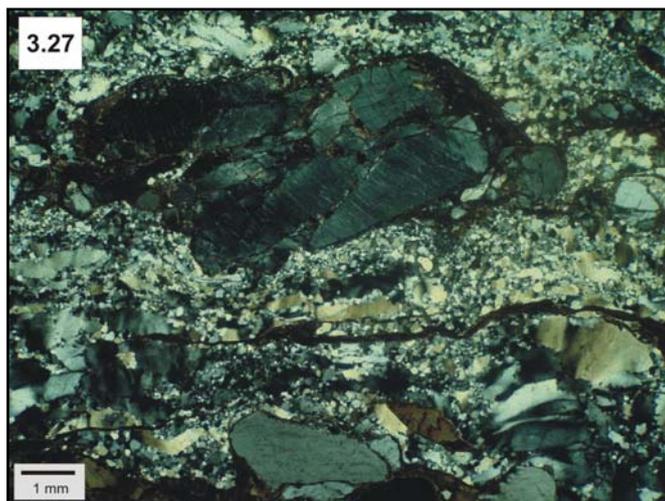
Este corpo aflora na região conhecida como Bairro da Glória, a leste da cidade de Cristina, como lajedos e matações em encostas suaves e no leito de pequenos rios. Em mapa apresenta uma forma elipsoidal com aproximadamente 3,5 km de comprimento e 1,5 km de largura (Anexo 1). Ocorre encaixado em ortognaisses Neoproterozóicos que estão posicionados tectonicamente sobre sucessões metassedimentares da MSA. Nas bordas do corpo a granulometria é mais fina e apresenta forte foliação, enquanto que no centro a granulometria é mais grossa e não há registro de deformação aparente. A rocha é composta por quartzo, microclina, plagioclásio, biotita, granada, sillimanita e muscovita, tendo como minerais acessórios apatita, zircão e minerais opacos. Sua composição mineralógica sugere que este granito é produto de retrabalhamento crustal com a presença de metassedimentos entre os materiais fundidos.



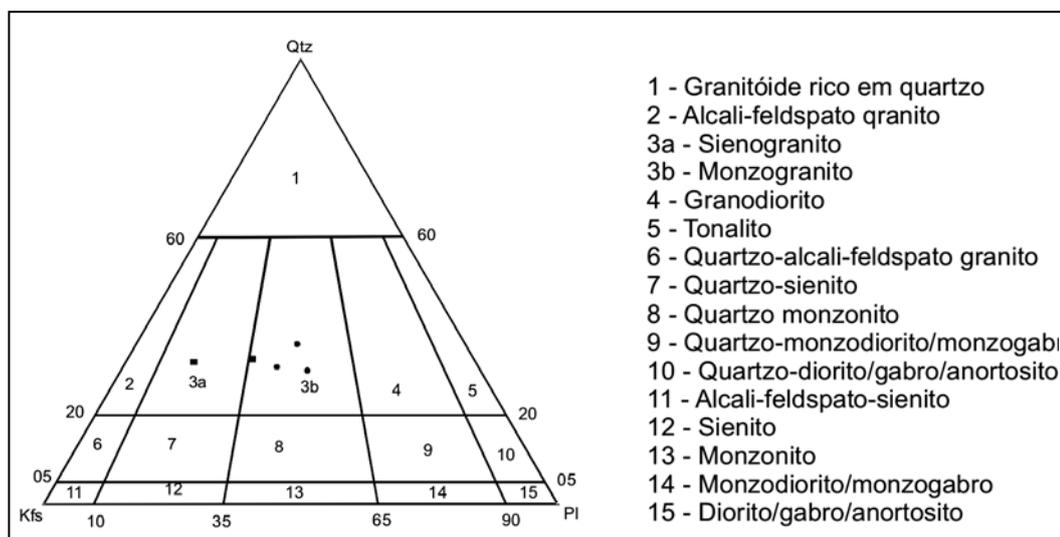
**Foto 3.25:** Bandamento composicional no Granito Serra da Pedra Branca, marcado pela alternância de camadas félsicas quartzo-feldspáticas e camada mais máficas com maior porcentagem de biotita, e xenólito de ortognaisse encaixante do corpo, ambos deformados durante a fase Dr1, contemporânea ao alojamento do granito. O sentido de movimento visto na Foto não é real pois o corte é oblíquo a direção da lineação (ponto RD-765; escala: tampa de lente Fotográfica com 5 cm de diâmetro).



**Foto 3.26:** Granito Serra da Pedra Branca com nível decimétrico com forte foliação tectônica subparalela a orientação preferencial de fenocristais de feldspatos nas porções pouco deformadas (ponto RD-765; escala: martelo de 30 cm).



**Foto 3.27:** Nível milonítica na borda do Granito Serra da Pedra Branca com textura de milonito de temperatura média com comportamento rúptil de porfiroclastos de feldspato, apresentando micro-falhas e formas angulosas, e comportamento dúctil de quartzo, com desenvolvimento de novos grãos por recristalização dinâmica na borda de grãos relictos com subgrãos e extinção ondulante (ponto RD-1190).



**Figura 3.3:** Diagrama QAP de classificação de rochas ígneas (Streckeisen, 1967), com as composições modais de granitóide neoproterozóicos; círculo - Granito Pedra Branca; quadrado - Granitóide Gloria (contagem de ponto com média de 350 pontos por lâmina).

### Granito Marins (NP3γ3ama)

Ocorre no limite sul da Folha Itajubá (1:100.000) a sudeste da cidade de Marmelópolis, apresenta contorno aproximadamente circular e intrude paragnaisses. Segundo Pereira *et al* (2001) este corpo apresenta quatro litótipos: granodiorito, monzogranito, sienogranito e alcali-feldspato granito. O Granodiorito tem cor cinza-clara, textura equigranular, e é composto por plagioclásio, quartzo, microclina, biotita e muscovita, tendo como minerais acessórios zircão, apatita, allanita e granada, e minerais secundários fluorita, epidoto, clorita e sericita. O plagioclásio é hipidiomórfico e apresenta orientação por fluxo magmático. O monzogranito tem cor rosa esbranquiçada, textura inequigranular xenomórfica, granulometria fina a média e é composto por quartzo, plagioclásio, microclina, biotita, tendo como minerais acessórios zircão e allanita, e minerais secundários fluorita, epidoto, clorita e sericita. Ocorre como bolsões interdigitados nos granodioritos e sienogranitos. O sienogranito tem cor esbranquiçada à amarelada, granulometria média a fina e é

composto por microclina, quartzo, plagioclásio, biotita, tendo como minerais acessórios zircão, apatita, allanita e granada, e minerais secundários fluorita, muscovita, epidoto e sericita. O alcali-feldspato granito tem cor rosa esbranquiçada, textura inequigranular xenomórfica a porfirítica, granulometria média a grossa e é composto por microclina, quartzo, plagioclásio, biotita, tendo como minerais acessórios zircão, apatita, allanita, minerais opacos e titanita, e minerais secundários epidoto, muscovita, clorita e sericita. Ocorre como aplitos e dique subverticais orientados segundo a direção 300°-120°, com espessura inferior a 30cm. Segundo Pereira *et al* (2001) estas rochas apresentam caráter peraluminoso, seguem o trend de rochas cálcio-alcalinas e foram gerados sin-tectonicamente.

#### **Granito Itanhandu (NP3γ3ita)**

Ocorre no limite leste da Folha Itajubá (1:100.000), a leste da cidade de Virginia, apresentando contorno aparentemente circular, intrudindo ortognaisses da Unidade Ortognaissica Migmatítica Intermediária. Apresenta uma fácies predominante com granulometria grossa e textura inequigranular porfirítica, com fenocristais de microclina com comprimento máximo de 5cm, e outra fácies de granulometria média a fina e textura equigranular. Composto por quartzo, plagioclásio, microclina e menor proporção de muscovita, biotita, turmalina, granada, monazita, zircão e minerais opacos. Possui fraca foliação definida pela orientação preferencial de biotita e muscovita. Segundo Pereira *et al* (2005) este granito deriva de um magma cálcio-alcalinos de caráter peraluminoso e foi gerado sin-tectonicamente.

#### **Granito Marmelópolis (NP3γ3mar)**

Ocorre ao norte da cidade de Marmelópolis, intrudindo paragnaisse da Unidade São Vicente. Apresenta contorno circular e diâmetro de aproximadamente 1km. É composto por quartzo, microclina, plagioclásio e biotita.

#### **Granito Serra do Cubatão (NP3γ3sc)**

Ocorre na Serra do Cubatão a Noroeste da cidade de Marmelópolis, como um corpo alongado, com aproximadamente 20km de comprimento e no máximo 4km de largura, intrudindo paragnaisse da Unidade São Vicente. Possui granulação média e apresenta textura inequigranular porfirítica, com fenocristais de microclina centimétricos. Possui composição monzogranítica, composto por quartzo, plagioclásio, microclina e biotita. Os minerais acessórios são apatita, allanita, titanita e zircão. Apresenta foliação tectônica definida pela orientação preferencial de biotita e fenocristais de K-feldspato. Localmente encontram-se enclaves de rocha diorítica sem registro de foliação interna. Este granito deriva de um magma cálcio-alcalinos, tem caráter metaluminoso e geração sin-colisional.

### **3.5 Rochas Alcalinas Terciárias (ENalk)**

Estas rochas ocorrem na metade leste da Folha Itajubá (1:100.000), intrudindo em diversas unidades pré-cambrianas. A nordeste da cidade de Virginia afloram dois corpos de rocha alcalina, aproximadamente circulares com diâmetro em torno de 500 metros, separados por uma área de aluvião. Em vários outros pontos da folha afloram diques fonolíticos com espessura variando de centimétrica a métrica, em geral não mapeáveis em escala 1:100.000, que foram indicadas com a letra grega lambda no mapa. Estas rochas apresentam contato brusco com as rochas encaixantes,

localmente observando enclaves centimétricos. Nos diques observa-se fluxo ígneo, definido pela orientação preferencial de fenocristais de sanidina (Foto 3.28). Parece ter uma tendência para estes diques de ter uma atitude preferencial E-W e subvertical, entretanto também são encontrados ao longo da Zona de Cisalhamento Caxambu, apresentando a mesma orientação NE-SW.

Estas rochas apresentam textura afanítica com fenocristais idiomórficos de sanidina, nefelina, anfibólio e minerais opacos (Foto 3.29). Possuem composição de fonolito, derivam de magma basáltico alcalino intraplaca e apresentam caráter peralcalino. Na cidade de São Lourenço ocorre um dique de rocha de composição ultrabásica, com 60 centímetros de espessura, intrudindo ortogneisse migmatítico paleoproterozóico. Esta rocha é classificada como melilitito, composto por minúsculos fenocristais de melilita, nefelina, sanidina e perowskita (Foto 3.30).



**Foto 3.28:** Fenocristais de sanidina orientados paralelamente ao fluxo ígneo em dique de rocha alcalina encaixado na Zona de Cisalhamento Caxambu (ponto RD-852).

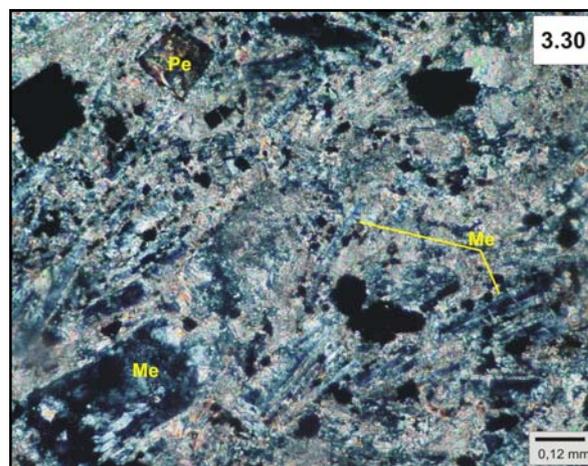
As rochas alcalinas encontradas na Folha Itajubá (1:100.000) não apresentam registro de deformação nem metamorfismo, apresentando relações de campo que indicam serem mais novas que todas as rochas acima descritas. Na falta de dados geocronológicos estas rochas são interpretadas como relacionadas ao magmatismo alcalino ocorrido durante o Cretáceo/Terciário, que gerou os Maciços de Passa-Quatro e Itatiaia, além de pequenos corpos como em Caxambu, que ocorrem em folhas adjacentes.

### 3.6 Depósitos Quaternários (ENa)

São principalmente sedimentos inconsolidados aluvionares, especialmente bem desenvolvidos nas bacias dos rios Verde, Lambari, Baependi, Palmela, do Peixe, Sapucaí, e Ribeirão do Piranguçu, além de depósitos de tálus adjacentes às escarpas das serras e de colúvios que cobrem grandes áreas de embasamento.



**Foto 3.29:** Fenocristais de sanidina envolvidos por matriz afanítica (ponto RD-852)



**Foto 3.30:** Fenocristais de perowskita e melilita envolvidos por matriz de material afanítico, em dique de rocha ultrabásica (ponto RD-818).

## 4. GEOLOGIA ESTRUTURAL

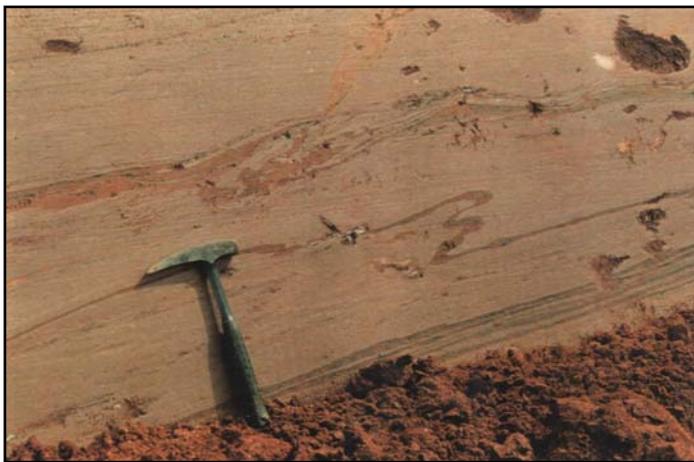
Nas rochas do embasamento, das sucessões metassedimentares e nos ortognaisses neoproterozóicos foram reconhecidas estruturas tectônicas relacionadas com três fases deformacionais regionais, sendo a principal (DB) e mais antiga ligada à Faixa Brasília e outras duas mais novas (DR1 e DR2) vinculadas à Faixa Ribeira. Estruturas que pudessem ser relacionadas com a primeira fase deformacional do extremo sul da Faixa Brasília (DB1) só foram observadas em lâmina, através do padrão de inclusão em porfiroblastos de granada (Foto 4.1) e de microlitos escassos. Nos Granito Serra da Pedra Branca, Serra da Onça e Serra do Cubatão só foram encontradas estruturas relacionadas com a fase DR1. Já as rochas alcalinas não apresentam nenhum registro de deformação.



**Foto 4.1:** Relícto da Foliação Sb1 preservado como trilha de inclusões em granadas, registrando uma foliação pretérita a foliação principal Sb2, dobrada. Biotita xisto da Unidade Santo Antônio (ponto MR-202, largura da foto = 4mm).

### 4.1 Fase Deformacional DB

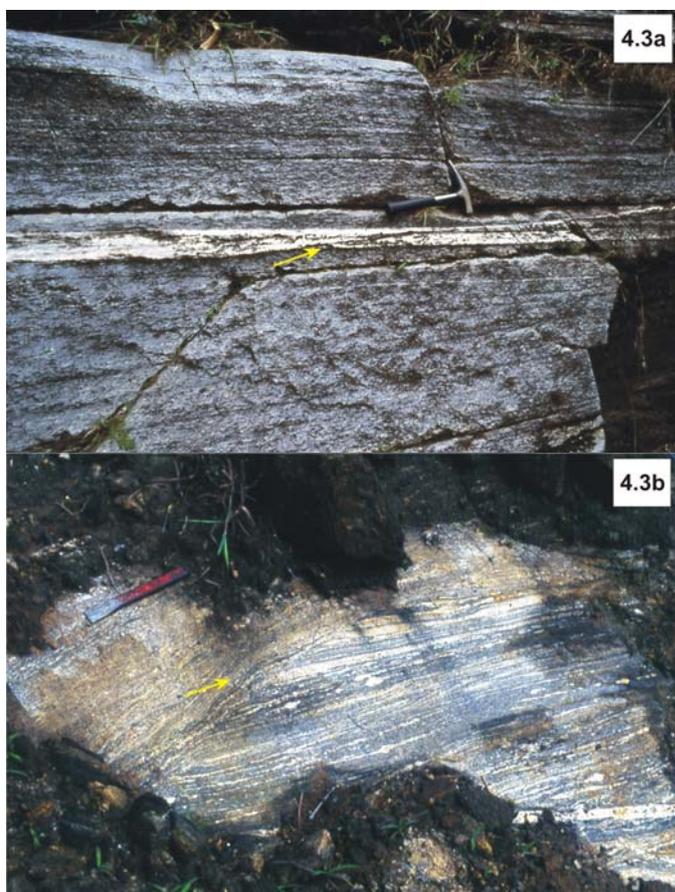
É a principal fase deformacional registrada na área, apesar da interferência das fases posteriores que localmente chegam a mascarar-la. Nesta fase desenvolveu-se o sistema de nappes (Anexo 1) sob um regime dúctil/rúptil de alta temperatura, evidenciado pela presença de dobras (Foto 4.2),



**Foto 4.2:** Dobra assimétrica da fase DB com plano axial subparalelo à foliação principal (Sb2), em Biotita xisto alterado da Unidade Santo Antônio (ponto MR-131).

fechadas a isoclinais de escala megascópica, associadas com as falhas de empurrão (Fotos 4.3a e b). Estas nappes estão estruturadas em sinformais com eixo mergulhando para WSW e apresentam em mapa contornos em forma de cunha, mais abertas ao norte e mais fechadas ao sul (Anexo 1). Em parte este formato pode ser produto da interferência da fase posterior DR1 sobre estruturas DB2, que apresentariam originalmente superfícies de empurrão com contornos de dobras

mais suaves. As superfícies de empurrão que delimitam as nappes desta fase foram identificadas através de truncamento de contatos litológicos, inversão estratigráfica, descontinuidade metamórfica e relativamente poucas rochas miloníticas. Foram distinguidas seis nappes (Fig. 4.1 e Anexos 1), descritas abaixo seguindo a ordem do empilhamento tectônico da base para o topo.



**Foto 4.3:** Zona de cisalhamento de baixo ângulo com movimento de topo para nordeste, da Fase DB2, em: a) ortogneisse do embasamento (ponto RD-640; escala: martelo de 30 cm); b) cianita-K-feldspato gnaisse da Unidade Arantina em fácies granulito (ponto RD-269; escala: talhadeira de 15 cm).

*Nappe Luminárias (NLU) e São Tomé das Letras (NSTL)* – presentes na Folha Varginha (1:100.000) e na parte norte da Folha Itajubá (1:100.000), são composta pelas unidades São Vicente, São Tomé das Letras, Campestre e Santo Antônio, da Megassequência Andrelândia.

*Nappe Carmo da Cachoeira (NCC)* – ocorre em toda a área sendo constituída por sucessões da Megassequência Andrelândia, unidades São Vicente, Santo Antônio e Arantina. Esta nappe está posicionada tectonicamente sobre rochas do embasamento e das nappes Luminárias e São Tomé das Letras.

*Nappe Lambarí (NLa)* – é uma extensa placa composta apenas por litótipos do embasamento, posicionada sobre sucessões da MSA, das nappes São Tomé das Letras e Carmo da Cachoeira. Devido à interferência das fases posteriores e a erosão esta nappe aparece em mapa desmembrada em vários segmentos. No segmento que ocorre na porção noroeste

da Folha Itajubá (1:100.000) ocorre com frequência xisto ultramáfico no contato basal.

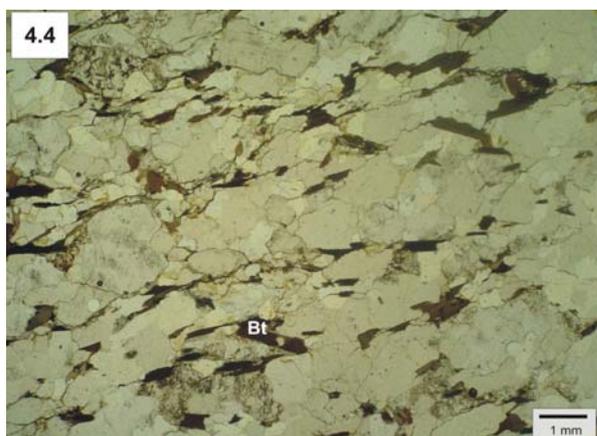
*Nappe Varginha (NV)* – encontrada na parte oeste da Folha Varginha (1:100.000) e na parte sul da Folha Itajubá (1:100.000), composta exclusivamente pela Unidade Arantina em fácies granulítica, com algumas lascas tectônicas desmembradas na base, com ortogneisses migmatíticos paleoproterozóicos. Esta nappe está posicionada sobre ortogneisses do embasamento que compõem a Nappe Lambari.

*Nappe Socorro-Guaxupé (NSG)* – Ocorre parte oeste da Folha Varginha (1:100.000) e na parte sul da Folha Itajubá (1:100.000), posicionada sobre granulitos da Nappe Varginha. É composta pelas unidades Granulítica Basal, Ortognaissica Migmatítica Intermediária e Paragnaissica Migmatítica Superior, além de Granitóide cedo a sin-colisional, entretanto na Folha Varginha só ocorre a unidade basal.

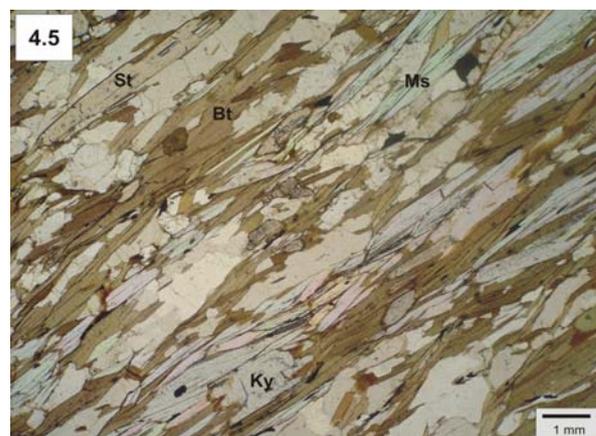
Nesta fase desenvolveram-se nas rochas envolvidas neste sistema de nappes a foliação principal (Sb2), lineações de estiramento e mineral (Lb2) e dobras fechadas à isoclinais (Db2).

#### Foliação Principal (Sb2)

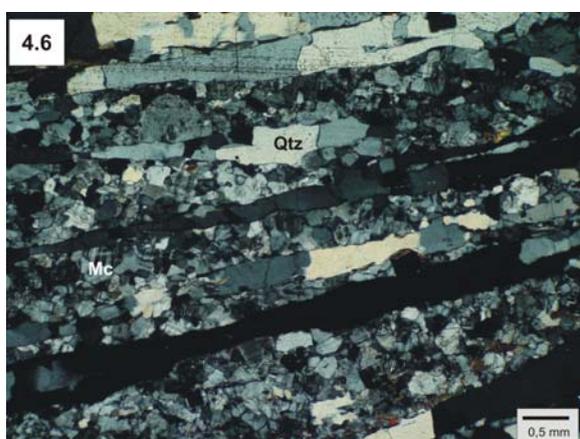
Esta foliação é observada como uma xistosidade contínua, espaçada (Foto 4.4) ou anastomosada (Foto 4.5), ou como um bandamento gnáissico (Foto 4.6), dependendo do tipo litológico no qual se desenvolve. Em geral é definida pela orientação preferencial de micas, além de cianita, sillimanita, anfibólio, piroxênios, estauroлита e fitas de quartzo. Normalmente encontra-se subparalela ao acamamento e ao bandamento composicional das rochas, entretanto localmente pode-se observar a foliação mais antiga em rochas do embasamento sendo transposta por Sb2 (Foto 4.7). A atitude original desta foliação é de baixo mergulho para SW, valor amplamente encontrado na Folha Varginha. Entretanto na parte sul da Folha Varginha e na Folha Itajubá esta foliação apresenta mergulho íngreme até subvertical para SE e NW, devido ao dobramento gerado durante a fase posterior DR1 (Fig. 4.2 e Anexo 1).



**Foto 4.4:** Orientação preferencial de cristais de biotita definindo uma foliação espaçada desenvolvida em ortognaisse do embasamento durante a Fase DB (ponto RD-784).



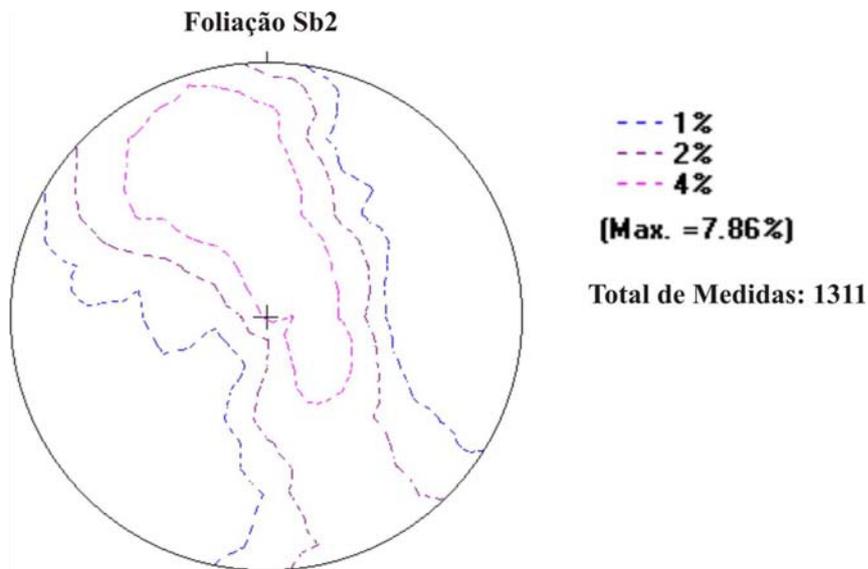
**Foto 4.5:** Orientação preferencial de cristais de cianita, estauroлита, muscovita e biotita definindo uma foliação anastomosada desenvolvida na Fase DB em Biotita xisto da Unidade Santo Antônio (ponto RD-961).



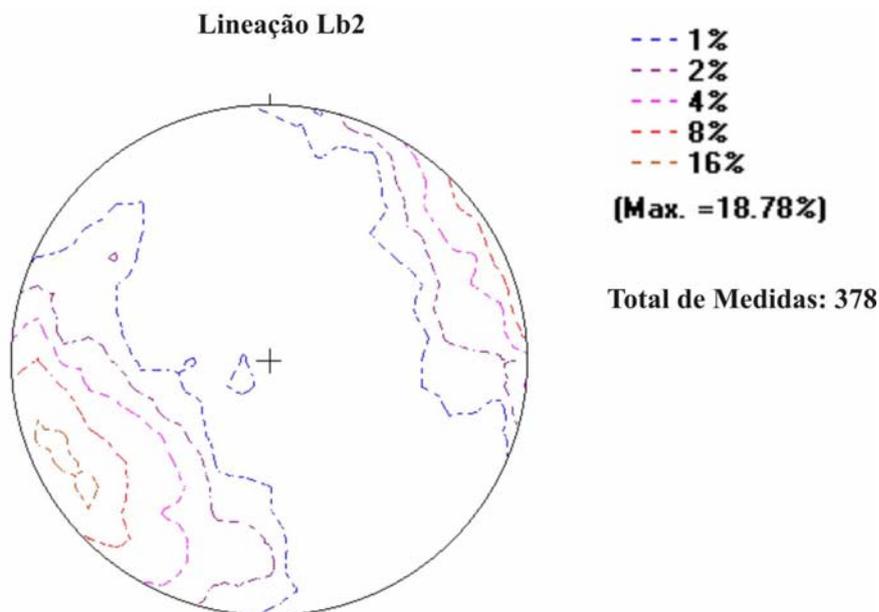
**Foto 4.6:** Bandamento gnáissico em cianita-K-feldspato gnaisse da Unidade Arantina em fácies granulito, definido por fitas de quartzo e bandas de feldspato recristalizado (ponto ITJ-02).



**Foto 4.7:** Ortognaisse do embasamento com foliação milonítica Sb2 transpondo foliação anterior (ponto RD-226, escala: martelo de 30 cm).



**Figura 4.2:** Projeções esterográficas mostrando a orientação dos pólos da foliação Sb2. Projeção equiárea, hemisfério inferior.

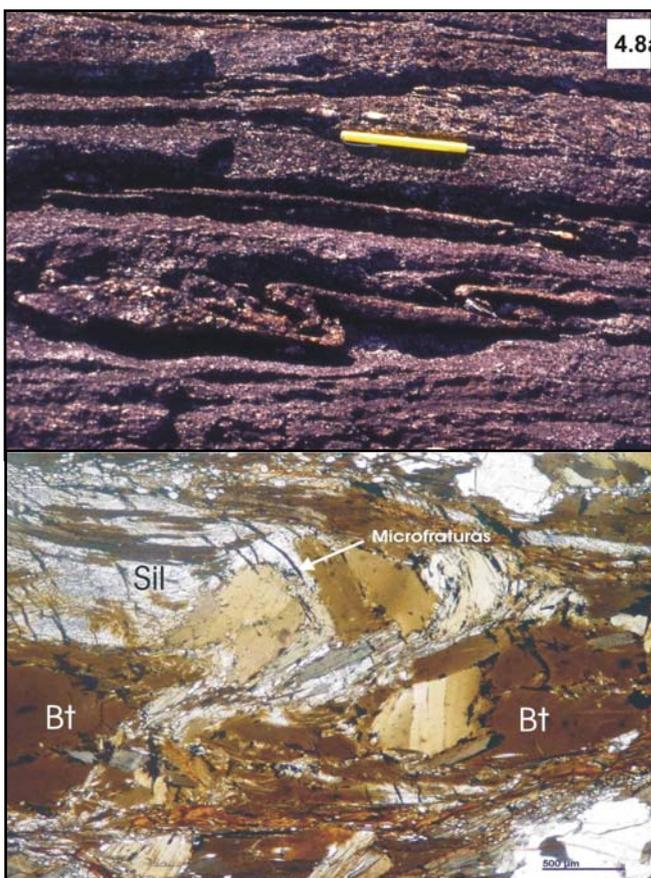


**Figura 4.3:** Projeções esterográficas mostrando a orientação da lineação Lb2. Projeção equiárea, hemisfério inferior.

#### Lineação de Estiramento e/ou Mineral (Lb2)

Encontra-se registro desta lineação em rochas de todas as unidades, exceto nos granitoides Neoproterozóicos e nas rochas alcalinas. As lineações de estiramento são melhor observadas em gnaisses, quartzitos e veios de quartzo, enquanto a lineação mineral é bem evidente nas rochas mais regiões onde existe uma variação maior da direção desta lineação: a) Na parte oeste da Folha Varginha, onde a lineação de estiramento LB2 dispõe-se ortogonalmente ao contato basal da Nappe Guaxupé, provavelmente devido ao posicionamento desta nappe; b) nas rochas granulíticas da região de Cristina-Maria da Fé, centro-sul da Folha Itajubá a direção varia entre 220° e 18, variação interpretada como interferência da fase posterior DR1, dobrando a foliação Sb2 e rotacionando as lineações Lb2 no sentido anti-horário. Localmente encontram-se lineações Lb2 com

caimento suave até subvertical para NE, também sendo interpretados como efeito do dobramento gerado durante DR1.



**Foto 4.8:** Dobras assimétricas da Fase DB com plano axial de baixo mergulho e vergência para ENE, desenvolvidas em: a) quartzito da Unidade São Vicente (ponto RD-456) e b) granada-sillimanita paragneisse da Unidade Paragneissica Migmatítica Superior (ponto GI-218).

rochas de fácies granulito e em rochas de fácies anfibolito próximas ao contato tectônico. Os milonitos desenvolvidos nesta fase apresentam textura de gnaiss fitado, típica de milonitos gerados em grau metamórfico elevado. Nestas condições o quartzo e o feldspato, principais minerais dos milonitos estudados, apresentam pouca diferença reológica, ambos respondendo a deformação de forma dúctil, o que dificulta o desenvolvimento de indicadores cinemáticos.

O quartzo ocorre como conjuntos de grãos ou cristais isolados alongados, formando fitas (*ribbons*) que definem a foliação da rocha (Foto 4.13). O feldspato é encontrado em bandas, ou fitas, geralmente recristalizado

com contatos poligonais formando ângulo de aproximadamente  $120^\circ$  (Foto 4.13). Os porfiroclastos presente nestes milonitos são de granada, piroxênio e feldspato (Fotos 4.13, 4.14a e b).

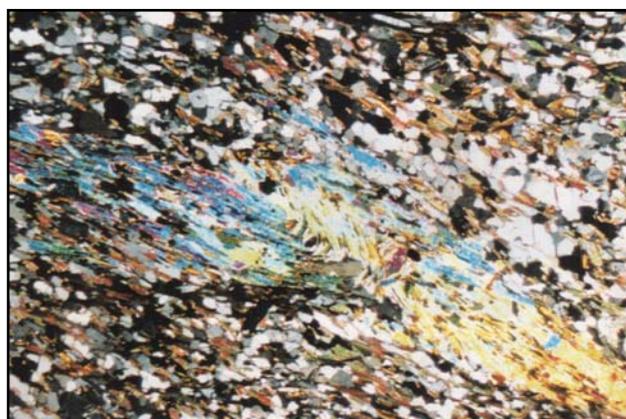
#### Dobras (Db2)

Em geral são dobras assimétricas, fechadas à isoclinais, de escala microscópica a megascópica (Fotos 4.8 a e b), com plano axial subparalelo à foliação principal (Foto 4.9) e eixo com caimento suave ortogonal à direção geral de Lb2, indicando vergência para NE. Localmente são observadas dobras com caimento do eixo subparalelo a direção da lineação de estiramento Lb2, interpretadas como *oblique folds* (Passchier, 1986).

Dobras desta fase em escala megascópica podem ser observadas em mapa na região entre Lambarí e Cambuquira, onde megadobras assimétricas com plano axial de mergulho suave para SW causam repetição de litologias e inversão estratigráfica (Anexo 1).

#### Milonitos

São encontrados ao longo de superfícies de empurrão da fase DB2, registrados em



**Foto 4.9:** Dobra assimétrica da fase DB com plano axial subparalelo à foliação principal Sb2, em biotita xisto da Unidade Santo Antônio (ponto MR-179; largura da foto = 4mm).

## Indicadores Cinemáticos

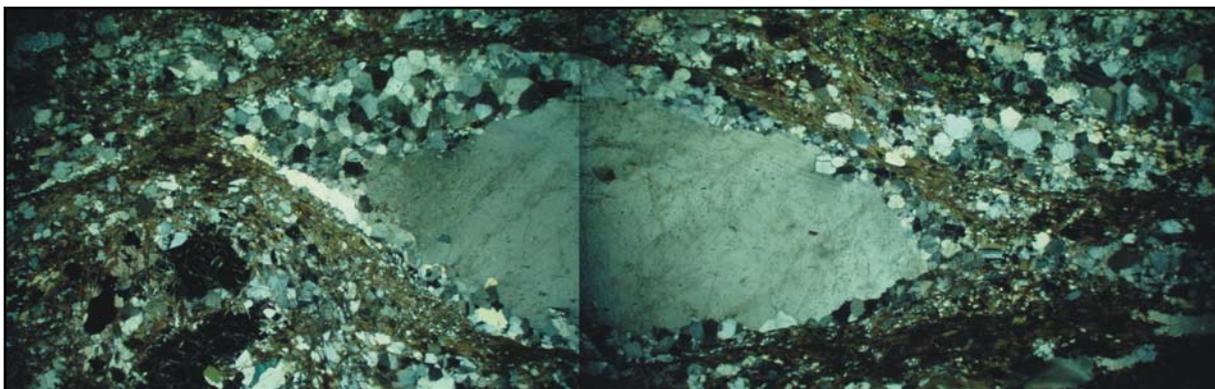
Os principais indicadores cinemáticos desenvolvidos durante DB2 são: estruturas do tipo *fish* de feldspato (Foto 4.10), anfibólio e piroxênio (Foto 4.11), porfiroclastos manteados (Foto 4.12) e dobras assimétricas (Foto 4.8a). Indicam transporte tectônico com movimento de topo para E, ENE e NNE, ao longo de superfícies originalmente de baixo ângulo. Estas superfícies de empurrão DB2 foram posteriormente dobradas durante a fase DR1, chegando até a estar verticalizada dando a falsa impressão de um movimento transcorrente, como no contato basal da Nappe Varginha, na região entre Cristina e Maria da Fé (Anexo 1).



**Foto 4.10:** Indicador cinemático tipo Feldspato-fish, da Fase DB desenvolvidos em ortognaisse milonítico de alta temperatura da Nappe Socorro, próximo ao contato basal, indicando movimento de topo para NE (ponto RD-287).



**Foto 4.11:** Indicador cinemático tipo clinopiroxênio-fish, da Fase DB desenvolvidos em ortognaisse milonítico de alta temperatura da Unidade Arantina em fácies granulito, na Nappe Varginha, indicando movimento de topo para NE (ponto MR-249).

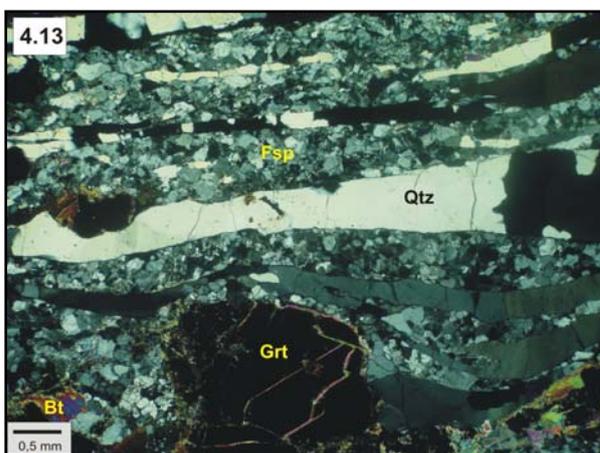


**Foto 4.12:** Indicador cinemático, porfiroclasto de feldspato apresentando manto com recristalização de feldspato, da Fase DB desenvolvidos em ortognaisse milonítico de alta temperatura da Nappe Socorro, próximo ao contato basal, indicando movimento de topo para NE (ponto RD-1128).

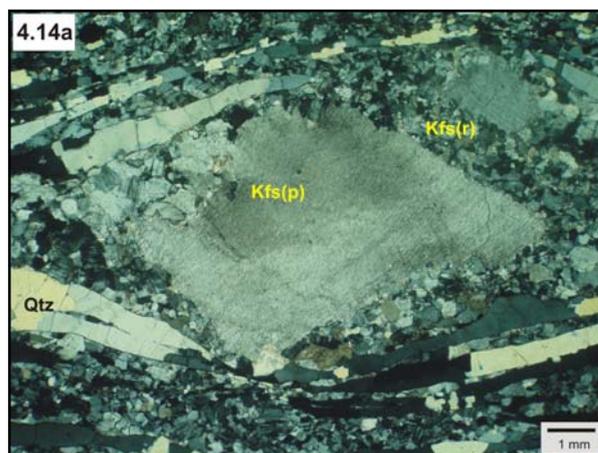
## **4.2 Fase Deformacional DR1**

Encontram-se registros em rochas do embasamento, da Megassequência Andrelândia, do Complexo Varginha-Guaxupé e em alguns granitóides neoproterozóicos. Esta fase ocorreu sob um regime dúctil/rúptil de temperatura média, gerando regionalmente desde crenulações até dobras de escala megascópica (Dr1), além de foliação milonítica (Sr1) e lineação de estiramento / mineral (Lr1) localizadas ao longo de zonas de cisalhamento reversas, Conceição da Pedra (ZCCP) e

Marmelópolis (ZCM) e transcorrentes sinistrais, Freitas (ZCF) e Maria da Fé (ZCMF). Estas zonas de cisalhamento foram identificadas através de truncamento de contatos litológicos, inversão estratigráfica e abundantes rochas miloníticas (Anexos 1). Também são encontrados registros de boudinagem de rochas ou minerais mais competentes na direção SW-NE, associados com pequenas ou microzonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais com a mesma orientação das ZCMF e ZCF (Foto 4.15a e b).



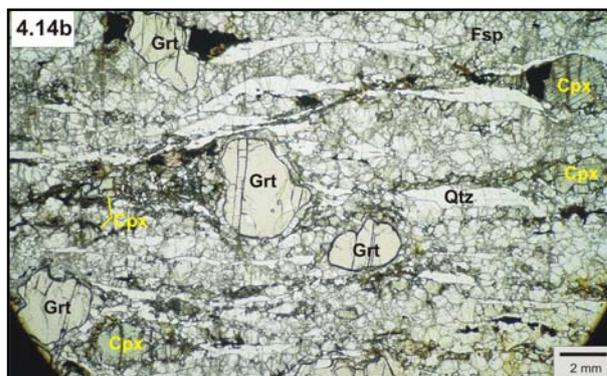
**Foto 4.13:** Textura característica de milonito de alta temperatura da fase DB2, apresentando fitas de quartzo com cristais alongados e bandas de feldspato equidimensionais recristalizados; ortognaisse do embasamento sob o contato basal da Nappe Varginha (ponto ITJ-02).



**Foto 4.14a:** Porfiroclasto de K-feldspato manteedo simétrico, com desenvolvimento de novos grãos equidimensionais na borda; ortognaisse do embasamento sob o contato basal da Nappe Varginha (ponto ITJ-02).

#### Foliação (Sr1)

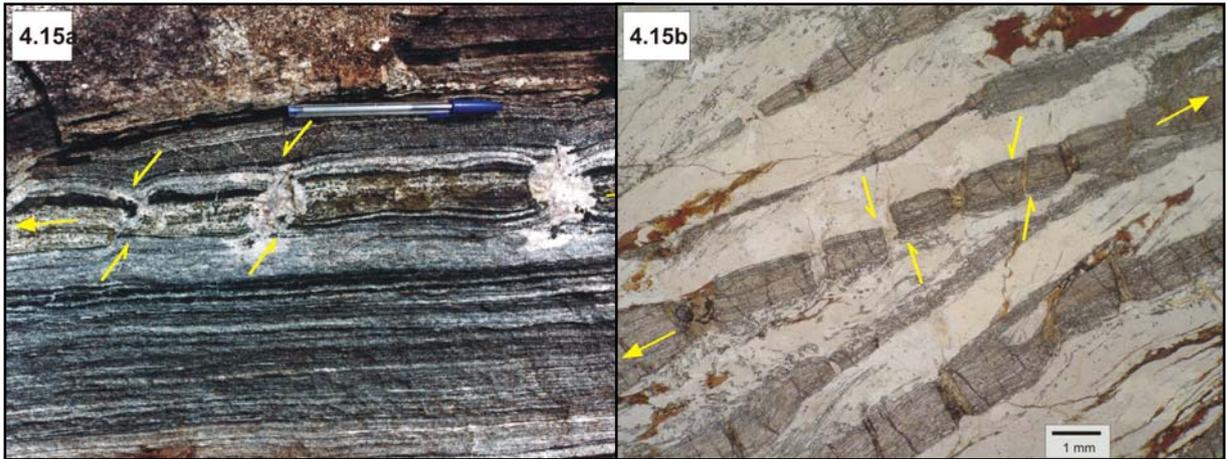
Ao contrário da fase DB2, que gerou uma foliação tectônica, Sb2, de amplo registro regional, a foliação Sr1 tem registro localizado. Ocorre como foliação plano axial relacionada a dobras Dr1, geralmente em rochas pelíticas, ou como planos miloníticos a ultramiloníticos (Fotos 4.16a e b) desenvolvidos ao longo das zonas de cisalhamento ZCCP, ZCM, ZCMF e ZCF ou zonas menores. A foliação Sr1 é definida pela reorientação de minerais planares ou prismáticos como micas,



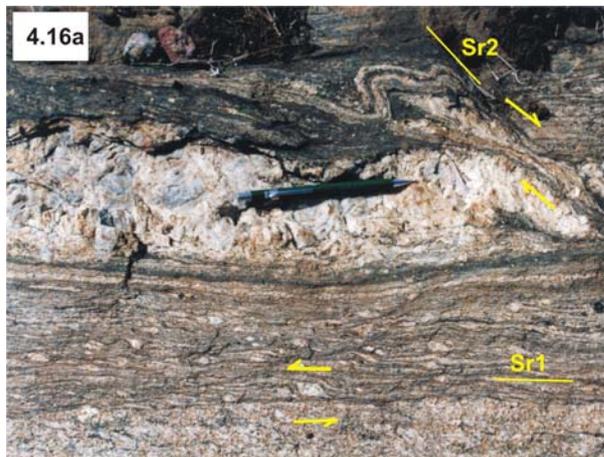
**Foto 4.14b:** Milonito de alta temperatura com porfiroclastos de granada e clinopiroxênio, bandas com feldspato recristalizado e fitas de quartzo definindo a foliação milonítica; ortognaisse da Nappe Socorro, próximo a seu contato basal (ponto RD-288)

anfibiólio e sillimanita, e geralmente possui mergulho íngreme para SE ao longo das zonas reversas e subvertical para ESE nas zonas de cisalhamento transcorrentes (Fig. 4.4).

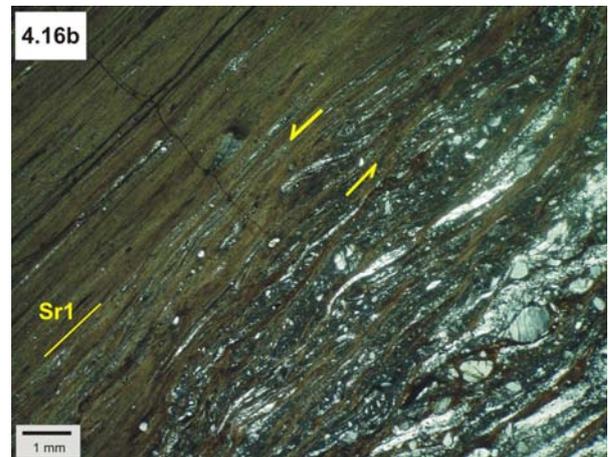
No Granito Pedra Branca (GPB; Anexo 1) são encontrados na borda do corpo planos miloníticos paralelos àqueles desenvolvidos ao longo de ZCCP (Fig. 4.4, Foto 3.28). No centro do corpo ocorrem níveis deformados, com até 1 metro de espessura, onde se desenvolve uma foliação tectônica (Foto 3.17) paralela àquela registrada ao longo da ZCCP. Também são encontradas pequenas zonas de cisalhamento com direção paralela a ZCMF e ZCF, que deslocam a foliação ígnea.



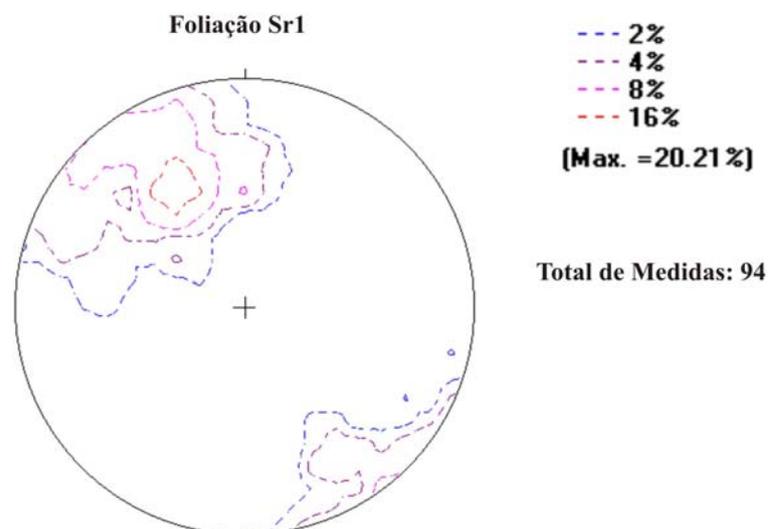
**Foto 4.15:** a) camadas de anfibolito intercaladas em biotita-gnaissse bandado da Unidade São Vicente, apresentando boudinagem resultado de extensão na direção WSW-ENE associada com movimento transcorrente sinistral na direção SSW-NNE, desenvolvidas durante a Fase DR1 (ponto RD-654; escala: 13 cm); b) estruturas semelhantes com as mesmas direções, observadas em agregado de sillimanita que ocorre em quartzito da Unidade São Vicente, próximo a Zona de Cisalhamento Conceição da Pedra (ponto RD-199).



**Foto 4.16a:** Milonito da Zona de Cisalhamento Transcorrente Maria da Fé, desenvolvido durante a fase DR1, com feldspato-fish indicando movimento sinistral. No canto superior direito da Foto nota-se a foliação milonítica Sr1 com deslocamento transcorrente dextral posterior associado com a Fase DR2 (ponto ITJ-01, escala: 14 cm).



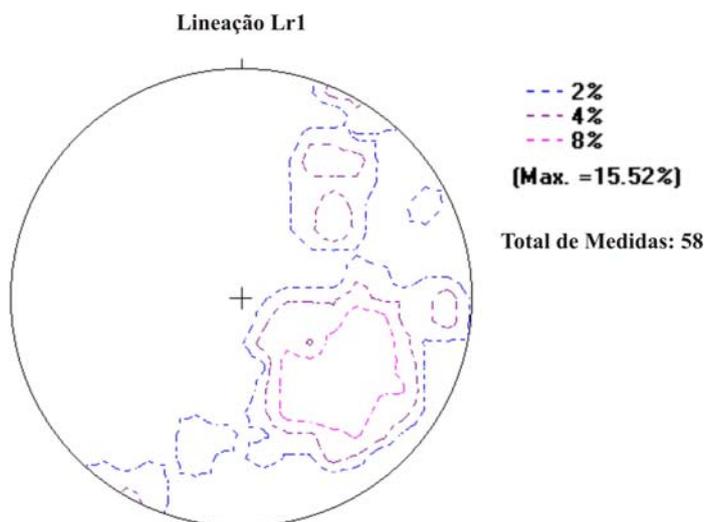
**Foto 4.16b:** Milonito com níveis ultramiloníticos (parte superior esquerda) desenvolvido ao longo da Zona de Cisalhamento reversa Conceição da Pedra. Dobras assimétricas (centro da Foto) indicam em mapa movimento de topo para NW (ponto RD-187).



**Figura 4.4:** Projeções estereográficas mostrando a orientação dos pólos da foliação Sr1. Projeção equiárea, hemisfério inferior.

### Lineação de Estiramento e/ou Mineral (Lr1)

Estas lineações estão registradas principalmente nos milonitos desenvolvidos ao longo das zonas de cisalhamento acima citadas, entretanto também são encontradas nas bandas deformadas no Granito Serra da Pedra Branca. Ao longo das zonas de cisalhamento reversas apresentam caimento íngreme a subvertical com direções variando entre 090° e 160° (Fig. 4.5). Já nas zonas de cisalhamento transcorrentes possuem caimento suave a subhorizontal, com direção entre 010° - 030° e 220° - 190° (Fig. 4.5).



**Figura 4.5:** Projeções estereográficas mostrando a orientação da lineação Lr1. Projeção equiárea, hemisfério inferior.

No Granito Serra da Pedra Branca, além das lineações acima citadas, também são encontradas lineações de baixo ângulo com caimento para SW, desenvolvidas ao longo de planos com mergulho íngreme para SE (Fig. 4.5).

### Dobras (Dr1)

Estas dobras ocorrem desde escala de microscópica (Foto 4.17a e b) até escala de mapa (Anexo 1). São fechadas a isoclinais, geralmente assimétricas, com plano axial apresentando mergulhos íngremes para SE a subverticais e eixo com caimento suave para SW e NE.



**Foto 4.17:** Dobras da Fase DR1 desenvolvidas em: a) ortognaisses do embasamento (exceto 4.11c): a) na Zona de Cisalhamento reversa Conceição da Pedra, com plano axial mergulhando 75° para SE (Foto em diagonal), indicando movimento reverso para NW (ponto RD-750, distância entre setas 2 metros); b) cristais de sillimanita orientados paralelamente ao plano axial de dobra fechada desenvolvida em quartzito da Unidade São Vicente, na Zona de Cisalhamento reversa Conceição da Pedra (ponto RD-266);

Em algumas dobras observa-se o rompimento ao longo de flancos adelgaçados, indicando o regime dúctil/rúptil (Fotos 4.18a e b). Nos xistos observam-se localmente crenulações (Foto 4.19) sobre a foliação Sb2, associadas a estas dobras. O grau de assimetria aumenta de norte para sul, apresentando vergência para NW (Anexo 1; seções geológicas).

Na região entre Lambarí-Cambuquira pode-se observar dobras recumbentes da fase DB2 afetadas por dobras da fase DR1 com planos axiais de mergulho íngreme para SW a subverticais, causando um padrão de redobramento complexo (Anexo 1).

### Milonitos

Os milonitos desta fase são encontrados ao longo de estruturas DR1 como a Zona de Cisalhamento Conceição da Pedra (FECP), reversa, e a Zona de Cisalhamento Maria da Fé (ZCMF), transcorrente sinistral. Apresentam texturas que indicam uma geração em ambiente dúctil a dúctil-rúptil. Estes milonitos apresentam uma diferença maior entre o comportamento reológico de minerais “duros” como feldspato, granada, piroxênios e anfibólios e “moles” como quartzo e micas, o que propicia o desenvolvimento de uma grande variedade de indicadores cinemáticos.



**Foto 4.18a:** Pequena zona de cisalhamento com dobra associada da fase DR1, deslocando e defletindo a foliação principal (Sb2) (ponto GI-204).



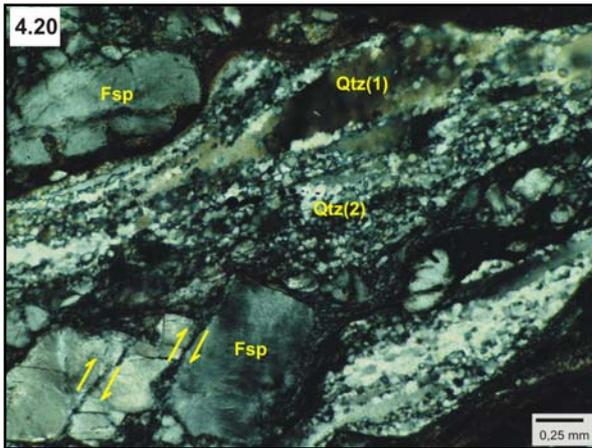
**Foto 4.18b:** Dobra assimétrica da Fase DR1 com falhas desenvolvidas paralelamente ao plano axial, ambos indicando movimento sinistral em lâmina e reverso com topo para NW em mapa ao longo da Zona de Cisalhamento reversa Conceição da Pedra (ponto RD-752).

O quartzo sofre diminuição de sua granulometria original e orientação preferencial paralelamente à foliação milonítica, apresenta diversas texturas deformacionais: a) novos grãos gerados por recristalização dinâmica (Foto 4.20), localmente apresentando foliação oblíqua (Foto 4.21); b) grãos relictos com desenvolvimento de subgrãos que passam lateralmente para novos grãos (4.22); c) cristais alongados com extinção ondulante, bordejados por subgrãos e novos grãos por recristalização dinâmica (Foto 4.23), d) em fraturas ou micro falhas em porfiroclastos (Foto 4.24).



**Foto 4.19:** Desenvolvimento de crenulação e foliação plano axial em muscovita xisto intercalado com quartzito da Unidade São Vicente (ponto RD-208).

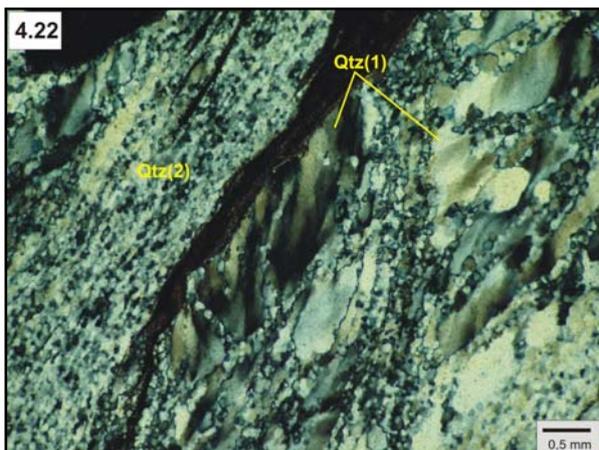
O feldspato, assim como o piroxênio, o anfibólio e a granada, geralmente ocorrem como porfiroclastos de formas angulosas a subangulosas, freqüentemente apresentando microfraturas e microfalhas sintéticas e antitéticas (Fotos 4.20, 4.23, 4.24). Entretanto em rochas com maior porcentagem de micas estes minerais apresentam comportamento mais dúctil, desenvolvendo formas arredondadas com novos grãos gerados por



**Foto 4.20:** Recristalização dinâmica de quartzo formando novos grãos (2) ao redor de grão relícto (1) com desenvolvimento de subgrãos e extinção ondulante. No canto inferior esquerdo da Foto observa-se microfalhas desenvolvidas em porfiroclasto de feldspato, mostrando comportamento mais rúptil que o quartzo; milonito da Zona de Cisalhamento Caxambu (DR2) desenvolvido em ortognaisse do embasamento (ponto RD-495).

O deslocamento de contatos entre unidades da Megassequência Andrelândia, da foliação Sb2 e de superfícies de empurrão da fase DB (Anexo 1) indicam um movimento transcorrente sinistral ao longo da ZCF. Deflexões da foliação ígnea no GPB também indicam um movimento transcorrente sinistral ao longo de pequenas zonas de cisalhamento paralelas as ZCMF e ZCF.

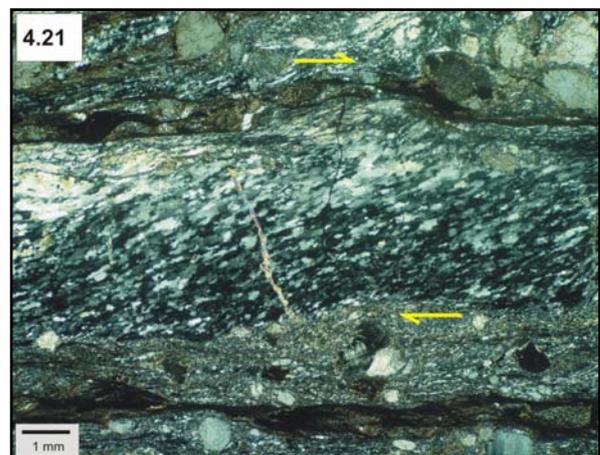
Em seções delgadas foram encontrados diversos tipos de indicadores cinemáticos: a) bandas de cisalhamento do tipo C' (foto 4.27), estruturas do tipo *fish* de muscovita (Foto 4.28), anfibólio, feldspato e piroxênio, *foliation fish* de muscovita e lentes de quartzo estirados, porfiroclastos manteados, *stair stepping* (Foto 4.29), dobras em quadrante (Foto 4.30), dobras assimétricas e foliação oblíqua (Foto 4.31). Indicam transporte tectônico com movimento de topo para NW ao longo da ZCCP e ZCM, e movimento transcorrente sinistral ao longo da ZCMF, ZCF e em alguns pontos ao longo ou próximo da Zona de Cisalhamento



recristalização dinâmica formando uma textura de porfiroclasto manteado (Foto 4.25) e sombra de pressão (Foto 4.26).

#### Indicadores Cinemáticos

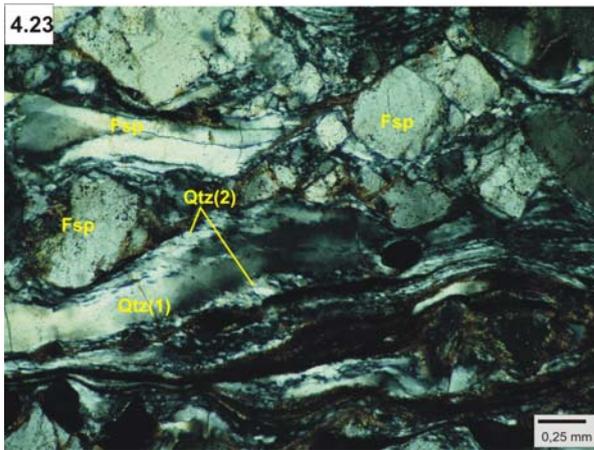
Xenólitos e bandamento composicional ígneo defletidos por Sr1 no Granito Serra da Pedra Branca (Foto 3.25) e nas rochas encaixantes dobras assimétricas com mergulho do plano axial para SE (Foto 4.17a) indicam um movimento de topo para NW ao longo da ZCCP.



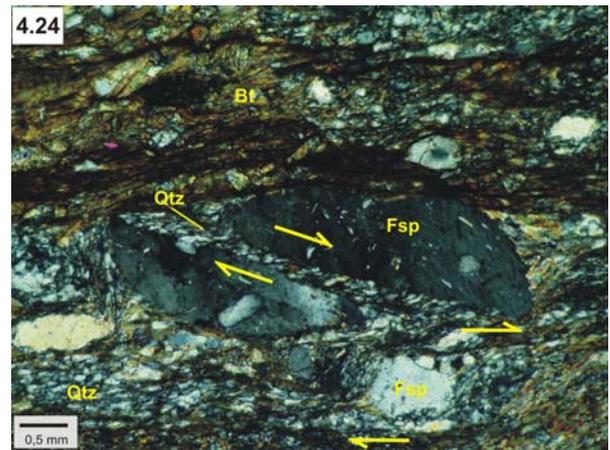
**Foto 4.21:** Foliação oblíqua evidenciada pela orientação preferencial de cristais de quartzo recristalizados em ortognaisse do embasamento milonítico desenvolvido na Zona de Cisalhamento Conceição da Pedra, indicando movimentação reversa com topo para NW (ponto RD-187).

Caxambu (ZCCa), estrutura da fase DR2 (Anexo 1). Em planos Sr1 nos níveis deformados do Granito Pedra Branca são encontrados escassos indicadores que mostram um movimento transcorrente destal na direção SW-NE ao longo da ZCCP (Anexo 1).

**Foto 4.22:** Porfiroclasto de quartzo apresentando subgrãos alongados que passam lateralmente para novos grãos de granulometria menor que o original devido à recristalização dinâmica; milonito da Zona de Cisalhamento Conceição da Pedra (DR1) desenvolvido em ortognaisse do embasamento (ponto RD-187).



**Foto 4.23:** Contraste reológico comum em milonito de temperatura média com deformação dúctil do quartzo, formando cristais alongados com desenvolvimento de subgrão e extinção ondulante no centro passando a novos grãos na borda, definindo a foliação milonítica e contornado porfiroclastos de feldspato deformados de forma rúptil, apresentando microfalhas e formato anguloso; milonito da Zona de Cisalhamento Caxambu (DR2) desenvolvido em ortognaisse do embasamento (ponto RD-568).



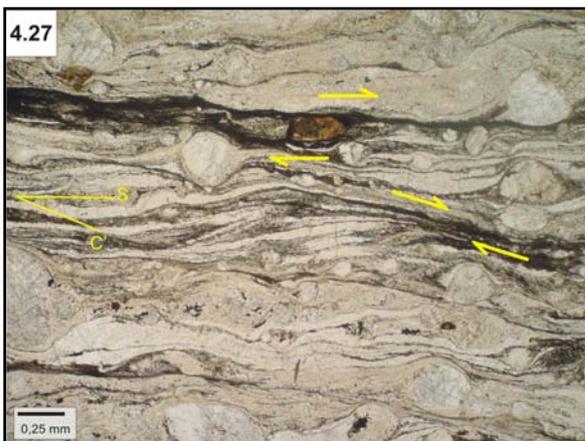
**Foto 4.24:** Novos grãos de quartzo preenchendo espaço gerado por microfalha destal em porfiroclasto de feldspato. No canto inferior direito da Foto nota-se *stair-stepping* em porfiroclasto de feldspato também indicando movimento destal ao longo do plano milonítico o que classifica a falha como sintética; milonito da Zona de Cisalhamento Conceição da Pedra (DR1) desenvolvido em ortognaisse do embasamento (ponto RD-1184).



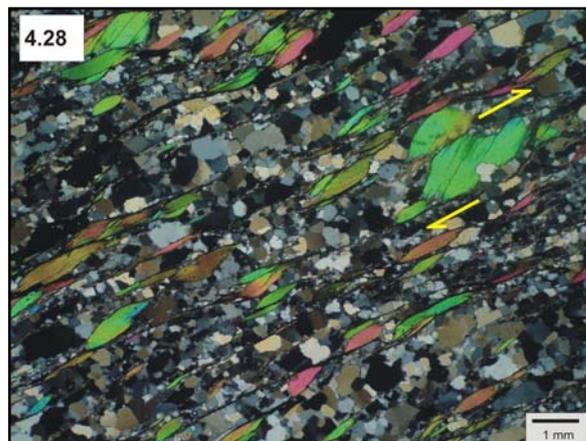
**Foto 4.25:** Porfiroclasto arredondado de feldspato com flame perthita e envolto por novos grãos de quartzo e feldspato formados por recristalização dinâmica; milonito da fase DR1 com movimento transcorrente sinistral desenvolvido em ortognaisse da Nappe Socorro próximo a Zona de Cisalhamento Caxambu (DR2) (ponto RD-1074).



**Foto 4.26:** Porfiroclasto de forma arredondada bordejado por uma fina camada de novos grãos formados por recristalização dinâmica e com biotita e quartzo cristalizando em sombra de pressão assimétrica que indica movimento sinistral em lâmina e mapa. Observa-se também porfiroclastos arredondados de hornblenda; milonito da fase DR1 com movimento transcorrente sinistral desenvolvido em ortognaisse da Nappe Socorro próximo a Zona de Cisalhamento Caxambu (DR2) (ponto RD-1078).



**Foto 4.27:** Planos S-C' desenvolvidos em ortognaise do embasamento milonítico ao longo da Zona de cisalhamento Conceição da Pedra, indicando movimentação reversa com topo para NW (ponto RD-870).



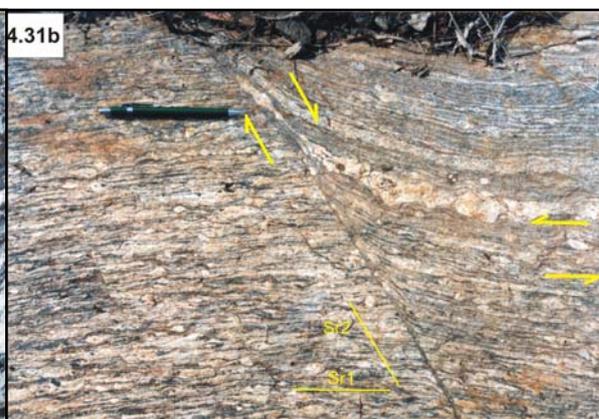
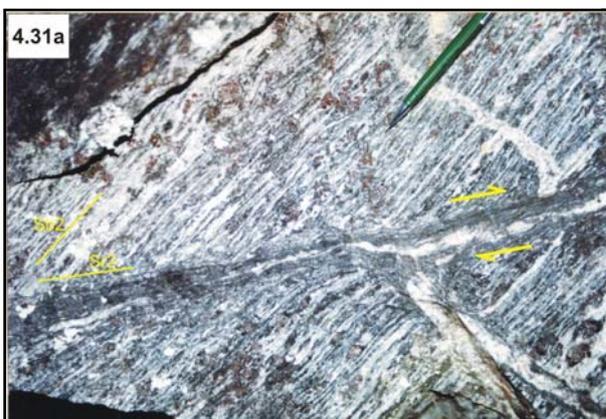
**Foto 4.28:** Indicadores cinemáticos da Fase DR1: Muscovita-fish desenvolvidas em lasca tectônica de quartzito ao longo da Zona de Cisalhamento Maria da Fé, indicando movimento transcorrente sinistral em mapa (ponto RD-719).



**Foto 4.29:** Indicadores cinemáticos da Fase DR1: anfibólio-fish em ortognaise milonítico da Nappe Socorro, indicando movimento transcorrente sinistral, próximo a Zona de Cisalhamento Caxambu, da Fase DR2, que apresenta movimento predominante no sentido contrário (ponto RD-1078).



**Foto 4.30:** Porfiroclasto de feldspato com *quarter folds* desenvolvidos em ortognaise do embasamento milonítico ao longo da Zona de cisalhamento Conceição da Pedra, indicando movimentação reversa com topo para NW (ponto RD-752).



**Foto 4.31:** Pequenas zonas de cisalhamento transcorrentes destrais com rumo NE-SW, geradas na Fase DR2 em: a) cianita-K-feldspatp granulito da Unidade Arantina em fácies granulito, truncando e deslocando foliação milonítica da Fase DB2 (ponto RD-505, escala: 13 cm); b) em ortognaise do embasamento truncando e deslocando foliação milonítica da Fase DR1 (ponto ITJ-01, escala: 13 cm).

### 4.3 Fase Deformacional Dr2

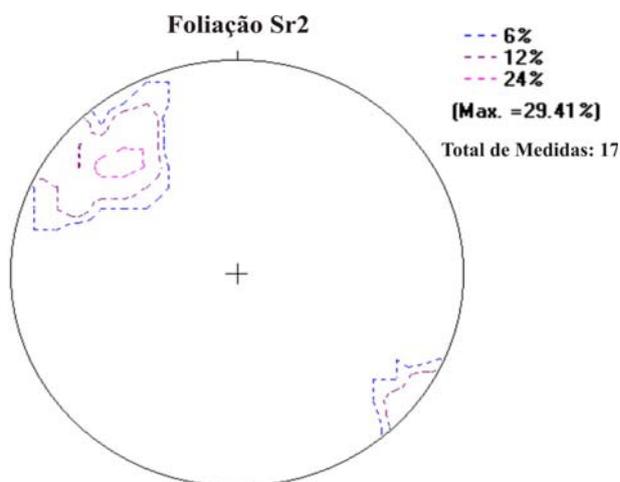
Nesta fase foram geradas zonas de cisalhamento transcorrentes destrais com direção SW-NE, de escala regional, com desenvolvimento de foliação milonítica (Sr2), lineação de estiramento (Lr2) e dobras (Dr2) de escala até megascópica (Anexo 1). Estas zonas de cisalhamento aproveitaram estruturas pré-existentes como planos de fraqueza para sua nucleação e desenvolvimento. A Zona de Cisalhamento Jesuânia (ZCJ) aproveitou a direção de flancos íngremes de megadobras Dr1 e a Zona de Cisalhamento Caxambu (ZCCa) reativando uma possível zona de cisalhamento transcorrente sinistral DR1 (Anexo 1). Além destas também ocorre a Zona de Cisalhamento Três Corações (ZCTC) que atravessa a Folha Varginha. A movimentação ao longo destas zonas de cisalhamento foi estimada em torno de 20 km para as zonas de cisalhamento Três Corações (Peternel, 2000) Caxambu (Trouw *et al*, 2003).

#### Foliação (Sr2)

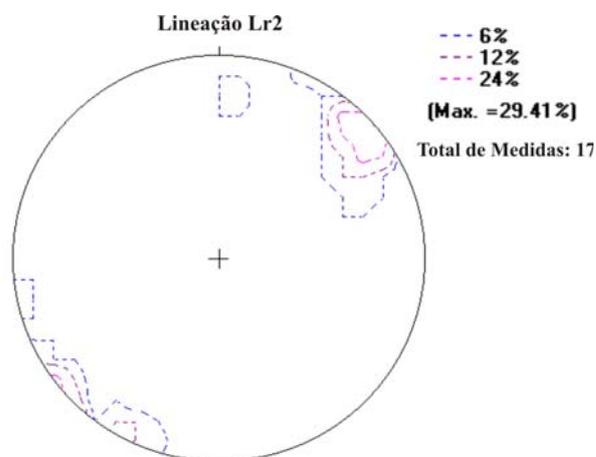
Trata-se de uma foliação milonítica desenvolvida principalmente ao longo das Zonas de Cisalhamento Caxambu (ZCCa), Jesuânia (ZCJ) e Três Corações (ZCTC) com mergulho íngreme para SE a subvertical (Fig. 4.6). Também são encontradas pequenas zonas de cisalhamento em escala de afloramento, apresentando a mesma atitude da principais zonas (Fig. 4.6; Fotos 4.32a e b). Esta foliação é definida pela reorientação de minerais planares ou prismáticos como micas e sillimanita.

#### Lineação de Estiramento (Lr2)

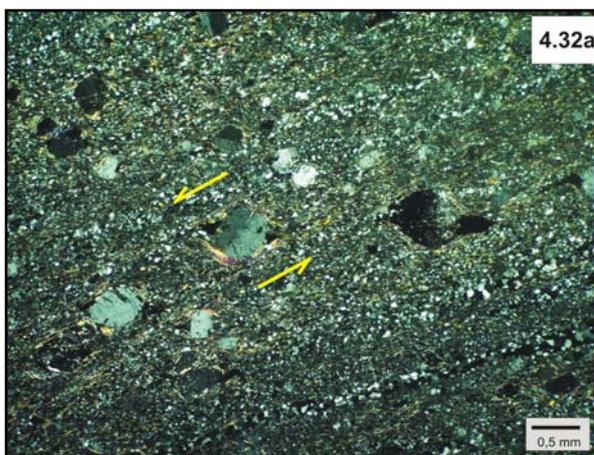
Estas lineações ocorrem nos planos miloníticos Sr2, tanto nas principais zonas de cisalhamento quanto nas de menor magnitude. Apresentam caimento suave a subhorizontal para NE e, raramente, para SW (Fig. 4.7).



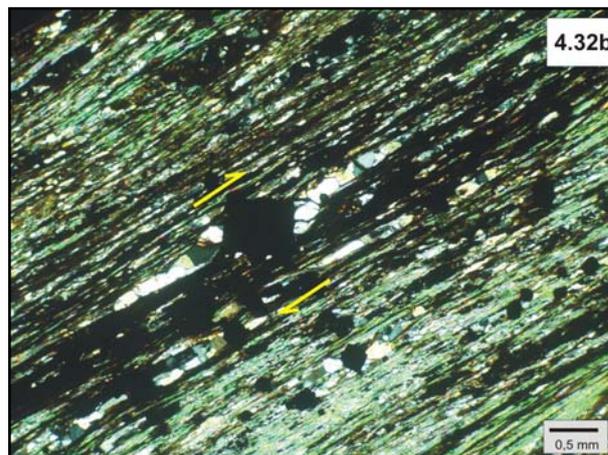
**Figura 4.6:** Projeções estereográficas mostrando a orientação de pólos da foliação Sr2. Projeção equiárea, hemisfério inferior.



**Figura 4.7:** Projeções estereográficas mostrando a orientação da lineação Lr2. Projeção equiárea, hemisfério inferior.



**Foto 4.32a:** Stair-stepping ao redor de porfiroclasto de feldspato em milonito da Fase DR1 encontrado ao longo da Zona de Cisalhamento Caxambu, indicando movimento transcorrente sinistral em lâmina e mapa (ponto RD-1094).



**Foto 4.32b:** Lentes de quartzo com novos grãos produzidos por recristalização estática, guardando um arranjo assimétrico anterior à recristalização, provavelmente ligado à textura tipo *strain fringes*, que indicaria movimento transcorrente dextral em lâmina e no mapa (ponto RD-11).

### Dobras (Dr2)

Ocorrem dobras suaves com plano axial vertical e eixo com caimento subhorizontal para norte e sul (Anexo 1). No domínio das zonas de cisalhamento DR2 ocorrem dobras simétricas, fechadas a isoclinais, com plano axial subvertical paralelo aos planos Sr2 e eixo paralelo as lineações Lr2.

Em mapa podem ser observadas próximas as zonas de cisalhamento desta fase, estruturas semelhantes a dobras de arrasto, evidenciadas pelo desvio das estruturas pré-existentes como os contatos litológicos e as superfícies de empurrão (Anexo 1). Entretanto estas dobras também podem ter sido geradas durante a fase DR1 e aproveitadas durante a fase DR2 para a nucleação das zonas de cisalhamento.

### Milonitos

Os milonitos gerados nesta fase são semelhantes aos desenvolvidos durante a fase DR1 no que se refere ao compostamento dos principais minerais das rochas afetadas e as texturas formadas, entretanto diferem quanto a orientação e sentido do movimento.

### Indicadores Cinemáticos

São semelhantes aos desenvolvidos na fase DR1, entretanto indicam um movimento transcorrente dextral ao longo das zonas de cisalhamento da fase DR2 (Fotos 4.32 e b). Entretanto, no domínio da ZCCa e próximo a ela são encontrados em alguns pontos planos miloníticos e lineações paralelos aos gerados na fase DR2 com indicadores cinemáticos que mostram um movimento transcorrente sinistra, reportados por Trouw *et al* (2003) e Medeiros (2004) e (Peternel, 2005). Este movimento é aqui interpretado como relacionado com zonas de cisalhamento da fase DR1, sugerindo que a ZCCa aproveitou uma zona pré-existente, reativando-a parcialmente durante DR2, porém com sentido inverso.

#### **4.4 Tectônica Fanerozóica**

Na área das folhas Varginha e Itajuba existem poucos registros de atividade tectônica fanerozóica.

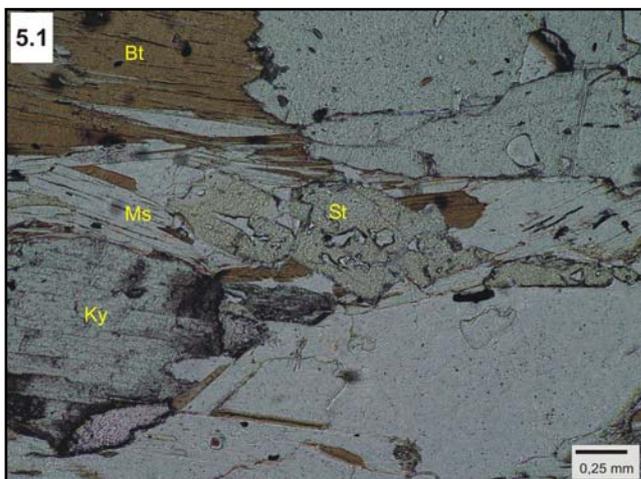
Ao sul da cidade de São Lourenço são encontrados diques de rocha alcalina com espessura decimétrica ao longo da Zona de Cisalhamento Caxambu, orientados paralelamente a esta estrutura. Nas bordas destes diques não foram encontradas lineações que indicassem algum movimento relativo, entretanto a presença destes diques sugerem o desenvolvimento de fraturas ao longo da zona de cisalhamento antiga.

Uma falha pós-metamórfica, de orientação NNE-SSW preenchida por uma brecha silicificada foi observada a cinco quilômetros a oeste da cidade de Virgínia, onde sustenta um afloramento relativamente grande acima de um morro (ponto CTV-299). Infelizmente não foi possível estabelecer o rejeito ou a direção e sentido de movimento.

## 5. METAMORFISMO

As rochas pré-cambrianas das folhas Varginha e Itajubá, com exceção dos granitóides neoproterozóicos, apresentam registros de dois metamorfismos neoproterozóicos superpostos, aqui denominados metamorfismo Brasília (MB) e Ribeira (MR), devido as suas relações com a evolução dos orógenos homônimos. Estes eventos metamórficos são melhor reconhecidos nos metassedimentos da Megasseqüência Andrelândia, principalmente nos xistos e gnaisses das unidades Santo Antônio e Arantina, e nas rochas das unidades Granulítica Basal e Paragnaíssica Migmatítica Superios, do Complexo Varginha-Guaxupé. Os granitóides neoproterozóicos são contemporâneos ao Metamorfismo Ribeira, entretanto não apresentam composição química adequada para o desenvolvimento de minerais metamórficos para a caracterização deste evento. As rochas alcalinas crtaíceas / terciárias não apresentam nenhum registro de metamorfismo.

### 5.1 Metamorfismo Brasília (MB)



**Foto 5.1:** Associação de estauroлита, cianita, biotita e muscovita orientados preferencialmente e definindo a foliação Sb2 em xisto da Unidade Arantina da Megasseqüência Andrelândia, indicando condições metamórficas de facies anfibolito durante o desenvolvimento da foliação principal Sb2 nas rochas da Nappe Carmo da Cachoeira (ponto PA-38).

Este evento metamórfico, mais antigo, está relacionado à evolução do Orógeno Brasília. Na área das folhas Varginha e Itajuba ocorrem rochas metamorfolizadas em três ambientes distintos e, portanto, com características de pressão e temperatura diferentes. As rochas que compõem as nappes Luminárias, São Tomé das Letras, Carmo da Cachoeira e Lambari (Fig. 4.1), apresentam associações de fácies anfibolito com cianita, granada, muscovita, biotita e localmente estauroлита, nos metassedimentos (Foto 5.1), e hornblenda, plagioclásio, e localmente granada, em rochas metabásicas (Foto 5.2).

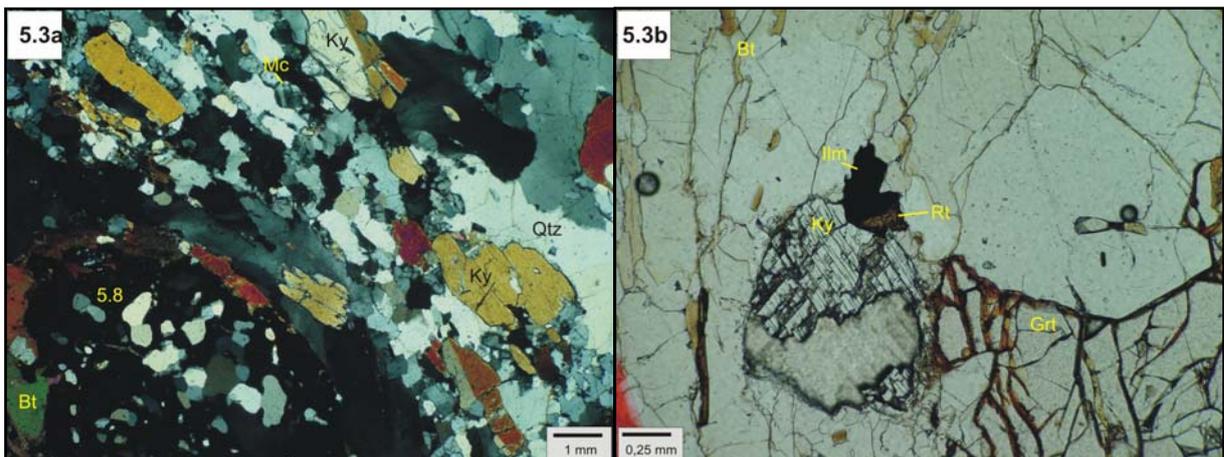
Na *Nappe* Varginha os paragnaisses da Unidade Arantina estão em fácies granulito de pressão alta, evidenciada pela coexistência de cianita, K-feldspato, granada e rutilo, não ocorrendo muscovita (Foto 5.3). Nas rochas metabásicas ocorre clinopiroxênio, granada, plagioclásio e quartzo (Foto 5.4). No topo da *Nappe* Varginha aparece sillimanita prismática em metassedimentos que anteriormente possuíam cianita como aluminossilicato estável (Foto 5.5). Campos Neto & Caby (1999) interpretam o surgimento de sillimanita como resultado do aumento da temperatura, induzida pela sobreposição da *Nappe* Guaxupé, com ortogranulitos estáveis em temperatura mais elevada que os granulitos da *Nappe*

Varginha. Peternel (2000 e 2005) interpreta esta mudança no aluminossilicato estável em paragnaisses no topo da Nappe Varginha como produto principalmente de decompressão devido a exumação destes gnaisses para posições mais rasas da crosta durante o estágio colisional que o Orógeno Brasília, sem descartar que possa ter ocorrido um pequeno encremento de temperatura.

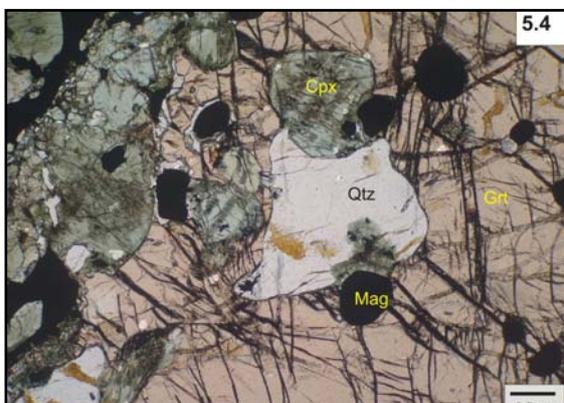
Ainda no domínio da Nappe Varginha, foram encontradas blocos *in situ* de rochas metabásicas com registro de ex-eclogito (pontos CTV-518 e MR-218), com clinopiroxênio e granada com coroa de hornblenda e plagioclásio (Foto 5.6) evidenciando que os granulitos de pressão alta devem ter passado pelo campo de fácies eclogito no gráfico P-T.



**Foto 5.2:** Porfiroblasto de hornblenda com núcleo marrom sendo substituída na borda por hornblenda verde e biotita, em rocha metabásica da Unidade Arantina em fácies granulito da Nappe Varginha (ponto RD-505).



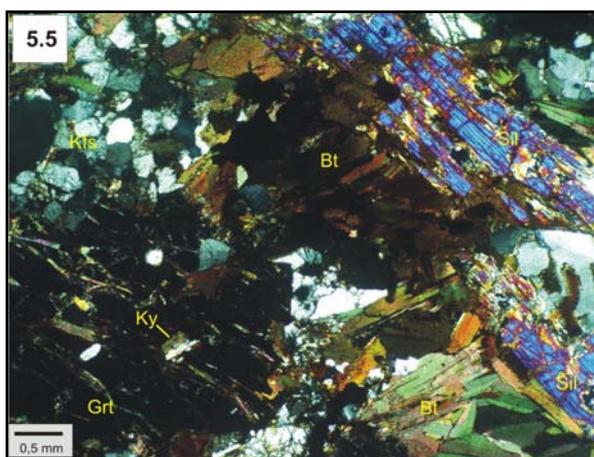
**Foto 5.3:** a e b) Associação metamórfica característica dos granulitos de alta pressão da Nappe Varginha, com cianita, K-feldspato e granada, na ausência de muscovita. A orientação preferencial de cianita e fitas de quartzo definem a foliação Sb2 nestes granulitos. A ilmenita substituindo rutilo indica estágio de decompressão após a formação da associação principal durante o auge da Fase DB2 (ponto RD-178)



**Foto 5.4:** Lente composta por granada, clinopiroxênio, quartzo e hematita em rocha metabásica da Unidade Arantina em fácies granulito, metamorfozada em fácies granulito de pressão alta (ponto RD-505).

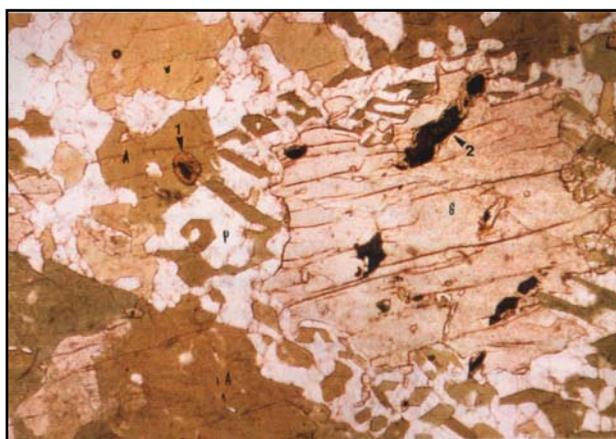
Na Nappe Socorro-Guaxupé os hiperstênio ortognaisses da Unidade Granulítica Basal foram metamorfozados em condições de fácies granulito de pressão intermediária. Estas rochas contêm orto e clinopiroxênio, plagioclásio, hornblenda e localmente granada (Foto 5.7). Uma rocha ultramáfica, que aflora na margem sul do Rio Lourenço Velho, a quatro quilômetros a leste do ponto onde este rio cruza a Zona de Cisalhamento de Caxambu (ponto CTV-442), contém orto e clinopiroxênio, hornblenda e espinélio, indicando também fácies granulito intermediária. O restante

desta nappe é constituído essencialmente por ortognaisses sem hiperstênio. Ocorrem também lentes de paragnaisses com sillimanita, K-feldspato, granada e biotita (Foto 5.8).



**Foto 5.5:** Amostra de sillimanita-K-feldspato granulito da Unidade Arantina em fácies granulito, próximo ao topo da Nappe Varginha, com cianita inclusa em porfiroblasto de granada e sillimanita orientada segundo a foliação principal Sb2, indicando que esta rocha passou por condições de pressão mais elevada antes de cristalizar a sillimanita (ponto RD-1061).

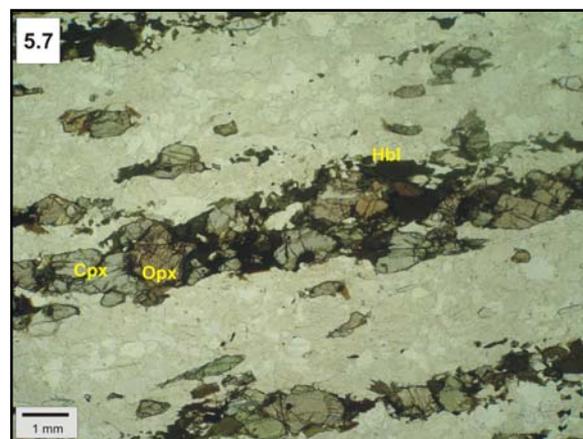
Basal e  $617 \pm 3$  Ma, em monazita de cianita-K-feldspato granulito da Unidade Arantina em facies granulito, além de idade Sm-Nd (granada x rocha total) de  $612 \pm 9$  Ma, em cianita-K-feldspato granulito da Unidade Arantina em facies granulito. As três idades são interpretadas como a idade do metamorfismo Brasília que gerou estas rochas granulíticas.



**Foto 5.6:** Granada-clinopiroxênio gnaisse da Unidade Arantina em fácies granulito com coroa de anfibólio e plagioclásio ao redor de granada, característica de decompressão de rocha em fácies eclogito.

As isógradas muscovita-*out*/K-feldspato-*in*, hiperstênio-*in* e sillimanita-*in*, que delimitam, respectivamente, as zonas de fácies anfibolito, granulito de pressão relativamente alta e granulito de pressão intermediária, apresentam traçado paralelo ao das superfícies de empurrão das *nappes* Carmo da Cachoeira, Varginha e Socorro-Guaxupé, superiores. Esta feição sugere que o auge deste metamorfismo foi anterior a colocação final das *nappes* durante a fase DB2 (Fig. 5.1).

Em granulitos da região de Cristina, centro da Folha Itajuba, Peternel (2005) apresenta idades U-Pb de  $619 \pm 3$  Ma, em zircão metamórfico de hiperstênio ortognaisse da Unidade Granulítica

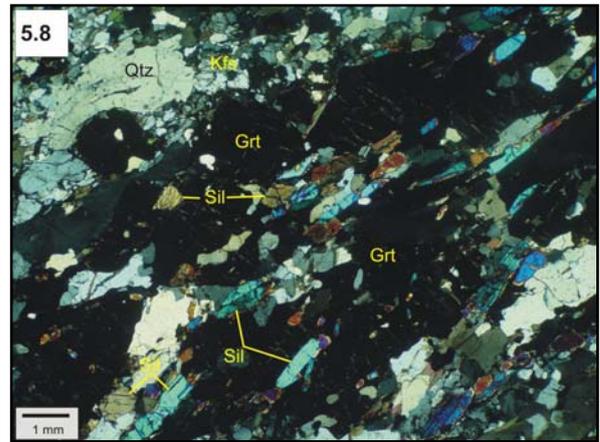


**Foto 5.7:** Porfiroblastos de clino e ortopiroxênio orientados paralelamente a foliação Sb2 definida por fitas de quartzo em ortognaisse da Unidade Granulítica Basal, com hornblenda, também orientada segundo a mesma foliação, substituindo o ortopiroxênio (ponto RD-899).

## 5.2 Metamorfismo Ribeira (MR)

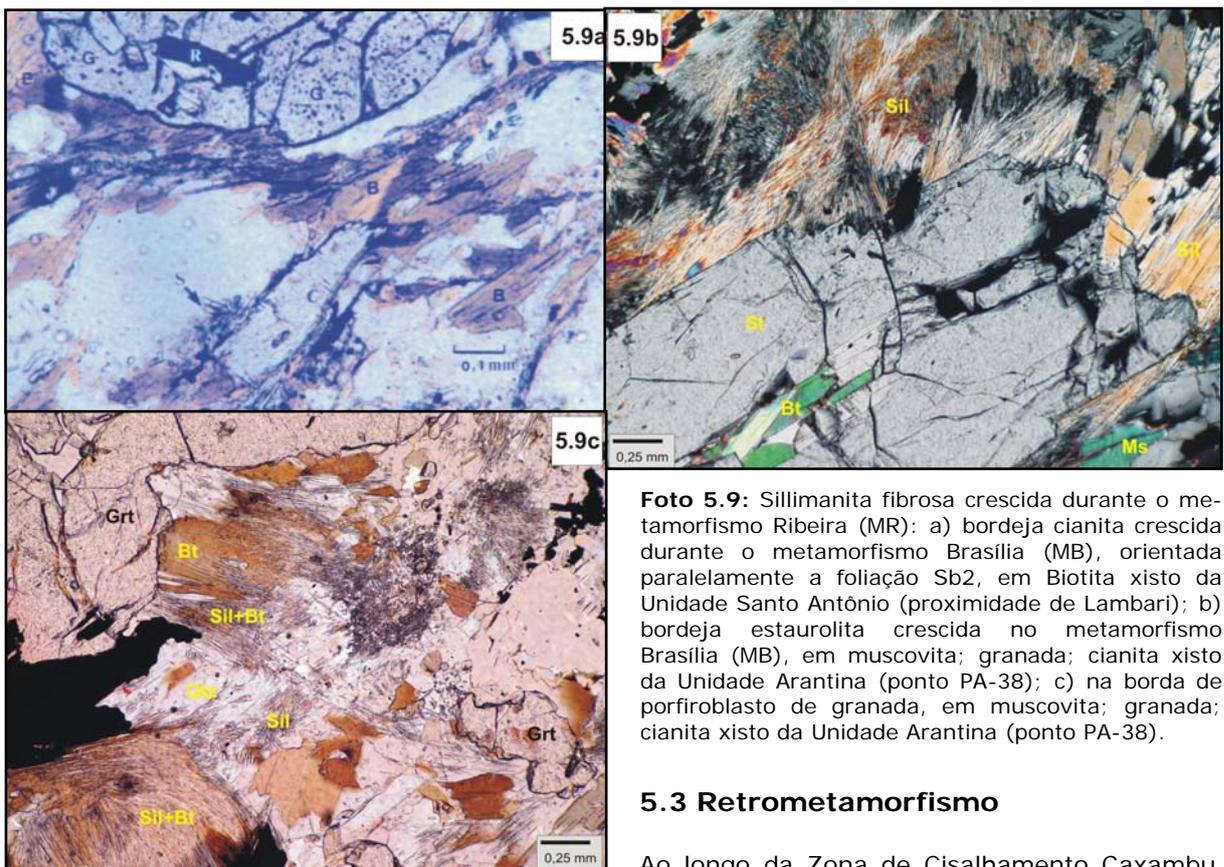
Este segundo evento metamórfico está associado à evolução do Orogênio Ribeira e é caracterizado pelo aparecimento generalizado de sillimanita fibrosa nos metassedimentos (Foto 5.9a-c) das *nappes* Luminárias, São Tomé das Letras e Carmo da Cachoeira. Próximo ao norte da cidade de Cambuquira ocorre uma isógrada de sillimanita-*in*, com direção aproximadamente E-W, que trunca

os contatos das nappes geradas na fase DB, indicando ser posterior ao estágio colisional do Orógeno Brasília. Ao sul desta isógrada os metassedimentos possuem sillimanita fibrosa em desequilíbrio com cianita, gerada durante o evento MB, indicando que a sillimanita cresceu posteriormente. Ao sul da Zona de Cisalhamento Conceição da Pedra (Anexo 1), estrutura da fase DR1, não ocorre mais cianita nos metassedimentos destas de nappes, de maneira que esta zona de cisalhamento coincide com a isógrada cianita-out (Fig. 5.1). Estas características indicam que este segundo metamorfismo é está contemporâneo a fase DR1, do Orógeno Ribeira.



**Foto 5.8:** Sillimanita prismática orientada segundo a foliação Sb2 e inclusa em porfiroblasto de granada, rocha metassedimentar da Unidade Paragnáissica Migmatítica Superior, indicando que a sillimanita foi o único aluminossilicato estável (ponto RD-165)

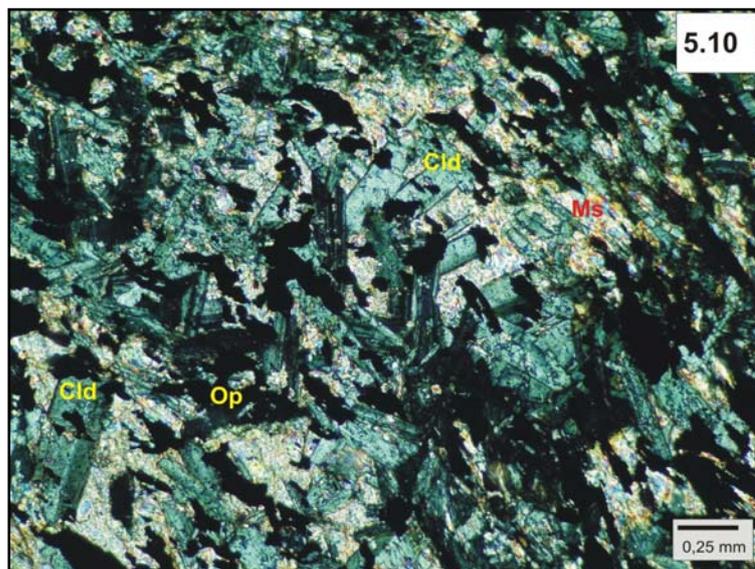
A presença de leucossomas e granitos contemporâneos às zonas de cisalhamento da fase DR1 por toda Folha Itajuba, com mais freqüência na parte sul, indica que a anatexia foi alcançada durante o auge do metamorfismo Ribeira.



**Foto 5.9:** Sillimanita fibrosa crescida durante o metamorfismo Ribeira (MR): a) borda cianita crescida durante o metamorfismo Brasília (MB), orientada paralelamente a foliação Sb2, em Biotita xisto da Unidade Santo Antônio (proximidade de Lambari); b) borda estaurólita crescida no metamorfismo Brasília (MB), em muscovita; granada; cianita xisto da Unidade Arantina (ponto PA-38); c) na borda de porfiroblasto de granada, em muscovita; granada; cianita xisto da Unidade Arantina (ponto PA-38).

### 5.3 Retrometamorfismo

Ao longo da Zona de Cisalhamento Caxambu, estrutura da fase DR2, ocorre associação de fibrolita, clorita, biotita, muscovita e quartzo, em metassedimentos, indicando condições no limite entre as fácies anfibolito e xisto verde. Em metapelito da unidade São Vicente, a oeste da cidade de Olímpio Noronha, ocorre crescimento de cloritóide sobre a foliação Sb2, crenulada durante a fase DR1, sugerindo que este mineral, indicativo da fácies xisto verde, posteriormente a fase DR1 (Foto 5.10).



**Foto 5.10:** Cristais de cloritóide crescidos durante o metamorfismo Ribeira (MR), em muscovita xisto intercalado com quartzito e gnaiss bandado da Unidade São Vicente (ponto RD-327).

## 6. EVOLUÇÃO GEOTECTÔNICA

---

Na área das folhas Varginha e Itajubá as rochas paleoproterozóicas e arqueanas estão fortemente afetadas por fases deformacionais e eventos metamórficos neoproterozóicos, dificultando o reconhecimento da evolução tectônica pré 1,8 Ga, entretanto sua geração é correlacionada com a evolução tectônica da porção meridional do cráton do São Francisco.

Regionalmente é reconhecida na borda meridional do Cráton de São Francisco uma intensa granitogênese ao redor de 2,8 Ga., com geração de complexos do tipo Tonalito-Trondjhemito-Granodiorito (TTG) e bacias com associações supracrustais do tipo greenstone-belt, como o Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero (2,77 Ga, Machado *et al.*, 1992), e o Morro do Ferro em Fortaleza de Minas (2,86 Ga, Pimentel & Ferreira Filho, 2002). Na área das folhas Varginha e Itajubá ocorre um ortognaisse com idade de cristalização de 2,9 Ga (Peternel, 2005) e associações do tipo greenstone-belt, com xistos ultramáficos, metaprecipitados químicos, quartzitos e anfibolitos, que poderiam ser correlacionados a esta evolução arqueana encontrada na porção meridional do Cráton de São Francisco.

Durante o Paleoproterozóico ocorrem processos orogênicos entre 2,1-2,0 Ga, relacionados com a formação do Cinturão Mineiro (Teixeira *et al.*, 2005), que retrabalharam a crosta arqueana. Na borda sul do Cráton de São Francisco, entre as cidades de São João Del Rei e Lavras, a menos de 50km do limite norte da Folha Varginha, diversos autores registram intensa granitogênese entre 2,2 e 2,0 Ga (Teixeira *et al.*, 2005; Cherman & Valença, 2005, entre outros).

Os ortognaisses graníticos a tonalíticos, posicionados tectonicamente sobre metassedimentos da Megassequência Andrelândia, apresentaram idades Pb-Pb de 2,15 Ga e 2,09 Ga e idade U-Pb de 2,09 Ga. Estas idades são compatíveis com a granitogênese paleoproterozóica registrada na porção meridional do Cráton do São Francisco.

Na área das folhas Varginha e Itajubá não foram encontrados registros de eventos termo-tectônico durante o Mesoproterozóico.

No início do Neoproterozóico ocorre um episódio tafrogenético, gerando a abertura e desenvolvimento de bacias sedimentares nas margens do Paleocôntinente São Francisco (Brito Neves *et al.*, 1996). Na margem sul-sudoeste desenvolveu-se a Bacia Andrelândia, uma bacia sedimentar de margem continental passiva.

No final do Neoproterozóico, a partir de aproximadamente 700 Ma, inicia-se a inversão da Bacia Andrelândia, devido à convergência entre os paleocôntinentes Paranapanema (Mantovani & Brito Neves, 2005) e São Francisco, culminando com a colisão continental ao redor de 625 Ma. Este evento termo-tectônico gerou o Orógeno Brasília e está relacionado com o processo de

amalgamação do supercontinente Gondwana (Brito Neves *et al.*, 1996, 1999). Durante este processo ocorreu a deformação e metamorfismo do registro vulcano-sedimentar da Bacia Andrelândia.

Em um estágio pré-colisional, anterior a 625 Ma, ocorreu a subducção para oeste da paleoplaca Sanfranciscana sob a paleoplaca Paranapanema (Brito Neves, 1999), com geração de um arco magmático na margem ativa da paleoplaca superior, representado pelos granulitos basais e ortognaisses migmatíticos da Nappe Socorro-Guaxupé, com idades entre 667-640 Ma (Campos Neto & Caby, 1999; 2000). Na área das Folhas Varginha e Itajubá estes ortognaisses migmatíticos apresentaram idades mínimas de cristalização em zircões (método Pb/Pb) de  $657 \pm 3$  Ma entre e  $631 \pm 3$  Ma.

No estágio colisional, entre 625 e 610 Ma, ocorreu à colisão dos paleocontinentes São Francisco e Paranapanema, gerando transporte tectônico de nappes para leste-nordeste, ao longo de superfícies de empurrão de baixo ângulo por no mínimo 150km (Heilbron *et al.*, 2004). O auge do metamorfismo Brasília ocorreu anteriormente à colocação final das nappes, evidenciado pelas isógradas metamórficas paralelas aos limites das nappes. Neste estágio foi gerada a principal foliação regional (Sb2), definida pela orientação preferencial dos minerais metamórficos gerados durante o metamorfismo Brasília (MB). Os minerais indicadores de fácies eclogito, nos retroeclogitos da Nappe Varginha, cresceram anteriormente a foliação principal (Sb2), indicando que estas rochas estiveram em profundidades superiores a 54km e foram exumadas antes da colisão. Os granulitos de pressão alta e retro-eclogitos da Nappe Varginha representam a zona de sutura da colisão que gerou o Orógeno Brasília, separando dois domínios regionais distintos em termos metamórficos e geocronológicos. O domínio sob a zona de sutura apresenta rochas metamorizadas em fácies anfíbolito e xisto verde, em condições de pressão relativamente alta durante o evento MB e ortognaisses com idades paleoproterozóicas a arqueanas. Já o domínio sobre a zona de sutura, isto é, a Nappe Socorro-Guaxupé, apresenta rochas metamorizadas em fácies granulito e anfíbolito, em condições de pressão intermediária e temperatura alta durante o evento MB e ortognaisses com idade de cristalização Neoproterozóicas.

Regionalmente o pico metamórfico de MB, responsável pela geração dos granulitos das nappes Socorro-Guaxupé e Varginha é considerado em torno de 625 Ma (Basei *et al.*, 1995; Janasi, 1999; Vlach & Gualda, 2000; Fetter *et al.*, 2001) e idades entre 615-605 Ma indicadas para a exumação das nappes e conseqüente reequilíbrio metamórfico em condições de fácies anfíbolito. Na região de Cristina, na Folha Itajubá, idades  $619 \pm 3$  (U/Pb) em zircões metamórficos de cpx-opx-grt granulitos da Nappe Socorro,  $617 \pm 3$  (U/Pb) em monazitas e  $612 \pm 9$  Ma (Sm/Nd; granada x rocha total) dos cianita-Kfeldspato granulitos da Nappe Varginha, são interpretadas como relacionadas a processos retrometamórficos ligados a exumação destes granulitos para posições mais rasas na crosta durante a colisão, quando sofreram descompressão e resfriamento (Pernel, 2005).

A partir de aproximadamente 610 Ma começa a ocorrer o colapso do Orógeno Brasília, marcado pela intrusão de corpos sieníticos (ex. maciços Pedra Branca e Capituva) pós-cinemáticos em rochas da Nappe Socorro-Guaxupé em níveis rasos da crosta, isto é, após estas terem sofrido importante deslocamento vertical. Na região da Nappe de Passos o resfriamento final ocorre entre

580-560 Ma, indicado por idade K-Ar em mica branca de rochas metassedimentares (Valeriano *et al*, 2000).

Entre 595-565 Ma, ocorre um segundo estágio colisional, este relacionado com a evolução do Orógeno Ribeira, entre o Arco Magmático Rio Negro e a margem SE do paleocontinente São Francisco. Esta colisão causou encurtamento crustal na direção NW-SE e extensão na direção SW-NE. Na área das Folhas Varginha e Itajubá este evento foi responsável pelo dobramento das estruturas da fase pretérita DB, posteriormente evoluindo para zonas de cisalhamento reversas e transcorrentes sinistrais. Ao longo destas zonas de cisalhamento ocorreu alojamento de granitóides, como o Granito Serra da Pedra Branca, e abertura de bacias tipo *pull-apar*, bacia Eleutério, em regiões a oeste da área estudada. Peternel (2005) reconheceu o Granito Serra da Pedra Branca como um granito oriundo de fusão parcial, alojado sin-tectonicamente na Zona de Cisalhamento Conceição da Pedra (ZCCP), com idade de cristalização de  $573 \pm 8$  Ma (zircão, U/Pb).

Entre 565 e 540 Ma ocorreu um estágio tardi-colisional de aparente estabilidade tectônica, relacionado ao Orógeno Ribeira. Neste período teriam sido gerados corpos graníticos com fraca foliação como os granitos Serra da Onça, Marins e Itanhandu.

Entre 535 e 510 Ma ocorreu um terceiro estágio colisional, também relacionado com o Orógeno Ribeira. Este estágio resultou da colisão do Terreno Cabo Frio contra o Terreno Oriental. Na área das folhas Varginha e Itajubá este estágio resultou no desenvolvimento de zonas de cisalhamento transcorrentes destrais com direção SW-NE, associadas com retrometamorfismo de fácies anfíbolito a xisto-verde, como as zonas de cisalhamento Três Corações, Jesuânia e Caxambu.

Após longo período de estabilidade crustal, ocorreu durante o cretáceo/Terciário magmatismo alcalino que gerou os maciços de Itatiaia e Passa-Quatro. Na área das folhas Varginha e Itajubá o diques e pequenos corpos de rochas alcalinas registram este episódio.

## **7. RECURSOS MINERAIS**

---

### **7.1 Introdução**

Os dados referentes aos bens minerais das folhas Varginha e Itajubá (1:100.000) apresentados neste relatório foram levantados em duas etapas. Na primeira etapa, em setembro e outubro de 2005, foram levantados os processos de requerimento de exploração mineral através do banco de dados (Cadastro Mineiro) do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e obtenção de overlays com as áreas requisitadas. Devido ao grande número de requerimentos para a região (Tabs. 7.1 e 7.2) foram selecionados para serem visitados apenas áreas cujos processos que se encontravam em fase de Requerimento de Lavra, Concessão de Lavra, Licenciamento, Requerimento de lavra Garimpeira e Registro de Extração. Na segunda etapa, em dezembro de 2005 e janeiro de 2006, foram realizados trabalhos de campo com intuito de levantar informações atualizadas sobre as áreas para exploração mineral requeridas no DNPM, que estão resumidas nas Figuras 7.1 e 7.2 e Tabelas 7.3 e 7.4.

Os principais bens minerais explorados nesta região são areia, água mineral, granito/gnaisse, e em menor quantidade cascalho, argila, quartzo e quartzito. A maior parte das áreas de exploração mineral concentra-se nos municípios de Três Corações, Varginha, Soledade de Minas, São Lourenço, Pouso Alto e Itajubá também ocorrendo exploração nos municípios de Cambuquira, Lambari, Conceição do Rio Verde, Maria da Fé, Olímpio Noronha e Delfim Moreira. As áreas visitadas nos municípios de Carmo da Cachoeira, Jesuânia, Caxambu, São Bento do Abade, Pedralva, Marmelópolis e Itanhandu encontram-se inativas.

Cabe ainda ressaltar que no município de Campanha e regiões limítrofes com os municípios de Três Corações, Cambuquira, Monsenhor Paulo e São Gonçalo do Sapucaí, porção oeste da Folha Varginha, existem lavras abandonadas nas quais foi explorado ouro de forma artesanal. Existem registrados no DNPM diversos pedidos de autorização de pesquisa de ouro nestes municípios (Tabela 7.1), com destaque para a empresa Unagem Mineração e Metalúrgica S.A. Estão (setembro/2005) listados no cadastro mineiro 2 requerimentos de pesquisa e 33 autorizações de pesquisa, não havendo nenhuma lavra em atividade legal. A maioria destes processos foi requerida em

1994 e após estudos sobre a viabilidade de extração do bem mineral não foram levados adiante. Alguns poucos pedidos são recentes (2004 e 2005) e encontram-se em fase de autorização de pesquisa.

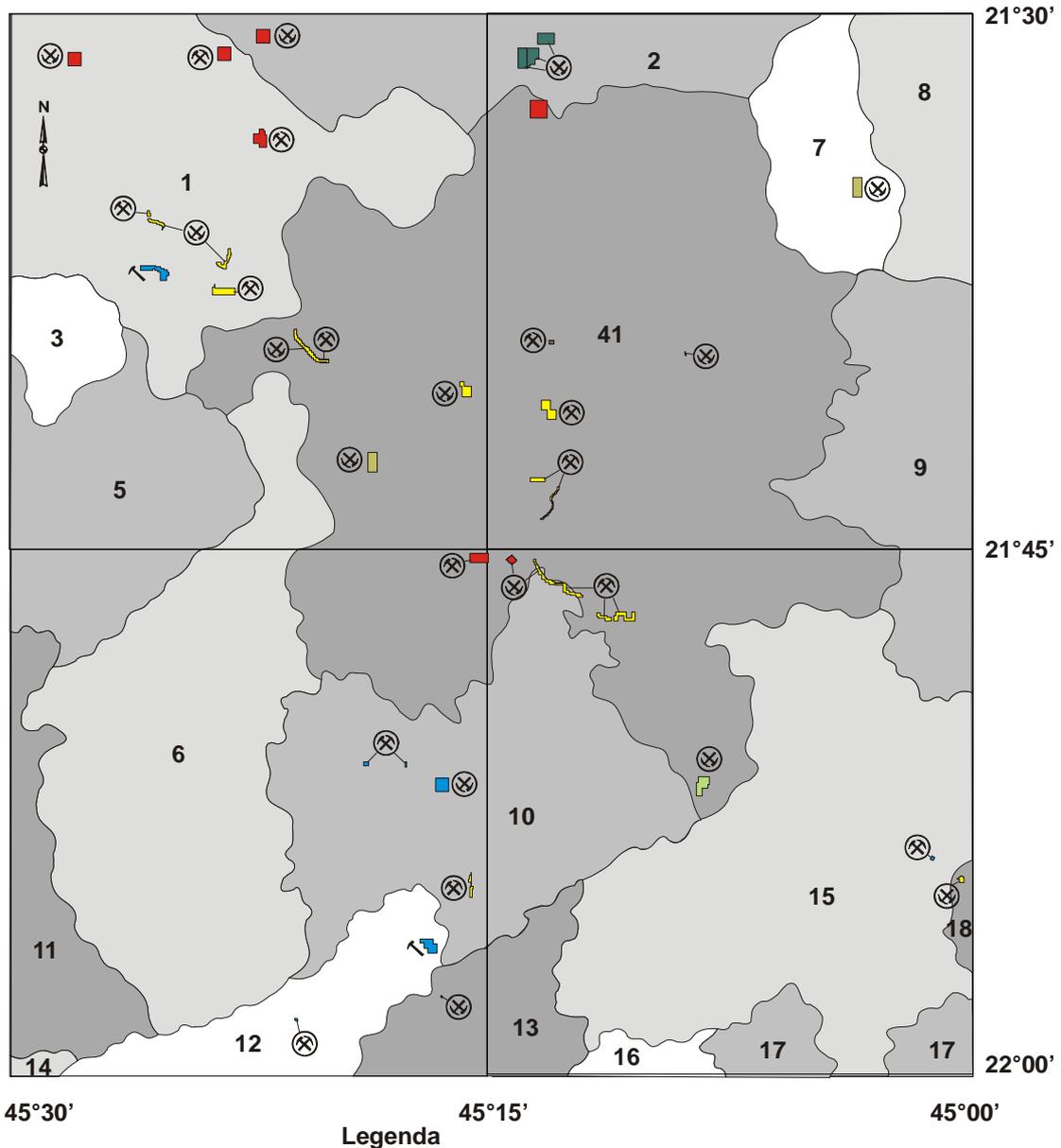
**Tabela 7.1:** Compilação de recursos minerais da Folha Varginha (1:100.000), discriminados por substâncias. Fonte: Cadastro Mineiro do DNPM (Setembro/2005). Legenda: A - Requerimento de pesquisa; B - Autorização de pesquisa; C - Requerimento de lavra; D - Concessão de Lavra; E - Licenciamento; F - Disponibilidade; G - Requerimento de lavra garimpeira; H- Registro de extração.

| <b>Folha Varginha (1:100.000)</b> |                         |           |          |          |           |          |          |          |              |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|--------------|
| <b>Substâncias</b>                | <b>Fase do Processo</b> |           |          |          |           |          |          |          | <b>Total</b> |
|                                   | <b>A</b>                | <b>B</b>  | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>E</b>  | <b>F</b> | <b>G</b> | <b>H</b> |              |
| água mineral                      | 2                       | 9         | 2        | 5        | -         | -        | -        | -        | 18           |
| areia                             | -                       | 7         | -        | -        | 10        | -        | -        | -        | 17           |
| areia e argila refrataria         | 4                       | 5         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 9            |
| areia e cascalho                  | 1                       | 3         | -        | -        | 5         | 1        | -        | -        | 10           |
| areia e granito                   | -                       | 1         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 1            |
| argila                            | -                       | 2         | -        | -        | 2         | -        | -        | -        | 4            |
| argila refratária                 | -                       | 2         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 2            |
| calcário                          | -                       | 1         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 1            |
| cascalho                          | -                       | -         | -        | -        | -         | -        | -        | 1        | 1            |
| cascalho e granito                | -                       | 1         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 1            |
| caulim                            | -                       | 1         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 1            |
| Caulim e água mineral             | 1                       | 1         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 2            |
| Diamante                          | 1                       | -         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 1            |
| gnaisse                           | -                       | 1         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 1            |
| gnaisse para brita                | -                       | -         | -        | -        | 1         | -        | -        | -        | 1            |
| granito                           | 1                       | 7         | -        | 1        | 2         | 1        | -        | -        | 12           |
| granito ornamental                | -                       | -         | 1        | -        | -         | -        | -        | -        | 1            |
| minério de ouro                   | 1                       | 4         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 5            |
| minério de ouro e areia           | 1                       | -         | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 1            |
| ouro                              | -                       | 26        | -        | -        | -         | -        | -        | -        | 26           |
| quartzito                         | 3                       | 23        | -        | -        | 1         | 2        | -        | -        | 29           |
| quartzo                           | -                       | 1         | 2        | -        | -         | -        | 1        | -        | 4            |
| <b>Total</b>                      | <b>15</b>               | <b>95</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>21</b> | <b>4</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>148</b>   |

**Tabela 7.2:** Quantidade de bens minerais da Folha Itajubá (1:100.000) registrado no Cadastro Mineiro do DNPM (Setembro/2005). Legenda: A - Requerimento de pesquisa; B - Autorização de pesquisa; C - Requerimento de lavra; D - Concessão de Lavra; E - Licenciamento; F - Disponibilidade.

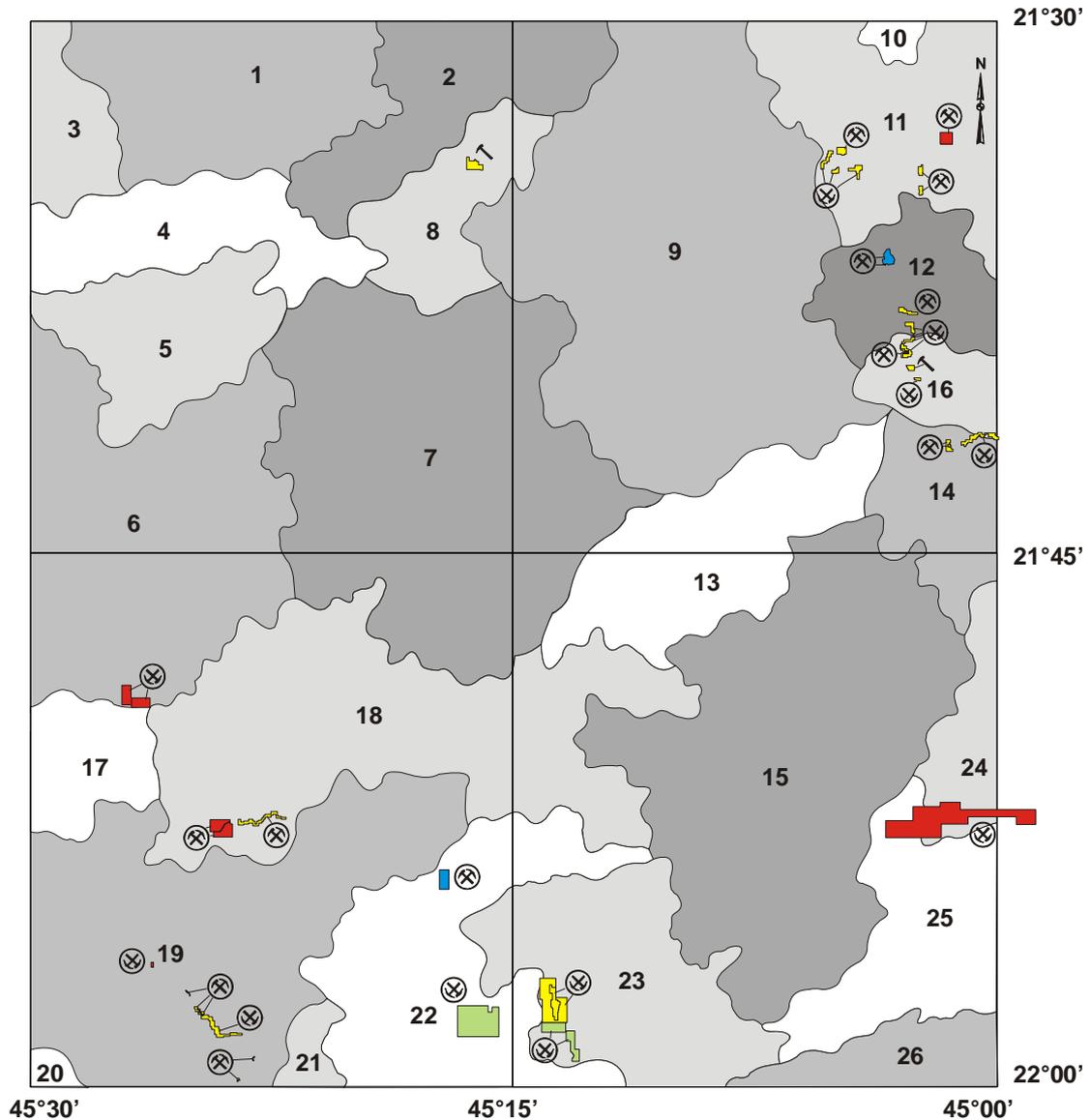
| <b>Folha Itajubá (1:100.000)</b> |                         |           |          |          |           |          |              |  |
|----------------------------------|-------------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|--------------|--|
| <b>Substâncias</b>               | <b>Fase do Processo</b> |           |          |          |           |          | <b>Total</b> |  |
|                                  | <b>A</b>                | <b>B</b>  | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>E</b>  | <b>F</b> |              |  |
| água mineral                     | 6                       | 4         | -        | 3        | -         | 2        | 15           |  |
| areia                            | 1                       | 3         | 2        | -        | 22        | 2        | 30           |  |
| areia e argila refrataria        | -                       | 1         | -        | -        | -         | -        | 1            |  |
| areia e cascalho                 | -                       | 1         | -        | -        | 3         | -        | 4            |  |
| gnaisse                          | 1                       | -         | -        | -        | -         | 1        | 2            |  |
| gnaisse industrial               | -                       | -         | -        | -        | -         | 1        | 1            |  |
| granito                          | 4                       | 9         | 5        | -        | 2         | -        | 20           |  |
| granito e água mineral           | 1                       | -         | -        | -        | -         | -        | 1            |  |
| granito e gnaisse                | -                       | 1         | -        | -        | -         | -        | 1            |  |
| granito para brita               | 1                       | -         | -        | -        | -         | -        | 1            |  |
| minerio de aluminio              | -                       | 1         | -        | -        | -         | -        | 1            |  |
| minerio de ouro                  | 4                       | 3         | -        | -        | -         | -        | 7            |  |
| minerio de ouro e areia          | 1                       | -         | -        | -        | -         | -        | 1            |  |
| ouro                             | -                       | 1         | -        | -        | -         | -        | 1            |  |
| quartzito                        | -                       | -         | 2        | 1        | -         | -        | 3            |  |
| <b>Total</b>                     | <b>19</b>               | <b>24</b> | <b>9</b> | <b>4</b> | <b>27</b> | <b>6</b> | <b>89</b>    |  |

## FOLHA VARGINHA



**Figura 7.1:** Localização das áreas requeridas junto a DNPM para exploração mineral, que atualmente encontram-se em fase de Requerimento de Lavra, Concessão de Lavra ou Licenciamento. Municípios da Folha Varginha (1:100.000): 1-Varginha; 2-Carmo da Cachoeira; 3-Elói Mendes; 4-Três Corações; 5-Monsenhor Paulo; 6-Campanha; 7-São Bento do Abade; 8-Luminárias; 9-São Tomé das Letras; 10-Cambuquira; 11-São Gonçalo do Sapucaí; 12-Lambari; 13-Jesuânia; 14-Heliadora; 15-Conceição do Rio Verde; 16-Carmo de Minas; 17-Soledade de Minas; 18-Caxambu.

## FOLHA ITAJUBA



### Legenda

|   |              |   |                  |  |                  |
|---|--------------|---|------------------|--|------------------|
|  | Água Mineral |  | Quartzito        |  | Ativo            |
|  | Areia        |  | Granito / Gnaiss |  | Inativo          |
|   |              |   |                  |   | Em implementação |

**Escala**  
1:300.000

**Figura 7.2:** Localização das áreas requeridas junto a DNPM para exploração mineral, que atualmente encontram-se em fase de Requerimento de Lavra, Concessão de Lavra ou Licenciamento. Municípios da Folha Varginha (1:100.000): 1-Lambari; 2-Jesuânia; 3-Heliadora; 4-Natércia; 5-Conceição da Pedra; 6-Pedralva; 7-Cristina; 8-Olímpio Noronha; 9-Carmo de Minas; 10-Conceição do Rio Verde; 11-Soledade de Minas; 12-São Lourenço; 13-Dom Viçoso; 14-São Sebastião do Rio Verde; 15-Virginia; 16-Pouso Alto; 17-São José do Alegre; 18-Maria da Fé; 19-Itajubá; 20-Piranguçu; 21-Wenceslau Brás; 22-Delfim Moreira; 23-Marmelópolis; 24-Itanhandu; 25-Passa-Quatro; 26-Cruzeiro.

**Tabela 7.3:** Áreas da Folha Varginha (1:100.000) com processo cadastrado no DNPM para exploração de bens minerais visitadas neste projeto.

| Nº de Ordem | Nº do Processo | Ano  | Município              | Fase do Processo        | Bem Mineral      | Situação | Localização  |
|-------------|----------------|------|------------------------|-------------------------|------------------|----------|--|
| 1           | 000135         | 1951 | Cambuquira             | Concessão de Lavra      | Água Mineral     | ativa    | Estância Hidromineral de Cambuquira                          |
| 2           | 000139         | 1951 | Conceição do Rio Verde | Concessão de Lavra      | Água mineral     | ativa    | Água de Contendas  |
| 3           | 000836         | 1965 | Lambarí                | Concessão de Lavra      | Água Mineral     | ativa    | Estância Hidromineral de Lambari                             |
| 4           | 013501         | 1951 | Cambuquira             | Concessão de Lavra      | Água Mineral     | ativa    | Fonte Marimbeiro - saída sul de Cambuquira                   |
| 5           | 830016         | 2001 | Varginha               | Concessão de Lavra      | Água Mineral     | ativa    | Faz. Sete Capotes  |
| 6           | 830596         | 2000 | Lambarí                | Requerimento de Lavra   | Água Mineral     | ativa    | Faz. Bom Retiro - Rodovia BR-460                             |
| 7           | 831886         | 1991 | Cambuquira             | Requerimento de Lavra   | Água Mineral     | inativa  | Faz. Jaragua - Fonte Laranjal                                |
| 8           | 830102         | 1999 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia            | inativa  | Chácara do Pero - Rio do Peixe                               |
| 9           | 830309         | 1988 | Varginha               | Licenciamento           | Areia            | inativa  | Faz. Poço Preto - Rio Verde                                  |
| 10          | 830365         | 2000 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia            | inativa  | Faz. Rio Rancho - Estrada Três Corações - São Bento do Abade |
| 11          | 831097         | 2003 | Varginha               | Licenciamento           | Areia e cascalho | ativa    | Faz. Sagrado Coração de Jesus - Rio Verde                    |
| 12          | 831171         | 2000 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia            | ativa    | Faz. da Ilha - Rio Verde                                     |
| 13          | 831172         | 2000 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia            | ativa    | Faz. São Benedito - Rio Verde                                |
| 14          | 831246         | 2000 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia e cascalho | ativa    | Faz. da Barra / Estação de Cota - Rio Verde                  |
| 15          | 831688         | 2004 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia            | inativa  | Faz. do Ferro  |
| 16          | 831705         | 2000 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia e cascalho | inativa  | Faz. da Barra / Estação de Cota - Rio Verde                  |
| 17          | 831847         | 1992 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia            | ativa    | Bairro Cinturão Verde - Rio Verde                            |
| 18          | 831993         | 1999 | Jesuânia               | Licenciamento           | Areia            | inativa  | Sítio do Serrote - Rio Lambari                               |
| 19          | 832016         | 2001 | Três Corações          | Licenciamento           | Cascalho e areia | ativa    | Bairro Cinturão Verde - Rio Verde                            |
| 20          | 832262         | 2000 | Varginha               | Licenciamento           | Areia e cascalho | inativa  | Rio Verde - acima da Usina                                   |
| 21          | 834962         | 1993 | Varginha               | Licenciamento           | Areia            | ativa    | Faz. Barra da Palmela - Rio Verde                            |
| 22          | 835934         | 1993 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia            | ativa    | Faz. Bom Jardim - Rio do Peixe                               |
| 23          | 834230         | 1995 | Caxambu                | Licenciamento           | Areia            | inativa  | Faz. Morro Queimado  |
| 24          | 832541         | 2005 | Três Corações          | Licenciamento           | Areia            | ativa    | Faz. do Ferro - Rio Verde                                    |
| 25          | 830914         | 2003 | Cambuquira             | Autorização de Pesquisa | areia            | ativa    | Sítio Bom Retiro - Rio Itaici                                |
| 26          | 830128         | 1999 | São Bento do Abade     | Licenciamento           | Argila           | inativa  | São Bento do Abade - Córrego da Mina                         |
| 27          | 831651         | 2000 | Três Corações          | Licenciamento           | Argila           | inativa  | Faz. da Limeira  |

continua...

...continuação

| Nº de Ordem | Nº do Processo | Ano  | Município          | Fase do Processo                 | Bem Mineral        | Situação | Localização                                  |
|-------------|----------------|------|--------------------|----------------------------------|--------------------|----------|--|
| 28          | 833064         | 2002 | Três Corações      | Registro de Extração             | Cascalho           | ativa    | Colônia Santa Fé - Rio do Peixe              |
| 29          | 831745         | 1984 | Três Corações      | Licenciamento                    | Granito            | inativa  | Serra dos Correias - Toca do Paiol           |
| 30          | 831814         | 2000 | Varginha           | Licenciamento                    | Gnaisse            | inativa  | Faz. Santa Maria                             |
| 31          | 833076         | 1995 | Varginha           | Requerimento de Lavra            | Granito Ornamental | ativa    | Paulista - Faz. das Posses                   |
| 32          | 853112         | 1976 | Varginha           | Concessão de Lavra               | Granito            | ativa    | Faz. Ribeirão de Santana                     |
| 33          | 830652         | 1996 | Carmo da Cachoeira | Licenciamento                    | Granito            | inativa  | Faz. Remanso                                 |
| 34          | 830435         | 2000 | Três Corações      | Licenciamento                    | Gnaisse            | ativa    | Faz. da Lajinha                              |
| 35          | 838137         | 1994 | Três Corações      | Licenciamento                    | Quartzito          | inativa  | Serra de Jurumirim - Colônia da Faz. Catigua |
| 36          | 830810         | 1998 | Carmo da Cachoeira | Requerimento de Lavra Garimpeira | Quartzo            | inativa  | Faz. Três Barras e Campinho                  |
| 37          | 830811         | 1998 | Carmo da Cachoeira | Requerimento de Lavra            | Quartzo            | inativa  | Faz. Três Barras e Campinho                  |
| 38          | 830812         | 1998 | Carmo da Cachoeira | Requerimento de Lavra            | Quartzo            | inativa  | Faz. Três Barras e Campinho                  |

**Tabela 7.4:** Áreas da Folha Itajubá (1:100.000) com processo cadastrado no DNPM para exploração de bens minerais visitadas neste projeto.

| Nº de Ordem | Nº do Processo | Ano  | Município                  | Fase do Processo   | Bem Mineral                   | Situação | Localização   |
|-------------|----------------|------|----------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|---|
| 1           | 2973           | 1935 | São Lourenço               | Concessão de Lavra | Água mineral                  | ativa    | Parque das Águas de São Lourenço                    |
| 2           | 830069         | 1981 | São Lourenço               | Concessão de Lavra | Água mineral                  | ativa    | Pátio do Hotel Brasil                               |
| 3           | 830076         | 1986 | Delfim Moreira             | Concessão de Lavra | Água mineral                  | ativa    | Faz. Boa Esperança - Rio Claro                      |
| 4           | 806629         | 1970 | Marmelópolis               | Concessão de Lavra | Areia quartzosa e quartzito   | inativa  | Bairro Cubatão - Ribeirão Cubatão                   |
| 5           | 810326         | 1973 | Marmelópolis               | Concessão de Lavra | Areia de fundição e quartzito | inativa  | Bairro Cubatão - Ribeirão Cubatão                   |
| 6           | 830015         | 1999 | Maria da Fé                | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Bairro Ano Bom - Rio Lourenço Velho                 |
| 7           | 830020         | 1998 | Itajubá                    | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Rio Sapucaí - Bairro dos Pintos                     |
| 8           | 830297         | 2005 | Soledade de Minas          | Licenciamento      | Areia                         | inativa  | Sítio Bela Vista - Rio Verde                        |
| 9           | 830306         | 2003 | Soledade de Minas          | Licenciamento      | Areia                         | inativa  | Sítio Fazendinha - Rio Verde                        |
| 10          | * 830523       | 1999 | São Lourenço               | Licenciamento      | Areia                         | inativa  | Faz. Sinhazinha - Rio Verde                         |
| 11          | 830539         | 1999 | Pouso Alto                 | Licenciamento      | Areia                         | inativa  | Faz. Ponte do Carmo - Rio Verde                     |
| 12          | 830597         | 1998 | Itajubá                    | Licenciamento      | Areia                         | inativa  | Bairro Canta Galo - Rio Sapucaí                     |
| 13          | 830638         | 2005 | Itajubá                    | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Rio Sapucaí - Bairro Estância                       |
| 14          | 830653         | 2005 | Olímpio Noronha            | Licenciamento      | Areia e cascalho              | inativa  | Sítio da Vargem - Rio Lambari                       |
| 15          | 830785         | 2005 | Pouso Alto                 | Licenciamento      | Areia                         | inativa  | Sítio Três Pontes - Rio Verde                       |
| 16          | 831176         | 1998 | Itajubá                    | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Souza Nogueira - Rio Sapucaí                        |
| 17          | 831353         | 2003 | Soledade de Minas          | Licenciamento      | Areia                         | inativa  | Sítio Vargem do Rio Verde - Rio Verde               |
| 18          | 831376         | 2003 | Soledade de Minas          | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Bairro Ribeirão Manso - Rio Verde                   |
| 19          | 831538         | 2000 | São Sebastião do Rio Verde | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Barreiro - Rio Verde                                |
| 20          | 831651         | 2002 | Itajubá                    | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Bairro São Pedro - Rio Sapucaí                      |
| 21          | 831851         | 2005 | Pouso Alto                 | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Sítio Três Pontes - Rio Verde                       |
| 22          | 831926         | 2000 | São Sebastião do Rio Verde | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Sítio Tacape - Rio Verde                            |
| 23          | 832024         | 2004 | Itajubá                    | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Bairro Estância - Rio Sapucaí                       |
| 24          | 832099         | 2002 | São Lourenço               | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Entre São Lourenço e Faz. das Palmeiras - Rio Verde |
| 25          | 832459         | 2001 | Pouso Alto                 | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Bairro Ponte do Carmo - Ribeirão Aterrado           |
| 26          | 832890         | 2003 | Soledade de Minas          | Licenciamento      | Areia                         | ativa    | Sítio Vale do Rio Verde - Rio Verde                 |
| 27          | 833031         | 2002 | Pouso Alto                 | Licenciamento      | Areia e cascalho              | inativa  | Barreiro - Rio Verde                                |

continua...

...continuação

| Nº de Ordem | Nº do Processo | Ano  | Município         | Fase do Processo      | Bem Mineral | Situação | Localização                                   |
|-------------|----------------|------|-------------------|-----------------------|-------------|----------|---|
| 28          | 833295         | 2003 | Soledade de Minas | Licenciamento         | Areia       | ativa    | Porto Calvo / Vargem do Rio Verde - Rio Verde |
| 29          | 830197         | 1990 | Itajubá           | Licenciamento         | Granito     | ativa    | Bairro Ano Bom                                |
| 30          | 830474         | 2001 | Itajubá           | Licenciamento         | Granito     | ativa    | Bairro Ano Bom                                |
| 31          | 831038         | 1981 | Itajubá           | Requerimento de Lavra | Granito     | inativa  | Bairro Nossa Senhora de Fátima                |
| 32          | 833721         | 1996 | Pedralva          | Requerimento de Lavra | Granito     | inativa  | Faz. do Pedrão - sopé do Pico do Pedrão       |
| 33          | 833723         | 1996 | Pedralva          | Requerimento de Lavra | Granito     | inativa  | Faz. do Pedrão - sopé do Pico do Pedrão       |
| 34          | 830219         | 1986 | Passa Quatro      | Requerimento de Lavra | Migmatito   | inativa  | Serra do Palmital                             |
| 35          | 835536         | 1993 | Soledade de Minas | Requerimento de Lavra | Granito     | ativa    | estrada Soledade de Minas _<br>Caxambu km 1,5 |
| 36          | 830042         | 1978 | Marmelópolis      | Requerimento de Lavra | Quartzito   | inativa  | Faz. José Hilton                              |
| 37          | 830466         | 1978 | Marmelópolis      | Requerimento de Lavra | Quartzito   | inativa  | Faz. dos Costas - Córrego dos Costas          |
| 38          | 830832         | 1982 | Delfim Moreira    | Concessão de Lavra    | Quartzito   | inativa  | Bairro dos Goes - Faz. Dos Campos             |

## **7.2 Bens Minerais Explorados**

### **7.2.1 Areia**

Foram encontradas 45 ocorrências de exploração de areia em sedimentos aluviais inconsolidados, estando 25 ativas e 20 inativas. A maioria das áreas de exploração fica ao longo do Rio Verde, nos municípios de São Sebastião do Rio Verde, Pouso Alto, São Lourenço, Soledade de Minas, Três Corações e Varginha, e no Rio Sapucaí, no município de Itajubá. Também foi encontrado um areal ao longo do Rio Lambari, municípios de Jesuânia, um no Rio Itaici, município de Cambuquira, um no Ribeirão do Tabuão, município de Caxambu, dois no Rio do Peixe, município de Três Corações e um no Rio Lourenço Velho, município de Maria da Fé. As empresas que exploram areia nesta região são de pequeno porte, destacando-se: Areal Ouro Verde, Areal Rio Verde, Areal Santa Rita e Areal Santo Hilário, em Três Corações, e Areal RM e A.C. Niemeyer LTDA, em Varginha, Draga São José de Itajubá LTDA, em Itajubá. A extração é feita em depósitos aluviais quaternários nos rios acima mencionados, através de dragas de sucção posicionadas em balsas flutuantes. Apesar de ser retirado do rio cascalho e areia, apenas a areia é aproveitada comercialmente, destinada à construção civil. A areia extraída é de granulometria média a fina, predominantemente quartzosa com proporções inferiores a 5% de feldspato e mica.

Algumas áreas de exploração encontram-se inativas momentaneamente, ainda sendo observado materiais utilizados na exploração como esteira e peneira, além de montes de areia e até cascalho abandonados ao longo da área de exploração. Nas áreas que já estão inativas há mais tempo são observados apenas pequenos montes e depressões parcial ou totalmente cobertos por vegetação rasteira, resquícios da antiga exploração no local.

### **7.2.2 Água Mineral**

Atualmente existe exploração de água mineral nos municípios de Cambuquira, Lambari, Conceição do Rio Verde, São Lourenço, Varginha e Delfim Moreira. Os quatro primeiros municípios fazem parte do famoso “Circuito das Águas” do sul de Minas Gerais, tradicional região exploradora deste valioso bem mineral.

Todas as fontes exploradas na região são fontes frias, confinadas e extraídas com a utilização de bombas de água. A tabela 7.5 apresenta as características físicas e químicas das águas minerais exploradas na região.

Nos municípios de Cambuquira e Lambari a Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG) é a empresa concessionária e a SUPERÁGUA – Empresa de Águas Minerais S/A, a arrendatária da exploração de água nos Parques Hidrominerais das cidades homônimas até o primeiro semestre de 2005. Atualmente a exploração está temporariamente parada devido à abertura de um novo processo licitatório para escolha de nova empresa arrendatária para a exploração da água mineral. Entretanto as fontes de água continuam abertas para a população local e turistas que buscam estas cidades impulsionados pelos benefícios terapêuticos destas águas.

Na cidade de Cambuquira encontram-se cinco fontes de água mineral no Parque das Águas (fontes gasosa, férrea, magnésiana, sulfurosa e levemente gasosa). Outras duas fontes são encontradas

na saída da cidade de Cambuquira em direção a rodovia BR-267 (Fonte do Marimbeiro) e na Fazenda Jaraguá (Fonte Laranjal) a leste da cidade.

Na cidade de Lambari encontram-se seis fontes no Parque das Águas localizado no centro da cidade. Estas fontes são numeradas de 1 a 6 e apresentam características levemente diferentes (gasosa, ferrosa, magnésiana, sulfurosa e levemente gasosa). Além destas fontes, encontra-se em fase inicial o desenvolvimento de uma planta industrial para extração e engarrafamento de uma fonte localizada na Fazenda Bom Retito, a aproximadamente 7 km de Lambari, em direção a rodovia BR-267. A exploração desta fonte está a cargo do proprietário da fazenda, não tendo sido possível obter dados sobre as características da água neste local.

Na cidade de São Lourenço a exploração de água mineral está a cargo da Nestlé Waters Brasil – bebidas e alimentos LTDA, extraída na Fonte Oriente, localizada no Parque das Águas. Recentemente vem sendo investigada a possibilidade do secamento da fonte magnésiana e rebaixamento do nível do lençol freático estar relacionado com a atual taxa de extração de água, hipótese que levou o Ministério Público de São Lourenço instaurar processo judicial contra a empresa exploradora. No pátio do Hotel Brasil, ao lado do Parque das Águas existe uma fonte explorada pelo hotel para uso próprio.

Na cidade de Águas de Contendas, município de Conceição do Rio Verde, a exploração de água mineral está a cargo da empresa Superfonte Comércio, Indústria e Exportação LTDA. Dentre as cidades que constituem o “Circuito das Águas” está é a menos divulgada e portanto a que apresenta menor procura por parte de turista, entretanto também possui um pequeno Parque de Águas aberto diariamente a população.

No município de Varginha está sendo instalada uma empresa para exploração de água mineral, já em avançado estágio de desenvolvimento da planta industrial para extração e engarrafamento. A exploração está a cargo de pequena empresa pertencente aos donos da fazenda Sete Capotes, as margens do Rio Verde, onde se localiza a fonte “Yphanek”. A água mineral será comercializada com um nome provisório de “Vanágua” em alusão ao teor de vanádio relativamente elevado característico desta localidade.

No município de Delfim Moreira a exploração de água esta a cargo da empresa Água Mineral da Serra da Mantiqueira LTDA, extraída na Fazenda Boa Esperança, no Bairro Rio Claro.

**Tabela 7.5:** Características físico-químicas e composição química das águas minerais exploradas nas folhas Varginha e Itajubá (1:100.000)

| <b>Nome Fantasia</b>                               | <b>Serra da Mantiqueira</b>        | <b>Hotel Brasil</b>                            | <b>Cambuquira</b>                  |
|--|------------------------------------|--|------------------------------------|
| <b>Fonte</b>                                       | <b>Rio Claro</b>                   | <b>-</b>                                       | <b>Comendador Augusto Ferreira</b> |
| <b>Classificação da água mineral</b>               | fracamente radiotaiva na fonte     | alcalina, bicarbonatada, litinada e fluoretada | carbogasosa                        |
| Processo N° / ano                                  | 830076/1986                        | 830069/1981                                    | 013501/1951                        |
| <b>Características Físico-Químicas</b>             |                                    |  |                                    |
| pH a 25°C  | 5,9                                | -  | 3,3                                |
| Temperatura da água na fonte (°C)                  | 18                                 | -  | 22                                 |
| Condutividade Elétrica a 25°C (mhos/cm)            | 3,00x10-5                          | -  | 6,05x10-5                          |
| Resíduo de Evaporação a 180°C (mg/l)               | 28,9                               | -  | 21                                 |
| Radioatividade na fonte a 20°C e 76 mm Hg (Maches) | 5,26                               | -  | 1,34                               |
| Gás Carbônico (mg/l)                               | -                                  | -  | 1.186,24                           |
| <b>Composição Química</b>                          |                                    |  |                                    |
| Sulfato de Bário (mg/l)                            | 0,03                               | 0,16   | -                                  |
| Sulfato de Estrôncio (mg/l)                        | 0,04                               | 0,107  | -                                  |
| Sulfato de Cálcio (mg/l)                           | 0,59                               | 4,504  | -                                  |
| Bicarbonato de Cálcio (mg/l)                       | 11,93                              | 120,248  | 6,1                                |
| Bicarbonato de Potássio (mg/l)                     | 3,84                               | 114,971  | -                                  |
| Bicarbonato de Magnésio (mg/l)                     | 4,80                               | 75,217   | 7,8                                |
| Bicarbonato de Sódio (mg/l)                        | 5,27                               | 119,339  | -                                  |
| Nitrato de Sódio (mg/l)                            | 0,22                               | -  | -                                  |
| Nitrato de Potássio (mg/l)                         | -                                  | -  | 1,8                                |
| Fluoreto de Sódio (mg/l)                           | -                                  | 1,768  | -                                  |
| Borato de Cálcio (mg/l)                            | -                                  | 0,206  | -                                  |
| Cloreto de Sódio (mg/l)                            | -                                  | 14,041   | 0,8                                |
| Cloreto de Lítio (mg/l)                            | -                                  | 0,409  | -                                  |
| Óxido de Silício (mg/l)                            | 12,60                              | -  | -                                  |
| Análise Química Boletim                            | 249/LAMIN/93 08/10/1993            | -  | -                                  |
| <b>Nome Fantasia</b>                               | São Lourenço                       | Superfonte                                     | Lambari                            |
| <b>Fonte</b>                                       | Oriente                            | Águas de Contendas                             | Fonte N° 01                        |
| <b>Classificação da água mineral</b>               | carbogasosa, litinada e fluoretada | fluoretada e carbogasosa                       | fluoretada e carbogasosa           |
| Processo N° / ano                                  | 002973/1935                        | 000139/1951                                    | 000836/1965                        |
| <b>Características Físico-Químicas</b>             |                                    |  |                                    |

continua...

...continuação

| <b>Nome Fantasia</b>                               | <b>Serra da Mantiqueira</b> | <b>Hotel Brasil</b>     | <b>Cambuquira</b>                  |
|--|-----------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| <b>Fonte</b>                                       | <b>Rio Claro</b>            | <b>-</b>                | <b>Comendador Augusto Ferreira</b> |
| pH a 25°C  | 5,31                        | 4,87                    | 4,93                               |
| Temperatura da água na fonte (°C)                  | 22,6                        | 23,4                    | 22                                 |
| Condutividade Elétrica a 25°C (mhos/cm)            | 438 (micro S/cm)            | 1,22x10-4               | 9,70x10-5                          |
| Resíduo de Evaporação a 180°C (mg/l)               | 226,54                      | 157,2                   | 73                                 |
| Radioatividade na fonte a 20°C e 76 mm Hg (Maches) | -                           | -                       | 3,48                               |
| Gás Carbônico (mg/l)                               | -                           | 2.164,80                | 2.177,98                           |
| <b>Composição Química</b>                          |                             |                         |                                    |
| Bicarbonatos (mg/l)                                | 252,65                      | 74,26                   | 31,27                              |
| Sódio (mg/l)                                       | 33,60                       | 14,01                   | 4,40                               |
| Cálcio (mg/l)                                      | 27,24                       | 6,61                    | 6,06                               |
| Potássio (mg/l)                                    | 30,40                       | 4,40                    | 3,40                               |
| Magnésio (mg/l)                                    | 11,96                       | -                       | 2,01                               |
| Sulfato (mg/l)                                     | 3,30                        | -                       | 1,10                               |
| Fluoretos (mg/l)                                   | 0,16                        | 0,08                    | 0,02                               |
| Lítio (mg/l)                                       | 0,043                       | -                       | 0,001                              |
| Brometos (mg/l)                                    | -                           | 0,04                    | -                                  |
| Zinco (mg/l)                                       | -                           | 0,007                   | -                                  |
| Vanádio (mg/l)                                     | -                           | 0,005                   | -                                  |
| Análise Química Boletim                            | -                           | 159/LAMIN/98 12/05/1998 | 549/LAMIN/00 13/09/2000            |

### 7.2.3 Granito/Gnaisse

Apesar de constar nos processos registrados no DNPM a exploração de granito, na verdade as rochas exploradas tratam-se de gnaisses de origem sedimentar, pertencentes à Megassequência Andrelândia (ver cap. 3) ou de origem ígnea. Nos Municípios de Varginha e Carmo da Cachoeira a exploração é feita em paragnaisses ricos em K-feldspato, cianita, localmente sillimanita, e granada, com intercalações de rochas meta básicas e calcissilicáticas, pertencentes à Unidade Arantina, em fácies granulítica. No município de Três Corações a explora-se paragnaisse rico em biotita, granada e cianita da Unidade Santo Antônio. No município de Itajubá a exploração é feita em ortognaisse de composição granodiorítica da unidade Ortognáissica Migmatítica Intermediária e em Soledade de Minas em ortognaises graníticos da unidade Ortognaises Migmatíticos. Na região das folhas Varginha e Itajubá (1:100.000) a exploração deste bem mineral é voltada exclusivamente para a produção de brita e produtos associados. A exploração é feita a céu aberto em encostas, através de bancadas altas ou baixas em “L”, com a utilização de explosivos para o desmonte da rocha e retroescavadeiras e caminhões para o transporte da rocha até o britador, onde é feita a britagem do material em diversas granulometrias. Do britador o material é levado por esteiras transportadoras móveis para ser armazenado em diferentes pilhas, de acordo com a granulometria, em pátio a céu aberto.

No município de Varginha existem três áreas cadastradas, uma inativa na Fazenda Santa Maria, próximo à rodovia MG-26 e a antiga linha férrea, e duas ativas. Na área da fazenda Ribeirão Santana a exploração está a cargo da Mineração Santo Antônio de Varginha LTDA, que produz brita, pedrisco, pó granulado, matacão e fundagem para usos diversos como produção de asfalto, concreto, artefatos de cimento, drenagem, compactação de solo, lastro de ferrovia, contenção de encosta entre outros. Sua capacidade de produção atual é de 30.000 toneladas, atendendo a várias cidades no sul de Minas Gerais. Na área da fazenda das Posses a exploração está a cargo da Britadora Niemeyer S.A., sendo sua produção de brita utilizada quase que exclusivamente para abastecer a empresa de asfalto do mesmo grupo.

No município de Carmo da Cachoeira, próximo ao limite com o município de Varginha, na região da fazenda Remanso, existe uma pedreira atualmente desativada que pertence a Mineração Santo Antônio de Varginha LTDA.

No Município de Três Corações existem duas áreas com processo para exploração de granito/gnaisse localizadas ao sul da cidade homônima. No alto da Serra dos Correias encontra-se uma pedreira desativada, com ruínas das construções que serviam como escritório e depósito, além de restos de equipamentos para extração e beneficiamento do material. Na fazenda da Lajinha, próximo ao córrego da Cachoeira, existe uma pedreira em atividade explorada pela empresa Incope LTDA para produção de brita.

No município de Soledade de Minas, no quilometro 1,5 da estrada Soledade de Minas - Caxambu existe uma pedreira em atividade explorada pela empresa JSA Mineração LTDA.

No município de Itajubá, no bairro de Ano Bom a exploração de brita é feita pela empresa Mineração Mantiqueira LTDA.

As empresas exploradoras de brita na região geralmente mantêm matas “pulmões” ao redor das áreas exploradas para absorver o pó produzido durante o processo de britagem da rocha, a fim de diminuir o impacto ambiental da exploração.

Além das áreas acima mencionadas existem outras 11 pedreiras abandonadas na área da Folha Varginha (1:100.000). Três destas pedreiras apresentam cadastro no DNPM, situadas nos municípios de: a) Três Corações, as margens da rodovia Fernão Dias próximo ao limite com o município de Carmo da Cachoeira, em ortognaisses de composição granítica da Unidade Ortognaisses Migmatíticos (ver Cap. 3 e Mapa Geológico), foi utilizada durante as obras de duplicação da rodovia acima citada (atualmente estão sendo realizados trabalhos de recuperação ambiental da área explorada); b) Pedralva, desenvolvida em blocos de ortognaisses granítico da Unidade Ortognaisses Migmatíticos, ao pé da Serra do Pedrão (embargada por problemas ambientais); c) Itajubá, no bairro Nossa senhora de Fátima, desenvolvida em ortognaisses de composição granodiorítica da unidade Ortognaissica Migmatítica Intermediária.

Outras oito pedreiras abandonadas não apresentam cadastro no DNPM e estão localizadas nos municípios de: a) Varginha, ao norte da cidade homônima, desenvolvida em paragnaisses pertencentes à Unidade Arantina, em fácies granulítica - atualmente servindo como depósito de lixo da cidade; b) Cambuquira, as margens da rodovia BR-267 e do rio Lambari – encontra-se cercada pelo atual proprietário para fins desconhecidos; c) Lambari, duas pedreiras na vertente sul-sudeste da Serra das Águas, uma área conhecida como serra do Bom Retiro e outra ao norte da cidade de Lambari; d) São Lourenço, uma na base do morro do teleférico e outra a leste da estação rodoviária, ambas em ortognaisses graníticos da Unidade Ortognaisses Migmatíticos; e) Cristina, próximo à rodovia BR-383 e da Fazenda Pitangual, em paragnaisses ricos em K-feldspato, cianita e granada, com intercalações de rochas metabásicas, da Unidade Arantina, em fácies granulítica; f) Pedralva, na Fazenda São Domingos, em ortognaisses de composição granodiorítica da Unidade Ortognaisses Migmatíticos.

#### **7.2.4 Cascalho**

Há apenas uma área com exploração de cascalho na área da Folha Varginha (1:100.000), localizada no município de Três Corações, próximo a Colônia Santa Fé. O cascalho é extraído de sedimentos inconsolidados na planície as margens do rio do Peixe, utilizando-se retroescavadeira e caminhão para o transporte. A extração é feita de forma intermitente, com o maquinário levado ao local apenas para a extração e não havendo nenhuma construção permanente. O material provavelmente é utilizado para manutenção de estradas de terra do município.

#### **7.2.5 Argila**

Existem duas áreas registradas no DNPM para a exploração de argila, em planícies de inundação do Rio São Bento, município Três Corações, e do Córrego da Mina, município de São Bento do Abade. Atualmente estas áreas encontram-se desativadas.

### **7.2.6 Quartzo**

No município de Carmo da Cachoeira há três áreas contínuas requeridas para extração de quartzo próximo as fazendas Engenho da Serra e Três Barras, entretanto não havia nenhum indício de extração na região.

### **7.2.7 Quartzito**

No município de Três Corações existe o registro de uma área de extração de quartzito. Esta área encontra-se na vertente noroeste da Serra de Jurumirim, continuidade da Serra de São Tomé, próximo ao local onde o Rio Verde forma um pequeno canyon ao atravessar a serra. A área encontra-se desativada há vários anos, sendo difícil sua localização, pois a mata nativa está em franco estágio de recuperação, com árvores de pequeno e médio porte crescendo entre as pilhas de rejeito, resquício da exploração no local. Esporadicamente, moradores locais utilizam-se do material deixado no antigo local de exploração para pequenas construções em propriedades da região. A rocha explorada neste local é o quartzito da Unidade São Tomé das Letras, da Megasseqüência Andrelândia.

No município de Delfim Moreira, na fazenda dos Campos, Bairro dos Goes, existe indício de antiga exploração de quartzito intercalado em paragnaisse da Unidade São Vicente, da Megasseqüência Andrelândia. Neste local o quartzito encontra-se friável tendo sido extraído utilizando-se retroescavadeira.

No município de Marmelópolis, no Bairro de Cubatão existem duas áreas desativadas de exploração de quartzito intercalado em paragnaisse da Unidade São Vicente, da Megasseqüência Andrelândia. Nestas áreas a exploração foi feita pela empresa Mineração Jundu, sendo o material extraído utilizado na produção de vidro.

## **7.3 Projeções e Perspectivas**

Na área abrangida pelas folhas Varginha e Itajubá (1:100.000) a exploração mineral atualmente é voltada para bens minerais industriais, areia e brita, e água mineral.

As empresas que extraem areia, principalmente nos rios Verde e Sapucaí, são de pequeno porte, atuando com poucos funcionários, quando não são tocadas apenas pelo proprietário e alguns parentes. O material é extraído dos rios através de bomba de sucção instalada em balsas e depositado em áreas próximas aos rios para a separação das diversas granulometrias. Apenas a granulometria areia é aproveitada, sendo o cascalho retirado abandonado próximo ao local de separação. As áreas de extração de areia que já estavam desativadas definitivamente não apresentavam nenhum trabalho de recuperação ambiental, observando-se pequenas elevações e depressões no terreno, que representam antigos locais de estocagem do material retirado dos rios. Nestes casos a única recuperação observada foi o crescimento de gramíneas no terreno antigamente dominado por areia e cascalho. Nas áreas visitadas não foram observados problemas de assoreamento dos rios, apesar de ser recorrente a reclamação de moradores ribeirinhos sobre a diminuição da quantidade de peixes após o início de atividade de exploração de areia.

Alguns antigos proprietários de áreas desativadas pararam a exploração devido ao baixo preço de venda do material extraído e a concorrência, uma vez que a extração de areia nos rios acima citados ocorre de forma concentrada em alguns trechos, preferencialmente próxima de centros urbanos como Três Corações, Varginha e Itajubá. Algumas áreas encontram-se desativadas temporariamente, sendo retomada a exploração em momentos em que a areia tem um preço de venda mais atrativo.

A região apresenta ainda muitas áreas para a exploração de areia em sedimentos de rio, entretanto as áreas próximas aos principais centros urbanos encontra-se praticamente saturada.

A exploração de brita tem um grande potencial na região, principalmente na Folha Itajubá (1:100.000) onde existem grandes áreas com afloramento de gnaisses. Na área abrangida pelas duas folhas, com aproximadamente 5.400km<sup>2</sup> apenas cinco empresas exploram a extração de brita atualmente, sendo que uma atende apenas a produção de asfalto do mesmo grupo. A malha viária da região é razoável para o escoamento do material para centros urbanos maiores, necessitando apenas da melhoria de estradas secundárias que liguem as principais estradas a áreas potencialmente interessantes à exploração de brita. Na região são encontradas inúmeras pedreiras abandonadas, as quais foram exploradas até recentemente na época de ampliação da rodovia Fernão Dias ou a algumas dezenas de anos, quando do asfaltamento de rodovias da região e abertura e manutenção de estradas de ferro. Em sua maioria estas pedreiras foram desativadas sem que fossem realizados trabalhos de recuperação ambiental, apenas deixando que a vegetação tomasse conta das antigas frentes de lavra. A única exceção observada foi em uma pedreira às margens da rodovia Fernão Dias, próximo ao limite dos municípios de Três Corações e Carmo da Cachoeira. Esta pedreira abasteceu as obras de duplicação da rodovia e foi desativada há aproximadamente cinco anos. Atualmente estão sendo realizados trabalhos de recuperação ambiental para melhorar a segurança no local e possivelmente adaptá-lo a novos empreendimentos.

A exploração de rocha ornamental na área que abrange as folhas Varginha e Itajubá atualmente é inexistente, apesar da área ser vizinha de um dos principais pólos de exploração de quartzito ornamental do país. Na parte sul da Folha Itajubá afloram alguns plútons graníticos que apresentam potencial para a exploração de rocha ornamental, em especial nas serras da Pedra Branca e da Água Limpa. Entretanto estes locais também tem grande potencial para o turismo ecológico, além de serem importantes áreas de captação de água. Portanto deve-se avaliar com cuidado o impacto ambiental da exploração de bens minerais nestes locais.

A exploração de água mineral na região, uma das mais importantes do país, atualmente está passando por um período de revés. Nas cidades de Lambari e Cambuquira a exploração está paralisada desde meados de 2005 em devido a novo processo para arrendamento da exploração. Em São Lourenço a empresa Nestlé Waters Brasil – bebidas e alimentos LTDA está enfrentando processos judiciais e a revolta da população da cidade devido a problemas com rebaixamento do lençol freático e do secamento de fontes, atribuídos à exploração excessiva por parte da empresa.

Entretanto a exploração de água mineral segue sem maiores problemas em água de Contendas e Delfim Moreira, apesar de serem empresas de menor porte. Além disso em Varginha e

Lambari estão sendo instaladas novas plantas industriais para exploração de tão precioso bem mineral.

Além dos bens minerais acima apresentados cabe ressaltar que a área da Folha Varginha tem grande potencial econômico para agricultura, tradicionalmente explorada para o cultivo de café e mais recentemente de milho. Na Folha Itajubá existe um grande potencial para o turismo ecológico e esportes de aventura como alpinismo, canoagem, balonismo, vôo livre, *rafting*, caminhada e cavalgada, entre outros. Além do clima e da geomorfologia da região, também serve como atrativo a proximidade de grandes centros urbanos como Rio de Janeiro e São Paulo. Entretanto o potencial turístico da região ainda é pouco explorado.

Por fim cabe ressaltar que esta região possui inúmeras nascentes de importantes rios que fazem parte da Bacia do Rio Paraná e portanto deve ser explorada com cuidado para que seja preservada sua vocação de berço das águas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

BRAGA, I. F. **Estruturação tectônica e metamorfismo da região de Cristina/Itajubá-MG**. 2002. 186 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2002.

CAMPOS NETO.; CABY, R. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. **Tectonics**, Washington, v. 19, p. 669-687, 2000.

CAMPOS NETO.; COSTA, M. da; CABY, R. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. **Precambrian Research**, Berlin, n. 97, p. 3-26, 1999.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS; COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS. **Mapa geológico e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais**. Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Cadastro Mineiro**. Disponível em: <[www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br)>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral 2001**: ano base 2000. Brasília, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Projeto mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais do Estado de Minas Gerais**: folha Furnas SF.23-V-B, escala 1:250.000: Texto e Mapas. Brasília: DNPM/CPRM, 1984.

GARCIA, M. G. M. **Associações metamórficas de alta pressão**: nappes neoproterozóicas a sul do cráton do São Francisco. 2001. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

HEILBRON, M. *et al.* Provincia Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, Virginio. (Org.). *et al.* **Geologia do continente Sul-Americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. 647 p.

OLIVEIRA CASTRO, E. M. **Mapeamento geológico-estrutural e petrografia das sucessões pré-cambrianas da área de Lambari, Minas Gerais**. 1997. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

PACIULLO, F. V. P. **A sequência deposicional Andrelândia**. 1997. 248 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

PACIULLO, F. V. P. *et al.* The Andrelândia basin, a neoproterozoic intraplate continental margin, southern Brasília. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 200-202, 2000.

PACIULLO, F. V. P.; TROUW, R. A. J.; RIBEIRO, A. Geologia da folha Andrelândia. In: PEDROSA-SOARES, A. C. (Coord.). *et al.* **Projeto Sul de Minas**: geologia e recursos minerais do Sudeste Mineiro. Belo Horizonte: CRPM, 2003. v. 1.

PEREIRA, R. M. *et al.* Geologia e geoquímica do granito Mendanha e do granitóide Marins e idade Pb/Pb do Granito Mendanha, Faixa Ribeira, São Paulo. **Geociências**, [S.l.], v. 20, p. 49-60, 2001.

PEREIRA, R. M.; SANTOS, R. A.; NEVES, J. L. P. Prospecção a bateia na borda oriental da região Sudeste do Brasil: primeiros resultados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário de Camboriú. **Boletim de Resumos Expandidos...** Balneário de Camboriú: SBG-RJ, 1994. v. 2, p. 197-198.

PETERNEL, R. **A zona de superposição entre as faixas Brasília e Ribeira na região entre Caxambu e Pedralva, sul de Minas Gerais.** 2005. 257 f. Tese (Doutorado). – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PETERNEL, R. **Evolução estrutural e metamórfica de um sistema de nappes na região de Três Corações, sul de Minas Gerais.** 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

PETERNEL, R.; TROUW, R. A. J.; SCHMITT, R. S. Interferência entre duas faixas móveis neoproterozóicas: o caso das faixas Brasília e Ribeira no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências.** No prelo.

RIBEIRO, A. *et al.* Evolução das bacias proterozóicas e o termo-tectonismo brasileiro na margem sul do Cráton do São Francisco. **Revista brasileira de geologia**, [S.l.], v. 25, n. 4, p. 235-248, 1995.

RIBEIRO, A. *et al.* Evolução policíclica proterozóica no sul do Cráton do São Francisco: análise da região de São João del Rei e Andrelândia, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Boletim de Resumos...** Natal: SBG, 1990. v. 6, p. 2605-2614.

TROUW, C. C. **Geologia da folha Virginia, escala 1:50.000, MG.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. (Em preparação).

TROUW, R. A. J. *et al.* The central segment of the Ribeira Belt. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Tectonic Evolution of South America.** Rio de Janeiro: SGB, 2000. p. 287-310.

TROUW, R. A. J.; PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A. A faixa Alto Rio Grande reinterpretada com zona de interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário de Camboriú. **Boletim de Resumos Expandidos...** Balneário de Camboriú: SBG-RJ, 1994. v. 3, p. 234-235.

TROUW, R. A. J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P. 2003. Geologia da folha Caxambu. In: PEDROSA-SOARES, A. C. (Coord.). *et al.* **Projeto Sul de Minas: geologia e recursos minerais do Sudeste Mineiro.** Belo Horizonte: CPRM, 2003. v. 1.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Análises Químicas de Rochas da Folha Itajubá

| Amostra       | SiO2 % | Al2O3 % | Fe2O3 % | MgO % | CaO % | Na2O % | K2O % | TiO2 % | P2O5 % | MnO % | Cr2O3 % | Sc ppm | LOI % | SUM %  |  |
|---------------|--------|---------|---------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|--------|-------|--------|--|
| I1(GI-32)     | 71.31  | 14.37   | 3.02    | .82   | 2.44  | 3.55   | 3.42  | .41    | .09    | .06   | .001    | 7      | .7    | 100.19 |  |
| I2(GI-32m)    | 47.77  | 14.36   | 12.52   | 8.07  | 11.94 | 2.17   | .66   | 1.14   | .11    | .18   | .031    | 54     | 1.0   | 99.97  |  |
| I3(RD-142)    | 49.72  | 13.65   | 14.32   | 6.99  | 10.55 | 2.27   | .29   | 1.00   | .10    | .22   | .019    | 45     | .8    | 99.95  |  |
| I4(RD-1075)   | 65.72  | 15.15   | 4.62    | 1.12  | 2.72  | 3.37   | 5.17  | .87    | .38    | .10   | .001    | 12     | .7    | 99.92  |  |
| I5(RD-1132)   | 62.64  | 17.45   | 7.41    | 1.97  | 2.99  | 3.90   | 1.81  | .97    | .07    | .18   | .006    | 23     | .6    | 100.00 |  |
| I6(RD-288)    | 57.04  | 16.30   | 6.77    | 3.53  | 4.77  | 3.71   | 5.59  | 1.18   | .58    | .10   | .014    | 12     | .4    | 99.99  |  |
| I7(RD-654)    | 35.69  | 19.93   | 19.07   | 6.52  | 12.28 | 1.74   | .24   | 2.69   | .31    | .19   | .017    | 44     | 1.0   | 99.69  |  |
| I8(CTV-455)   | 49.08  | 14.57   | 12.54   | 7.89  | 10.92 | 1.69   | .41   | 1.82   | .22    | .20   | .027    | 39     | .6    | 99.99  |  |
| I9(RD-131)    | 61.60  | 16.75   | 7.95    | 3.72  | 2.42  | 2.38   | 3.11  | .90    | .21    | .13   | .016    | 21     | .7    | 99.90  |  |
| I10(CTV-355)  | 67.91  | 14.75   | 3.64    | .96   | 2.28  | 2.94   | 5.64  | .76    | .23    | .06   | .001    | 7      | .6    | 99.78  |  |
| I11(LC-8)     | 52.17  | 16.27   | 10.68   | 4.13  | 6.35  | 3.41   | 2.93  | 2.36   | .85    | .15   | .003    | 21     | .4    | 99.71  |  |
| I12(GI-84)    | 72.83  | 12.99   | 2.74    | .47   | 1.09  | 2.31   | 5.94  | .44    | .13    | .04   | .001    | 4      | .9    | 99.88  |  |
| I13(RD-818)   | 28.61  | 5.23    | 12.58   | 15.56 | 15.40 | .50    | 2.61  | 3.19   | .67    | .15   | .136    | 17     | 14.9  | 99.57  |  |
| I14(CTV-442)  | 55.23  | 20.32   | 3.37    | .43   | 1.54  | 9.27   | 5.49  | .53    | .15    | .18   | .001    | 2      | 3.0   | 99.51  |  |
| I15(CTV-54)   | 53.75  | 20.54   | 2.73    | .22   | 1.01  | 9.14   | 5.65  | .37    | .11    | .19   | .001    | 1      | 5.9   | 99.60  |  |
| I16(RD-256)   | 49.49  | 13.79   | 10.12   | 7.66  | 14.75 | 2.43   | .33   | .54    | .05    | .20   | .129    | 45     | .5    | 100.02 |  |
| I17(RD-89-2)  | 71.09  | 14.17   | 3.19    | 0.6   | 1.56  | 2.74   | 5.92  | 0.44   | 0.09   | 0.02  | 0.007   | 4      | 0.5   | 100.47 |  |
| I18(RD-584-2) | 59.82  | 16.04   | 6.64    | 3.82  | 6.09  | 4.23   | 1.33  | 0.55   | 0.17   | 0.11  | 0.023   | 16     | 1     | 99.9   |  |
| I19(RD-584-3) | 52.74  | 13.73   | 11.06   | 7.53  | 9.62  | 2.76   | 0.63  | 0.64   | 0.13   | 0.16  | 0.053   | 36     | 0.6   | 99.68  |  |
| I20(RD-1188)  | 69.23  | 14.39   | 3.59    | 0.68  | 1.83  | 2.8    | 6.01  | 0.57   | 0.2    | 0.04  | 0.002   | 5      | 0.8   | 100.32 |  |
| I21(RD-765a)  | 66.02  | 14.91   | 5.2     | 1.17  | 2.89  | 3.04   | 4.58  | 0.91   | 0.31   | 0.07  | 0.004   | 9      | 0.5   | 99.76  |  |
| I22(RD-765b)  | 69.64  | 14.39   | 3.81    | 0.66  | 1.69  | 2.86   | 5.73  | 0.54   | 0.18   | 0.05  | 0.004   | 5      | 0.4   | 100.08 |  |
| I23(RD-214)   | 68.71  | 14.55   | 4.19    | 0.77  | 1.81  | 2.83   | 5.8   | 0.63   | 0.22   | 0.05  | 0.003   | 6      | 0.3   | 100.01 |  |
| I24(RD-293)   | 70.66  | 14.87   | 3.04    | 0.67  | 2.33  | 5.02   | 1.43  | 0.28   | LO .01 | 0.03  | 0.011   | 2      | 1.4   | 99.8   |  |
| I25(RD-1224)  | 61.27  | 14.95   | 7.46    | 1.52  | 3.92  | 3.5    | 4.5   | 1.49   | 0.56   | 0.13  | 0.003   | 17     | 0.4   | 99.71  |  |
| I26(RD-C-2)   | 56.68  | 18.52   | 6.27    | 1.8   | 4.63  | 3.31   | 7.08  | 0.96   | 0.39   | 0.08  | 0.004   | 7      | 0.2   | 100.23 |  |
| I27(RD-505-A) | 55.3   | 18.31   | 13.21   | 4.83  | 2.18  | 1.46   | 3.28  | 1.26   | 0.2    | 0.29  | 0.036   | 32     | LO .1 | 100.18 |  |
| I28(RD-505-B) | 63.1   | 16.36   | 8.89    | 3.51  | 2.11  | 2.15   | 2.44  | 0.93   | 0.16   | 0.15  | 0.021   | 22     | LO .1 | 99.6   |  |
| I29(RD-505-C) | 47.28  | 12      | 14.24   | 7.6   | 11.2  | 1.67   | 0.73  | 1.2    | 0.09   | 0.2   | 0.042   | 49     | 3.5   | 99.79  |  |
| I30(RD-505-D) | 72.82  | 14.27   | 2.26    | 0.36  | 1.24  | 3.42   | 4.68  | 0.23   | 0.03   | 0.09  | 0.005   | 4      | 0.3   | 99.96  |  |

| Amostra       | SiO2<br>% | Al2O3<br>% | Fe2O3<br>% | MgO<br>%  | CaO<br>%  | Na2O<br>% | K2O<br>%  | TiO2<br>% | P2O5<br>% | MnO<br>%  | Cr2O3<br>% | Sc<br>ppm | LOI<br>%  | SUM<br>%  |           |
|---------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Amostra       | Mo<br>ppm | Cu<br>ppm  | Pb<br>ppm  | Zn<br>ppm | Ni<br>ppm | As<br>ppm | Cd<br>ppm | Sb<br>ppm | Bi<br>ppm | Ag<br>ppm | Au<br>ppm  | Hg<br>ppm | Tl<br>ppm | Se<br>ppm | Ba<br>ppm |
| I1(GI-32)     | .7        | 123.9      | .6         | 44        | 4.3       | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | .6         | .03       | .3        | L0.5      | 763.2     |
| I2(GI-32m)    | .3        | 36.1       | .3         | 10        | 19.1      | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.5       | .01       | L0.1      | L0.5      | 39.7      |
| I3(RD-142)    | .3        | 78.1       | .5         | 22        | 45.4      | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | 1.6        | .01       | L0.1      | .5        | 33.7      |
| I4(RD-1075)   | .6        | 3.8        | 1.2        | 54        | 1.5       | .5        | L0.1      | L0.1      | .1        | L0.1      | L0.5       | .02       | .3        | L0.5      | 1342.1    |
| I5(RD-1132)   | .2        | 4.4        | .5         | 59        | 19.0      | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | 1.1        | .01       | .1        | L0.5      | 415.9     |
| I6(RD-288)    | .9        | 30.2       | 2.5        | 26        | 17.4      | 3.2       | L0.1      | .1        | .1        | L0.1      | 1.9        | L0.01     | .1        | L0.5      | 1271.8    |
| I7(RD-654)    | .2        | .7         | 4.9        | 41        | 33.3      | L0.5      | L0.1      | L0.1      | .2        | L0.1      | 1.8        | .01       | L0.1      | L0.5      | 25.9      |
| I8(CTV-455)   | .4        | 47.0       | 1.6        | 11        | 37.2      | L0.5      | L0.1      | L0.1      | .1        | L0.1      | 1.3        | .01       | .4        | L0.5      | 106.9     |
| I9(RD-131)    | .2        | 23.5       | 2.5        | 111       | 62.8      | L0.5      | L0.1      | L0.1      | .2        | L0.1      | 1.4        | .04       | .6        | L0.5      | 636.4     |
| I10(CTV-355)  | .6        | 7.5        | 5.0        | 59        | 5.5       | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | .5         | .07       | .5        | L0.5      | 1356.4    |
| I11(LC-8)     | .7        | 27.3       | 1.3        | 70        | 20.9      | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.5       | .03       | .4        | L0.5      | 1481.1    |
| I12(GI-84)    | .6        | 8.2        | 5.9        | 41        | 1.7       | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.5       | L0.01     | .2        | L0.5      | 729.8     |
| I13(RD-818)   | 1.6       | 27.1       | 3.6        | 85        | 231.9     | L0.5      | .1        | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.5       | L0.01     | .6        | L0.5      | 1732.3    |
| I14(CTV-442)  | 3.3       | 3.8        | 26.7       | 130       | 2.5       | 8.6       | .2        | .1        | .1        | L0.1      | 1.2        | L0.01     | .4        | L0.5      | 332.6     |
| I15(CTV-54)   | .7        | 1.3        | 29.2       | 149       | .4        | 7.9       | .3        | L0.1      | .1        | L0.1      | 1.9        | L0.01     | .2        | L0.5      | 270.9     |
| I16(RD-256)   | .1        | 16.3       | 1.3        | 19        | 62.2      | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | 1.1        | L0.01     | L0.1      | L0.5      | 36.1      |
| I17(RD-89-2)  | 4.8       | 10.3       | 5.1        | 58        | 7         | 0.5       | L0.1      | 0.1       | L0.1      | L0.1      | 1.1        | L0.01     | 0.6       | L0.5      | 1265      |
| I18(RD-584-2) | 3.4       | 35.9       | 1.2        | 49        | 41.3      | 0.9       | 0.1       | 0.1       | L0.1      | 0.1       | 0.7        | L0.01     | 0.1       | L0.5      | 666       |
| I19(RD-584-3) | 1.8       | 3.6        | 0.8        | 31        | 24.3      | 0.6       | 0.1       | L0.1      | L0.1      | L0.1      | 1.1        | L0.01     | L0.1      | L0.5      | 131       |
| I20(RD-1188)  | 3.1       | 6.5        | 4.8        | 53        | 3.3       | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | 0.5        | L0.01     | 0.5       | L0.5      | 1625      |
| I21(RD-765a)  | 4.1       | 13.1       | 5.6        | 87        | 6.6       | L0.5      | L0.1      | 0.1       | L0.1      | 0.1       | 0.5        | L0.01     | 0.8       | L0.5      | 1303      |
| I22(RD-765b)  | 4.3       | 9.4        | 5.6        | 66        | 6.3       | L0.5      | L0.1      | 0.1       | L0.1      | L0.1      | 1.4        | L0.01     | 0.6       | L0.5      | 1136      |
| I23(RD-214)   | 5.2       | 15.6       | 5.7        | 78        | 7.5       | L0.5      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | 0.1       | 1.3        | L0.01     | 0.6       | L0.5      | 1249      |
| I24(RD-293)   | 3.8       | 10         | 6.5        | 54        | 12.4      | L0.5      | L0.1      | 0.1       | L0.1      | L0.1      | 0.8        | 0.01      | 0.2       | L0.5      | 498       |
| I25(RD-1224)  | 2.9       | 8.8        | 1          | 63        | 5.2       | L0.5      | 0.1       | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.5       | L0.01     | L0.1      | L0.5      | 1796.6    |
| I26(RD-C-2)   | 2.9       | 24         | 3          | 55        | 9.8       | 0.7       | 0.1       | 0.1       | L0.1      | 0.1       | 2          | 0.01      | 0.3       | L0.5      | 2664      |
| I27(RD-505-A) | 7.3       | 53.9       | 2.3        | 89        | 152.1     | 1.1       | L0.1      | L0.1      | L0.1      | L0.1      | 6.2        | 0.01      | 0.3       | L0.5      | 903       |
| I28(RD-505-B) | 35.4      | 25.6       | 2          | 52        | 53.3      | 1.9       | L0.1      | 0.1       | L0.1      | L0.1      | L0.5       | L0.01     | 0.1       | L0.5      | 643       |
| I29(RD-505-C) | 1.8       | 63.9       | 1.5        | 68        | 65.6      | 1         | 0.1       | L0.1      | 0.1       | L0.1      | 2.6        | L0.01     | L0.1      | 0.5       | 83        |
| I30(RD-505-D) | 3.7       | 13.9       | 2.9        | 33        | 7.7       | L0.5      | L0.1      | 0.1       | L0.1      | L0.1      | 0.5        | L0.01     | 0.1       | L0.5      | 2320      |

| Amostra       | SiO2<br>% | Al2O3<br>% | Fe2O3<br>% | MgO<br>%  | CaO<br>%  | Na2O<br>% | K2O<br>%  | TiO2<br>% | P2O5<br>% | MnO<br>%  | Cr2O3<br>% | Sc<br>ppm | LOI<br>% | SUM<br>% |           |
|---------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|----------|-----------|
| Amostra       | Be<br>ppm | Co<br>ppm  | Cs<br>ppm  | Ga<br>ppm | Hf<br>ppm | Nb<br>ppm | Rb<br>ppm | Sn<br>ppm | Sr<br>ppm | Ta<br>ppm | Th<br>ppm  | U<br>ppm  | V<br>ppm | W<br>ppm | Zr<br>ppm |
| I1(GI-32)     | 4         | 37.2       | .7         | 15.7      | 6.4       | 9.3       | 109.1     | 2         | 250.6     | 1.0       | 18.8       | 1.7       | 36       | 329.1    | 214.8     |
| I2(GI-32m)    | 1         | 55.0       | L0.1       | 15.6      | 1.5       | 4.2       | 5.7       | L0.1      | 221.1     | .4        | .3         | .2        | 329      | 80.5     | 51.3      |
| I3(RD-142)    | 1         | 68.3       | L0.1       | 15.8      | 1.6       | 2.2       | 5.2       | L0.1      | 144.3     | .2        | .2         | L0.1      | 310      | 119.1    | 52.3      |
| I4(RD-1075)   | 4         | 22.0       | 1.4        | 19.5      | 18.4      | 30.4      | 169.1     | 4         | 333.3     | 2.6       | 17.4       | 1.9       | 55       | 170.6    | 703.8     |
| I5(RD-1132)   | 3         | 29.8       | .5         | 20.6      | 8.2       | 10.8      | 49.1      | 2         | 280.3     | .9        | 11.8       | .8        | 81       | 202.8    | 289.3     |
| I6(RD-288)    | 10        | 19.2       | 14.9       | 20.3      | 8.5       | 28.0      | 280.5     | 4         | 771.5     | 2.1       | 20.8       | 5.6       | 114      | 5.1      | 314.8     |
| I7(RD-654)    | 2         | 60.9       | L0.1       | 36.0      | 2.2       | 7.7       | 4.2       | 2         | 1837.7    | .6        | .4         | 1.2       | 498      | 98.4     | 82.6      |
| I8(CTV-455)   | L0.1      | 59.2       | .5         | 18.9      | 3.7       | 13.9      | 9.8       | 1         | 254.2     | .9        | 1.5        | .5        | 318      | 83.7     | 138.4     |
| I9(RD-131)    | 2         | 39.1       | 7.0        | 22.9      | 5.9       | 11.8      | 107.2     | 3         | 193.7     | 1.1       | 9.1        | 3.1       | 152      | 172.2    | 202.6     |
| I10(CTV-355)  | 2         | 25.9       | 4.2        | 20.0      | 11.0      | 30.1      | 225.7     | 4         | 269.7     | 2.2       | 13.2       | 3.5       | 44       | 191.9    | 411.2     |
| I11(LC-8)     | 3         | 58.4       | 1.4        | 20.8      | 8.7       | 26.7      | 91.1      | 2         | 612.4     | 1.7       | 5.7        | 1.1       | 184      | 178.1    | 382.0     |
| I12(GI-84)    | 1         | 3.6        | 2.7        | 17.8      | 10.1      | 19.6      | 224.5     | 2         | 140.1     | .9        | 38.7       | 1.4       | 20       | .6       | 367.2     |
| I13(RD-818)   | 1         | 65.6       | 5.1        | 15.1      | 6.3       | 91.6      | 93.6      | 2         | 1486.9    | 6.4       | 13.7       | 2.4       | 170      | 1.5      | 244.2     |
| I14(CTV-442)  | 9         | 2.2        | 2.0        | 39.8      | 37.2      | 581.8     | 85.0      | 5         | 1094.4    | 33.1      | 44.3       | 21.0      | 30       | 1.8      | 1571.8    |
| I15(CTV-54)   | 10        | L0.5       | 1.9        | 41.9      | 37.7      | 635.0     | 94.1      | 5         | 279.3     | 35.9      | 51.0       | 21.3      | 18       | 2.1      | 1677.7    |
| I16(RD-256)   | L0.1      | 56.1       | .1         | 12.7      | L0.5      | 1.4       | 4.3       | L0.1      | 133.9     | .1        | .2         | L0.1      | 250      | .3       | 18.2      |
| I17(RD-89-2)  | -         | 3.2        | 1.6        | 21.8      | 7.5       | 8.4       | 198.2     | 1         | 224.3     | 0.2       | 42.3       | 2         | 20       | 6.1      | 269.3     |
| I18(RD-584-2) | -         | 20.9       | 0.5        | 19.1      | 2.1       | 5.9       | 28.3      | 1         | 672.4     | 0.4       | 1.5        | 0.3       | 98       | 3.1      | 103.7     |
| I19(RD-584-3) | -         | 45.8       | L0.1       | 16.6      | 2.1       | 2.6       | 6.4       | L0.1      | 277.3     | 0.2       | 0.8        | 0.5       | 224      | 1.6      | 89.6      |
| I20(RD-1188)  | -         | 4.6        | 1.1        | 21.4      | 11.4      | 21.1      | 199.8     | 3         | 277.3     | 0.8       | 26.6       | 1.4       | 29       | 2.5      | 392.8     |
| I21(RD-765a)  | -         | 7.3        | 1.7        | 22.5      | 11.4      | 30.8      | 212.4     | 7         | 328.2     | 1.7       | 23.6       | 1.9       | 61       | 3.5      | 456       |
| I22(RD-765b)  | -         | 4.2        | 1.6        | 21.3      | 11.2      | 26.1      | 226.8     | 3         | 219.4     | 0.9       | 30.6       | 1.4       | 27       | 5.3      | 375       |
| I23(RD-214)   | -         | 5.4        | 1.1        | 21.5      | 12.2      | 23.7      | 224.4     | 4         | 268.7     | 0.7       | 36.3       | 1.1       | 35       | 4.9      | 440.7     |
| I24(RD-293)   | -         | 4.7        | 1          | 19.5      | 4.3       | 1.9       | 21.9      | 2         | 605.1     | L0.1      | 5.4        | 0.2       | 18       | 7.2      | 163.6     |
| I25(RD-1224)  | 2         | 15.7       | 0.2        | 21.4      | 15.1      | 36.5      | 84.2      | 3         | 353.9     | 1.6       | 1.1        | 0.3       | 69       | 2.4      | 678.8     |
| I26(RD-C-2)   | -         | 11.9       | 2          | 20.5      | 5.6       | 9.2       | 162.7     | 2         | 1424.3    | 0.6       | 3          | 0.7       | 105      | 4.6      | 235.4     |
| I27(RD-505-A) | -         | 42         | 0.9        | 16.8      | 4.6       | 13.8      | 105.4     | 1         | 212.9     | 0.7       | 18         | 1         | 201      | 8        | 160.1     |
| I28(RD-505-B) | -         | 22.7       | 0.2        | 19.9      | 5.1       | 12.5      | 69.2      | 1         | 212.1     | 0.8       | 8.4        | 1.1       | 169      | 11.1     | 180.3     |
| I29(RD-505-C) | -         | 57.3       | L0.1       | 18.9      | 1.5       | 5.6       | 5.1       | 2         | 131       | 0.3       | 0.8        | 0.1       | 438      | 3.4      | 56.5      |
| I30(RD-505-D) | -         | 1.6        | 0.7        | 17.6      | 4.8       | 9.2       | 110.4     | 2         | 295.4     | 0.6       | 15.4       | 1.2       | 9        | 6.6      | 140.1     |

| Amostra       | SiO2<br>% | Al2O3<br>% | Fe2O3<br>% | MgO<br>% | CaO<br>% | Na2O<br>% | K2O<br>% | TiO2<br>% | P2O5<br>% | MnO<br>% | Cr2O3<br>% | Sc<br>ppm | LOI<br>% | SUM<br>% |      |
|---------------|-----------|------------|------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|----------|----------|------|
| Amostra       | Y         | La         | Ce         | Pr       | Nd       | Sm        | Eu       | Gd        | Tb        | Dy       | Ho         | Er        | Tm       | Yb       | Lu   |
|               | ppm       | ppm        | ppm        | ppm      | ppm      | ppm       | ppm      | ppm       | ppm       | ppm      | ppm        | ppm       | ppm      | ppm      | ppm  |
| I1(GI-32)     | 20.6      | 48.2       | 98.9       | 9.87     | 33.5     | 5.8       | 1.17     | 4.20      | .70       | 3.91     | .70        | 2.05      | .37      | 2.33     | .33  |
| I2(GI-32m)    | 22.5      | 4.9        | 13.1       | 1.73     | 9.6      | 2.5       | 1.03     | 3.34      | .57       | 3.78     | .84        | 2.31      | .40      | 2.30     | .31  |
| I3(RD-142)    | 23.1      | 2.8        | 7.8        | 1.18     | 7.2      | 2.1       | .91      | 3.10      | .55       | 3.83     | .80        | 2.46      | .39      | 2.34     | .34  |
| I4(RD-1075)   | 69.2      | 109.2      | 252.1      | 25.19    | 92.0     | 17.2      | 3.08     | 12.82     | 2.15      | 12.50    | 2.30       | 6.94      | 1.11     | 6.42     | .97  |
| I5(RD-1132)   | 59.4      | 43.7       | 101.2      | 11.46    | 46.0     | 9.5       | 1.72     | 7.90      | 1.40      | 9.62     | 2.06       | 6.10      | 1.04     | 5.80     | .94  |
| I6(RD-288)    | 22.3      | 78.3       | 162.7      | 17.03    | 66.2     | 11.2      | 2.35     | 6.45      | .90       | 4.62     | .69        | 1.82      | .31      | 1.67     | .24  |
| I7(RD-654)    | 40.1      | 11.6       | 28.7       | 4.13     | 21.1     | 5.6       | 2.06     | 6.64      | 1.12      | 7.22     | 1.41       | 4.00      | .64      | 3.58     | .61  |
| I8(CTV-455)   | 28.0      | 17.0       | 37.5       | 4.83     | 20.3     | 4.8       | 1.55     | 5.65      | .91       | 5.36     | .99        | 2.91      | .44      | 2.49     | .38  |
| I9(RD-131)    | 39.4      | 29.3       | 64.7       | 7.46     | 29.7     | 6.6       | 1.42     | 6.48      | 1.21      | 6.67     | 1.31       | 4.08      | .69      | 3.93     | .66  |
| I10(CTV-355)  | 39.4      | 56.3       | 124.0      | 14.73    | 59.1     | 11.3      | 1.77     | 8.56      | 1.35      | 7.29     | 1.34       | 3.66      | .50      | 3.25     | .53  |
| I11(LC-8)     | 43.9      | 71.5       | 146.3      | 16.86    | 63.7     | 12.3      | 3.19     | 9.25      | 1.44      | 8.56     | 1.43       | 4.17      | .64      | 3.56     | .57  |
| I12(GI-84)    | 22.4      | 133.9      | 273.1      | 28.67    | 96.0     | 15.1      | 1.31     | 7.82      | 1.05      | 5.00     | .76        | 1.98      | .30      | 1.62     | .26  |
| I13(RD-818)   | 29.6      | 129.7      | 283.1      | 32.65    | 126.9    | 22.7      | 6.56     | 15.50     | 2.08      | 8.00     | 1.10       | 2.34      | .28      | 1.49     | .18  |
| I14(CTV-442)  | 24.1      | 81.1       | 160.4      | 16.34    | 54.5     | 8.4       | 2.39     | 5.36      | .89       | 4.55     | .80        | 2.40      | .35      | 2.12     | .35  |
| I15(CTV-54)   | 24.8      | 91.3       | 174.3      | 17.41    | 60.9     | 8.3       | 2.39     | 5.39      | .86       | 4.77     | .86        | 2.29      | .34      | 2.18     | .34  |
| I16(RD-256)   | 15.3      | 3.1        | 4.0        | .68      | 2.9      | 1.0       | .39      | 1.57      | .33       | 2.65     | .53        | 1.62      | .29      | 1.77     | .27  |
| I17(RD-89-2)  | 15.6      | 84.2       | 194.3      | 21.13    | 79.9     | 13.4      | 0.91     | 8.88      | 0.94      | 3.61     | 0.51       | 1.1       | 0.13     | 1.04     | 0.14 |
| I18(RD-584-2) | 16.7      | 12.6       | 30.6       | 3.71     | 16.9     | 3.5       | 0.96     | 3.04      | 0.48      | 2.83     | 0.56       | 1.59      | 0.2      | 1.51     | 0.21 |
| I19(RD-584-3) | 19.9      | 8.4        | 21.1       | 2.89     | 13.8     | 3         | 0.85     | 3.01      | 0.46      | 2.9      | 0.67       | 1.88      | 0.27     | 1.98     | 0.27 |
| I20(RD-1188)  | 20.5      | 105.7      | 216.9      | 22.59    | 78.9     | 10        | 1.32     | 6.63      | 0.88      | 3.66     | 0.65       | 1.49      | 0.2      | 1.46     | 0.19 |
| I21(RD-765a)  | 36.1      | 126        | 231        | 26.52    | 92.2     | 13.2      | 1.59     | 9.31      | 1.3       | 6.37     | 1.14       | 2.71      | 0.47     | 2.92     | 0.41 |
| I22(RD-765b)  | 32.5      | 300.5      | 434.4      | 61.89    | 216.2    | 26.5      | 2.07     | 15.17     | 1.74      | 6.8      | 1.05       | 2.13      | 0.32     | 1.75     | 0.22 |
| I23(RD-214)   | 18.6      | 84         | 339.2      | 21.88    | 76.5     | 11.3      | 1.33     | 6.75      | 0.93      | 3.66     | 0.63       | 1.44      | 0.24     | 1.62     | 0.22 |
| I24(RD-293)   | 3.8       | 17.6       | 42.6       | 3.69     | 12       | 1.7       | 0.74     | 1.11      | 0.15      | 0.63     | 0.15       | 0.32      | LO .05   | 0.28     | 0.06 |
| I25(RD-1224)  | 55.8      | 70.9       | 148.3      | 17.83    | 78       | 14.3      | 3.91     | 11.8      | 2.19      | 9.74     | 1.92       | 5.28      | 0.7      | 6.25     | 0.73 |
| I26(RD-C-2)   | 16.7      | 65.5       | 133.7      | 15.25    | 57       | 8.6       | 2.8      | 5.9       | 0.77      | 3.78     | 0.55       | 1.29      | 0.2      | 1.12     | 0.14 |
| I27(RD-505-A) | 36.1      | 48.5       | 106.9      | 12.31    | 46.2     | 7.5       | 1.65     | 6.25      | 0.97      | 6.1      | 1.27       | 3.34      | 0.57     | 3.06     | 0.45 |
| I28(RD-505-B) | 42        | 30.1       | 64.7       | 7.77     | 29.5     | 6         | 1.58     | 6.08      | 1.08      | 6.53     | 1.43       | 3.75      | 0.64     | 3.77     | 0.58 |
| I29(RD-505-C) | 26.9      | 9          | 25.5       | 3.62     | 17.2     | 4.5       | 1.27     | 4.7       | 0.83      | 4.99     | 0.99       | 2.64      | 0.44     | 2.57     | 0.32 |
| I30(RD-505-D) | 19.9      | 43.9       | 94.5       | 10.36    | 38.9     | 6.1       | 1.66     | 5.41      | 0.67      | 3.73     | 0.75       | 1.76      | 0.33     | 1.94     | 0.29 |

## ANEXO 2

### Análises Químicas de Rochas da Folha Itajubá

| N_CAMPO       | SiO2<br>% | Al2O3<br>% | Fe2O3<br>% | MgO<br>% | CaO<br>% | Na2O<br>% | K2O<br>% | TiO2<br>% | P2O5<br>% | MnO<br>% | Cr2O3<br>% | Sc<br>ppm | LOI<br>% | TOT/C<br>% | TOT/S<br>% | SUM<br>% |
|---------------|-----------|------------|------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|----------|------------|------------|----------|
| V1(MR-257)    | 72.68     | 12.68      | 3.85       | .30      | 1.73     | 2.60      | 5.10     | .49       | .11       | .04      | .001       | 8         | .4       | .06        | .03        | 99.99    |
| V2(MR-257-G)  | 61.69     | 11.43      | 18.26      | .23      | 6.72     | .12       | .13      | .95       | .15       | .32      | .004       | 29        | .1       | .03        | .04        | 99.22    |
| V3(MR-138)    | 69.89     | 12.95      | 5.68       | .25      | 2.62     | 2.81      | 4.34     | .45       | .10       | .07      | .001       | 14        | .6       | .04        | .05        | 99.76    |
| V4(CRV-F-6)   | 64.64     | 15.07      | 5.63       | 2.09     | 3.75     | 3.70      | 3.66     | .75       | .35       | .07      | .006       | 11        | .4       | .03        | .02        | 100.12   |
| V5(CRV-F-19)  | 49.15     | 15.89      | 11.27      | 5.96     | 12.56    | 2.62      | .29      | 1.14      | .13       | .19      | .054       | 43        | .8       | .02        | .20        | 100.09   |
| V6(MR-218)    | 45.96     | 14.58      | 12.30      | 9.35     | 13.04    | 1.65      | .34      | 2.10      | .26       | .17      | .029       | 34        | .2       | .01        | .07        | 100.00   |
| V7(MR-234)    | 65.12     | 16.02      | 5.13       | 1.94     | 4.63     | 3.40      | 2.37     | .67       | .23       | .08      | .005       | 7         | .4       | .04        | .03        | 100.00   |
| V8(MR-79)     | 60.28     | 16.82      | 7.70       | 2.94     | 6.07     | 3.17      | 1.45     | .88       | .17       | .12      | .007       | 17        | .5       | .01        | .04        | 100.11   |
| V9(MR-283)    | 44.90     | 8.88       | 12.32      | 10.00    | 19.37    | 1.11      | .14      | 1.65      | .26       | .21      | .128       | 31        | .9       | .17        | .06        | 99.92    |
| V10(CVR-F-18) | 50.37     | 14.02      | 15.45      | 4.58     | 7.92     | 2.57      | 2.02     | 2.01      | .36       | .20      | .010       | 31        | .5       | .01        | .17        | 100.02   |
| V11(E-2)      | 46.10     | 14.18      | 16.49      | 4.99     | 7.84     | 2.93      | 2.52     | 3.24      | 1.01      | .22      | .008       | 29        | .4       | .01        | .12        | 99.94    |
| V12(MR-155)   | 49.58     | 13.77      | 13.85      | 6.73     | 10.61    | 2.29      | .48      | 2.07      | .23       | .20      | .024       | 40        | .2       | .01        | .14        | 100.07   |
| V13(E-3)      | 64.26     | 15.75      | 6.88       | 3.37     | 2.59     | 2.94      | 2.56     | .84       | .20       | .11      | .016       | 18        | .5       | .01        | .01        | 100.02   |
| V14(MR-249xb) | 63.34     | 16.46      | 8.48       | 3.59     | 1.87     | 1.41      | 2.88     | 1.04      | .19       | .14      | .017       | 21        | .5       | .05        | .02        | 99.93    |
| V15(MR-249xt) | 63.36     | 16.38      | 8.26       | 3.83     | 1.98     | 2.58      | 2.37     | 1.00      | .20       | .13      | .021       | 22        | .1       | .01        | .02        | 100.23   |
| V16(MR-249f)  | 61.44     | 17.48      | 9.31       | 3.90     | 1.69     | .91       | 3.96     | 1.10      | .20       | .12      | .018       | 23        | .1       | .02        | .02        | 100.23   |
| V17(MR-249m)  | 77.84     | 6.98       | 2.52       | 3.44     | 4.30     | .57       | 2.08     | .37       | .09       | .04      | .005       | 5         | 1.7      | .33        | .03        | 99.93    |
| V18(MR-244x)  | 71.12     | 12.02      | 6.25       | 2.49     | 3.15     | 1.87      | 1.39     | .89       | .15       | .11      | .012       | 15        | .6       | .07        | .01        | 100.06   |
| V19(MR-244f)  | 62.53     | 16.63      | 8.81       | 3.87     | 1.79     | 2.37      | 2.74     | .98       | .19       | .13      | .018       | 23        | .1       | .01        | .03        | 99.97    |
| V20(MR-219)   | 64.99     | 12.54      | 13.16      | .07      | 4.16     | .85       | 3.11     | .78       | .15       | .16      | .003       | 23        | .1       | .01        | .01        | 99.37    |
| V21(MR-96)    | 62.01     | 16.05      | 6.46       | 3.80     | 5.70     | 1.11      | 2.76     | .58       | .12       | .06      | .014       | 14        | 1.3      | .15        | .02        | 99.97    |
| V22(MR-299)   | 65.43     | 14.49      | 7.75       | 3.09     | 2.58     | 2.18      | 2.39     | .97       | .20       | .13      | .018       | 19        | .9       | .04        | .01        | 100.14   |
| V23(CRV-F-27) | 64.20     | 15.52      | 7.29       | 3.61     | 2.14     | 2.90      | 2.57     | .89       | .20       | .12      | .019       | 19        | .7       | .01        | .02        | 100.17   |
| V24(VA-2)     | 69.20     | 12.70      | 7.74       | .06      | 2.21     | 1.40      | 5.11     | .53       | .11       | .09      | .003       | 14        | .2       | .01        | .01        | 99.35    |
| V25(CRV-F-11) | 51.73     | .86        | 1.06       | 16.92    | 25.59    | .07       | .36      | .07       | .05       | .06      | .001       | 1         | 3.0      | .67        | .02        | 99.77    |
| N_CAMPO       | Mo        | Cu         | Pb         | Zn       | Ni       | As        | Cd       | Sb        | Bi        | Ag       | Au         | Hg        | Tl       | Se         | Ba         | Be       |
|               | ppm       | ppm        | ppm        | ppm      | ppm      | ppm       | ppm      | ppm       | ppm       | ppm      | ppm        | ppm       | ppm      | ppm        | ppm        | ppm      |
| V1(MR-257)    | .7        | 6.7        | 1.8        | 50       | 1.5      | .6        | G0.1     | G0.1      | G0.1      | G0.1     | 1.7        | .05       | .2       | G0.5       | 1280.7     | 1        |
| V2(MR-257-G)  | .7        | 9.4        | 4.0        | 58       | 1.6      | 2.1       | .2       | .1        | G0.1      | G0.1     | 4.2        | G0.01     | G0.1     | .5         | 73.3       | G0.1     |

| N_CAMPO       | SiO2 % | Al2O3 % | Fe2O3 % | MgO % | CaO % | Na2O % | K2O % | TiO2 % | P2O5 % | MnO % | Cr2O3 % | Sc ppm | LOI % | TOT/C % | TOT/S % | SUM %  |
|---------------|--------|---------|---------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|---------|--------|
| V3(MR-138)    | 2.7    | 12.1    | 4.1     | 114   | 1.6   | 1.7    | .1    | G0.1   | G0.1   | G0.1  | G0.5    | G0.01  | .4    | .7      | 1855.2  | 3      |
| V4(CRV-F-6)   | .5     | 24.5    | 4.2     | 68    | 14.1  | .7     | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.4     | G0.01  | .6    | G0.5    | 892.1   | 3      |
| V5(CRV-F-19)  | .6     | 91.0    | .5      | 24    | 185.6 | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.1     | G0.01  | G0.1  | .5      | 75.9    | G0.1   |
| V6(MR-218)    | .7     | 45.2    | .6      | 14    | 15.9  | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 4.2     | .02    | G0.1  | G0.5    | 86.2    | G0.1   |
| V7(MR-234)    | .4     | 17.8    | .9      | 17    | 8.9   | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | G0.5    | G0.01  | G0.1  | G0.5    | 642.4   | 1      |
| V8(MR-79)     | .2     | 13.4    | .2      | 14    | 8.8   | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.8     | .03    | G0.1  | G0.5    | 390.5   | 2      |
| V9(MR-283)    | .2     | 131.2   | 4.1     | 15    | 173.7 | .5     | .1    | G0.1   | G0.1   | .1    | .6      | .02    | G0.1  | G0.5    | 604.6   | 3      |
| V10(CVR-F-18) | .8     | 143.6   | 1.0     | 69    | 43.7  | G0.5   | .1    | G0.1   | G0.1   | G0.1  | G0.5    | .01    | .1    | G0.5    | 704.4   | 1      |
| V11(E-2)      | .3     | 107.2   | 1.3     | 81    | 38.7  | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.8     | .01    | .3    | G0.5    | 421.0   | 2      |
| V12(MR-155)   | .3     | 129.0   | .2      | 22    | 104.6 | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.3     | .02    | .2    | .6      | 138.6   | 1      |
| V13(E-3)      | 1.6    | 55.2    | 1.9     | 71    | 55.0  | G0.5   | .1    | G0.1   | .2     | G0.1  | G0.5    | .01    | .4    | G0.5    | 451.0   | 2      |
| V14(MR-249xb) | .9     | 63.5    | .5      | 40    | 49.9  | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.1     | .02    | .1    | G0.5    | 683.1   | G0.1   |
| V15(MR-249xt) | .5     | 13.9    | .3      | 45    | 70.4  | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 3.1     | .05    | .1    | G0.5    | 525.4   | 1      |
| V16(MR-249f)  | .2     | 24.9    | 1.0     | 33    | 50.5  | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 2.1     | G0.01  | .1    | G0.5    | 683.9   | G0.1   |
| V17(MR-249m)  | .7     | 3.4     | 1.8     | 25    | 9.0   | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | G0.5    | .05    | .1    | G0.5    | 392.7   | 1      |
| V18(MR-244x)  | .5     | 6.3     | 2.1     | 50    | 36.6  | G0.5   | .1    | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 4.3     | G0.01  | .2    | G0.5    | 435.9   | 2      |
| V19(MR-244f)  | .4     | 19.1    | .9      | 57    | 69.4  | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.6     | G0.01  | .2    | .6      | 637.3   | 1      |
| V20(MR-219)   | 1.5    | 20.9    | 5.0     | 62    | 1.3   | G0.5   | .2    | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.6     | G0.01  | G0.1  | 1.0     | 2080.2  | G0.1   |
| V21(MR-96)    | .2     | 16.8    | 5.7     | 72    | 37.6  | .5     | G0.1  | G0.1   | .1     | G0.1  | 1.8     | G0.01  | .5    | G0.5    | 489.1   | 2      |
| V22(MR-299)   | .6     | 28.2    | 2.3     | 84    | 55.2  | G0.5   | .1    | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.5     | G0.01  | .4    | G0.5    | 497.8   | 3      |
| V23(CRV-F-27) | .8     | 37.6    | 1.6     | 76    | 59.3  | G0.5   | .1    | G0.1   | .2     | G0.1  | 1.0     | G0.01  | .4    | G0.5    | 464.1   | 2      |
| V24(VA-2)     | .6     | 10.6    | 5.3     | 64    | 1.1   | G0.5   | .1    | G0.1   | G0.1   | G0.1  | G0.5    | G0.01  | .1    | .8      | 4127.6  | 3      |
| V25(CRV-F-11) | 1.1    | 1.0     | 1.6     | 3     | .8    | G0.5   | G0.1  | G0.1   | G0.1   | G0.1  | 1.0     | G0.01  | G0.1  | G0.5    | 2088.0  | G0.1   |
|               |        |         |         |       |       |        |       |        |        |       |         |        |       |         |         |        |
| N_CAMPO       | Co     | Cs      | Ga      | Hf    | Nb    | Rb     | Sn    | Sr     | Ta     | Th    | U       | V      | W     | Zr      | Y       | La     |
|               | ppm    | ppm     | ppm     | ppm   | ppm   | ppm    | ppm   | ppm    | ppm    | ppm   | ppm     | ppm    | ppm   | ppm     | ppm     | ppm    |
| V1(MR-257)    | 26.1   | .7      | 19.0    | 11.8  | 13.0  | 131.7  | G0.1  | 193.5  | 1.0    | 5.6   | .7      | 17     | 240.0 | 439.4   | 18.0    | 72.7   |
| V2(MR-257-G)  | 4.3    | G0.1    | 28.6    | 43.3  | 200.7 | 4.8    | 1     | 58.9   | 8.8    | 69.9  | 3.8     | 11     | 3.6   | 1563.1  | 399.0   | 1634.9 |
| V3(MR-138)    | 2.6    | 1.0     | 26.0    | 17.9  | 40.8  | 116.6  | 2     | 286.5  | 1.8    | 19.3  | 2.5     | 12     | .2    | 655.1   | 146.5   | 216.2  |
| V4(CRV-F-6)   | 12.0   | .9      | 20.7    | 8.6   | 15.7  | 149.3  | 4     | 409.1  | 1.3    | 37.6  | 3.9     | 72     | 1.7   | 306.2   | 29.5    | 65.3   |
| V5(CRV-F-19)  | 76.1   | G0.1    | 16.8    | 1.5   | 3.3   | 1.8    | 1     | 168.2  | .2     | .1    | G0.1    | 303    | .7    | 50.6    | 30.5    | 5.4    |
| V6(MR-218)    | 65.4   | .2      | 16.8    | 3.2   | 17.9  | 6.0    | G0.1  | 505.0  | 1.3    | 1.3   | .3      | 247    | 152.6 | 116.5   | 37.1    | 32.8   |
| V7(MR-234)    | 12.3   | G0.1    | 18.9    | 3.8   | 7.3   | 56.2   | 1     | 389.1  | .3     | .4    | .1      | 86     | 3.7   | 144.3   | 9.1     | 23.8   |

| N_CAMPO       | SiO2<br>% | Al2O3<br>% | Fe2O3<br>% | MgO<br>% | CaO<br>% | Na2O<br>% | K2O<br>% | TiO2<br>% | P2O5<br>% | MnO<br>% | Cr2O3<br>% | Sc<br>ppm | LOI<br>% | TOT/C<br>% | TOT/S<br>% | SUM<br>% |
|---------------|-----------|------------|------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|----------|------------|------------|----------|
| V8(MR-79)     | 38.0      | G0.1       | 19.0       | 3.2      | 8.1      | 24.5      | 1        | 336.3     | .7        | .2       | G0.1       | 147       | 200.6    | 100.9      | 14.5       | 17.3     |
| V9(MR-283)    | 75.4      | .2         | 11.8       | 2.3      | 13.0     | 3.4       | 1        | 192.1     | 1.7       | 2.2      | .6         | 244       | 140.0    | 101.6      | 20.2       | 30.2     |
| V10(CVR-F-18) | 57.5      | .3         | 22.4       | 5.3      | 10.9     | 30.3      | 1        | 329.0     | .7        | 3.9      | .6         | 243       | 103.3    | 212.3      | 37.0       | 34.1     |
| V11(E-2)      | 46.1      | 2.7        | 21.2       | 6.6      | 15.7     | 66.1      | 2        | 279.6     | 1.2       | 4.3      | 1.2        | 309       | 73.6     | 277.0      | 55.5       | 32.4     |
| V12(MR-155)   | 65.8      | .2         | 18.3       | 2.9      | 9.9      | 12.7      | G0.1     | 212.5     | .8        | 2.2      | .4         | 389       | 111.9    | 103.2      | 34.1       | 13.0     |
| V13(E-3)      | 30.6      | 5.8        | 17.8       | 5.3      | 8.8      | 86.0      | 2        | 194.3     | .9        | 8.0      | 2.8        | 141       | 124.5    | 178.8      | 31.2       | 28.3     |
| V14(MR-249xb) | 40.6      | .5         | 19.3       | 6.9      | 14.4     | 80.3      | 3        | 150.2     | 1.0       | 15.5     | 1.3        | 133       | 251.7    | 234.4      | 40.3       | 40.3     |
| V15(MR-249xt) | 48.9      | .4         | 18.3       | 5.9      | 10.5     | 58.2      | 2        | 198.9     | 1.0       | 8.0      | 1.2        | 171       | 338.3    | 202.9      | 39.1       | 29.4     |
| V16(MR-249f)  | 23.7      | .6         | 22.4       | 6.2      | 16.6     | 106.3     | G0.1     | 179.1     | 1.0       | 14.8     | 1.1        | 172       | 1.5      | 230.8      | 40.3       | 39.1     |
| V17(MR-249m)  | 27.9      | 1.8        | 9.8        | 4.6      | 3.3      | 64.8      | 1        | 144.2     | .6        | 4.1      | .6         | 41        | 319.6    | 165.0      | 12.5       | 19.8     |
| V18(MR-244x)  | 16.3      | 1.0        | 15.2       | 6.8      | 11.9     | 66.0      | 2        | 173.5     | .7        | 9.4      | 1.2        | 99        | 5.3      | 234.7      | 35.5       | 30.7     |
| V19(MR-244f)  | 22.8      | .4         | 18.7       | 5.5      | 10.3     | 64.9      | 2        | 199.9     | .6        | 9.6      | 1.4        | 173       | .4       | 192.8      | 39.8       | 30.9     |
| V20(MR-219)   | 1.9       | G0.1       | 37.9       | 44.5     | 133.2    | 68.1      | G0.1     | 197.3     | 6.0       | 45.7     | 2.4        | G0.5      | 2.7      | 1609.0     | 302.4      | 1238.4   |
| V21(MR-96)    | 16.9      | 3.9        | 20.4       | 4.3      | 11.0     | 144.9     | 2        | 234.8     | .9        | 11.3     | 2.3        | 90        | 1.4      | 158.4      | 27.4       | 40.5     |
| V22(MR-299)   | 20.7      | 3.2        | 17.6       | 6.4      | 12.4     | 91.3      | 2        | 170.3     | .9        | 9.0      | 1.3        | 135       | 2.9      | 222.0      | 36.5       | 36.0     |
| V23(CRV-F-27) | 19.4      | 5.0        | 18.8       | 5.6      | 9.5      | 75.8      | 2        | 198.9     | .6        | 6.8      | 2.1        | 151       | 1.0      | 181.1      | 32.5       | 25.1     |
| V24(VA-2)     | 1.8       | .4         | 40.8       | 25.1     | 89.1     | 116.6     | G0.1     | 400.2     | 3.7       | 42.4     | 1.6        | G0.5      | 3.1      | 874.8      | 181.6      | 917.3    |
| V25(CRV-F-11) | 2.6       | G0.1       | 1.1        | 1.7      | 3.0      | 4.3       | G0.1     | 87.8      | .3        | 1.1      | 1.0        | 9         | .1       | 70.7       | 6.0        | 7.2      |
| N_CAMPO       | Ce        | Pr         | Nd         | Sm       | Eu       | Gd        | Tb       | Dy        | Ho        | Er       | Tm         | Yb        | Lu       |            |            |          |
|               | ppm       | ppm        | ppm        | ppm      | ppm      | ppm       | ppm      | ppm       | ppm       | ppm      | ppm        | ppm       | ppm      |            |            |          |
| V1(MR-257)    | 147.7     | 15.20      | 57.0       | 8.9      | 1.49     | 6.04      | .73      | 3.95      | .68       | 1.74     | .26        | 1.55      | .26      |            |            |          |
| V2(MR-257-G)  | 3572.3    | 369.00     | 1444.4     | 217.3    | 13.02    | 143.33    | 19.84    | 97.77     | 14.97     | 32.16    | 3.91       | 21.22     | 2.71     |            |            |          |
| V3(MR-138)    | 499.3     | 51.44      | 195.8      | 40.3     | 4.68     | 32.08     | 5.18     | 29.58     | 5.31      | 14.55    | 2.04       | 11.92     | 1.61     |            |            |          |
| V4(CRV-F-6)   | 154.0     | 16.91      | 63.8       | 10.6     | 1.44     | 7.46      | .96      | 5.18      | .98       | 2.70     | .43        | 2.19      | .33      |            |            |          |
| V5(CRV-F-19)  | 14.3      | 2.14       | 9.8        | 3.2      | 1.42     | 4.51      | .80      | 5.18      | 1.10      | 3.17     | .48        | 3.16      | .45      |            |            |          |
| V6(MR-218)    | 32.9      | 10.45      | 47.0       | 10.2     | 3.51     | 9.89      | 1.41     | 7.41      | 1.29      | 3.29     | .44        | 2.27      | .32      |            |            |          |
| V7(MR-234)    | 44.7      | 4.60       | 16.3       | 2.5      | .93      | 1.85      | .26      | 1.63      | .27       | .75      | .12        | .68       | .13      |            |            |          |
| V8(MR-79)     | 36.7      | 4.30       | 17.1       | 3.5      | 1.17     | 3.16      | .51      | 2.51      | .47       | 1.40     | .25        | 1.26      | .20      |            |            |          |
| V9(MR-283)    | 58.8      | 7.38       | 26.7       | 5.4      | 1.59     | 4.80      | .67      | 3.75      | .67       | 1.90     | .28        | 1.40      | .22      |            |            |          |
| V10(CVR-F-18) | 75.9      | 8.46       | 36.1       | 7.7      | 2.17     | 7.46      | 1.19     | 6.38      | 1.37      | 3.89     | .61        | 3.60      | .50      |            |            |          |
| V11(E-2)      | 79.9      | 9.84       | 44.2       | 9.8      | 3.20     | 10.67     | 1.62     | 10.80     | 2.00      | 5.66     | .82        | 5.23      | .75      |            |            |          |
| V12(MR-155)   | 25.8      | 3.67       | 17.5       | 4.7      | 1.63     | 5.60      | .87      | 5.92      | 1.15      | 3.31     | .46        | 2.89      | .42      |            |            |          |

| N_CAMPO       | SiO2<br>% | Al2O3<br>% | Fe2O3<br>% | MgO<br>% | CaO<br>% | Na2O<br>% | K2O<br>% | TiO2<br>% | P2O5<br>% | MnO<br>% | Cr2O3<br>% | Sc<br>ppm | LOI<br>% | TOT/C<br>% | TOT/S<br>% | SUM<br>% |
|---------------|-----------|------------|------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|----------|------------|------------|----------|
| V13(E-3)      | 63.7      | 7.16       | 28.4       | 6.3      | 1.48     | 5.51      | .89      | 5.00      | 1.03      | 3.22     | .50        | 3.00      | .47      |            |            |          |
| V14(MR-249xb) | 89.0      | 9.93       | 39.5       | 7.8      | 1.56     | 6.75      | 1.14     | 6.81      | 1.33      | 3.89     | .65        | 3.84      | .58      |            |            |          |
| V15(MR-249xt) | 63.1      | 7.30       | 30.3       | 6.6      | 1.64     | 6.10      | 1.04     | 6.31      | 1.28      | 3.92     | .61        | 4.03      | .57      |            |            |          |
| V16(MR-249f)  | 83.9      | 9.06       | 35.2       | 6.8      | 1.59     | 6.93      | 1.08     | 6.85      | 1.46      | 4.38     | .68        | 3.95      | .63      |            |            |          |
| V17(MR-249m)  | 42.9      | 4.97       | 20.0       | 3.8      | .76      | 2.70      | .39      | 2.35      | .43       | 1.31     | .20        | 1.40      | .21      |            |            |          |
| V18(MR-244x)  | 65.7      | 7.28       | 27.3       | 5.4      | 1.39     | 5.51      | .92      | 5.19      | 1.13      | 3.37     | .52        | 3.14      | .44      |            |            |          |
| V19(MR-244f)  | 69.6      | 7.98       | 31.7       | 6.5      | 1.48     | 5.80      | 1.10     | 6.15      | 1.26      | 3.84     | .59        | 3.93      | .54      |            |            |          |
| V20(MR-219)   | 2390.4    | 287.06     | 1096.9     | 171.5    | 18.19    | 111.18    | 14.63    | 72.23     | 10.90     | 24.86    | 3.15       | 18.12     | 2.32     |            |            |          |
| V21(MR-96)    | 81.3      | 8.97       | 31.4       | 6.1      | 1.24     | 4.74      | .84      | 4.58      | .88       | 2.54     | .39        | 2.27      | .38      |            |            |          |
| V22(MR-299)   | 68.1      | 8.25       | 31.5       | 6.8      | 1.52     | 5.84      | .99      | 6.22      | 1.24      | 3.50     | .52        | 3.51      | .53      |            |            |          |
| V23(CRV-F-27) | 54.1      | 6.47       | 27.9       | 6.0      | 1.39     | 5.15      | .89      | 5.59      | 1.14      | 3.35     | .51        | 3.00      | .48      |            |            |          |
| V24(VA-2)     | 1985.8    | 247.24     | 931.9      | 143.8    | 15.68    | 79.79     | 10.96    | 52.04     | 7.54      | 16.68    | 2.31       | 12.83     | 1.68     |            |            |          |
| V25(CRV-F-11) | 19.2      | 2.03       | 7.3        | 1.5      | .21      | 1.17      | .18      | 1.13      | .21       | .61      | .10        | .55       | .08      |            |            |          |