

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**DE NAPPE SIN-METAMÓRFICA A SISTEMA DE CAVALGAMENTO:
EVOLUÇÃO ESTRUTURAL DE UMA SEÇÃO DA NAPPE LIMA
DUARTE, SUL DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO**

Daina Popic Bendoraitis

Orientador: Prof. Dr. Mario da Costa Campos Neto

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
TF – (2007/12)**

**SÃO PAULO
2007**

**TF
B459
DP.n**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DE NAPPE SIN-METAMÓRFICA A SISTEMA DE CAVALGAMENTO:
EVOLUÇÃO ESTRUTURAL DE UMA SEÇÃO DA NAPPE LIMA
DUARTE, SUL DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024324

Daina Popic Bendoraitis

Daina I. Bendoraitis



Orientador: Prof. Dr. Mário da Costa Campos Neto

a cargo de Mário da Costa Campos Neto

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
TF – (2007/12)

SÃO PAULO
2007

RESUMO

A *Nappe* Lima Duarte faz parte do domínio oriental do Orógeno Brasília, localizado na borda sul do Cráton do São Francisco, no Estado de Minas Gerais.

O presente trabalho apresenta a integração cartográfica do domínio da *Nappe* Lima Duarte e porção leste da *Nappe* Andrelândia, de projetos da disciplina 044-0420 Mapeamento Geológico e seções geológicas construídas através da estrutura.

A área mapeada contém rochas ortognáissicas, datadas do Arqueano/Paleoproterozóico, representadas por granodiorito-tonalito-trondhjemito gnaisses, com *boudins* de anfibolitos. São recobertos tectonicamente por uma pilha metassedimentar constituída de quartzitos e metapelitos de fácies anfibolito superior com anatexia.

A evolução estrutural pode ser resumida em dois estágios principais: o de *nappe* sin-metamórfica e sua transição para o estágio de sistema de cavalgamento. O primeiro estágio está registrado na foliação S_2 , milonítica recristalizada, com metamorfismo em fácies anfibolito superior representado por paragênese de biotita + sillimanita + granada + k-feldspato. Associados, ocorrem bandas e veios de leucossoma, com delgado melanossoma de biotita na borda. O segundo estágio é registrado por estruturas rúpteis tardias, marcadas por contatos discordantes da foliação metamórfica.

No domínio mapeado que compreende a *Nappe* Andrelândia, a configuração da área é dada principalmente por dobras tardias. O domínio da *Nappe* Lima Duarte apresenta uma regularidade na atitude da foliação, com mergulhos de baixo a médio ângulo para sudeste. Neste domínio são destacadas as superfícies de cavalgamento, que reorganizam as unidades em duplexes e imbricados.

A *Nappe* Lima Duarte é cavalgada pela Andrelândia.

As lineações de estiramento são, no geral, tardias ao auge metamórfico. A associação com indicadores cinemáticos indica o sentido de movimento do alóctone Lima Duarte para norte. O sentido de movimento da *Nappe* Andrelândia é para nordeste.

A última manifestação tectônica observada na região refere-se a falhas normais de orientação NNW-SSE.

ABSTRACT

The Lima Duarte Nappe is part of the Southern Tocantins Orogen, which is localized at the southern border of the São Francisco Craton, Minas Gerais. The present monography presents an integrated geological map of a portion of the Lima Duarte Nappe with the eastern portion of the Andrelândia Nappe, what was based in the field data collect by students of Geological Mapping discipline 044-0420 that took place along 2006-2007. Geological sections are also presented to show the structural relationship between both structures.

The Lima Duarte Nappe is composed by, from bottom to top, orthogneisses with amphibolite boudins with composition that varies between granodiorite, tonalite to trondhjemite and present Archean to Paleoproterozoic ages. They are tectonically covered by metasedimentary rocks, mainly quartzites, schist and gneisses which underwent upper amphibolite facies metamorphism.

The structural evolution might be divided in two main stages. The first one comprises sin-metamorphic deformation, in which the main foliation S_2 was developed; it is characterized by a mylonitic fabric where quartz + biotite + sillimanite + garnet + K-feldspar is the mineral assemblage that defines its surface. Parallel to this foliation leucosome veins are developed and bordered by a thin melanosome constituted by biotite. The main foliation presents a regular orientation with low to medium dip to southeast. Stretching lineation may has a late development in relation to metamorphic peak. The kinematic indicators show that Lima Duarte nappe movement was top to north.

The second stage represents the transition to the thrust system that is represented by late brittle structures developed along the contacts between the lithological units, which re-organize them in duplexes with imbricates. The Andrelândia nappe thrusted the rocks of Lima Duarte nappe, from southwest to northeast, folding its main foliation, S_2 .

The last tectonic structures recognized are steep normal faults with NNW-SSE orientation.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Localização e acessos	2
1.2 Aspectos morfológicos	3
2. Metas e objetivos	3
3. Fundamentação bibliográfica e geologia regional	4
3.1 Trabalhos anteriores	4
3.2 Contexto geológico regional	5
4. Materiais e métodos	8
5. Desenvolvimento do trabalho	9
6. Resultados obtidos	10
6.1 Caracterização das unidades de mapeamento e petrografia	10
6.1.1 Coluna litoestratigráfica	11
6.1.2 <i>Nappe Andrelândia</i>	11
6.1.3 <i>Nappe Lima Duarte</i>	15
6.2 Metamorfismo	23
6.2.1 Granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto – <i>Nappe Andrelândia</i>	24
6.2.2 Silimanita-granada-biotita-gnaisse metatexítico – <i>Nappe Lima Duarte</i>	25
6.2.3 Estimativa de pressão e temperatura	25
6.3 Estrutural	26
6.3.1 <i>Nappe Andrelândia</i>	27
6.3.2 <i>Nappe Lima Duarte</i>	31
6.4 Cinemática	40
6.4.1 <i>Nappe Andrelândia</i>	40
6.4.2 <i>Nappe Lima Duarte</i>	41
7 Discussão e Conclusões	45
8 Referências Bibliográficas	46

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de localização e acessos.....	2
Figura 2: Mapa tectônico regional.....	6
Figura 3: Aspecto da unidade de mapeamento xisto-quartzítica.....	15
Figura 4: Aspecto de gnaisse tonalito-trondjemítico da infra-estrutura gnáissica.....	16
Figura 5: Diagrama de pressão e temperatuta KFMASH com campo de estabilidade das rochas metapelíticas.....	26
Figura 6: Muscovita em arco poligonal.....	27
Figura 7: Dobra sin-xistosa com refração da xistosidade.....	28
Figura 8: Seções geológicas.....	29
Figura 9: Estereograma de projeção polar de foliação S_2 , que caracteriza dobra tardia na Nappe Andrelândia.....	30
Figura 10: Estereograma de projeção polar de foliação S_2 , que caracteriza dobra tardia na Nappe Andrelândia.....	31
Figura 11: Relação entre foliações do gnaisse tonalito-trondjemítico da infra-estrutura gnáissica.....	32
Figura 12: a) Estereograma de projeção polar de medidas da foliação S_2 de toda a área b) estereograma de freqüência de foliação S_2 de toda a área.....	33
Figura 13: Dobra recumbente D_2 destaca na paisagem.....	33
Figura 14: Estereograma de projeção polar de foliação S_2 , que caracteriza dobra da fase D_3 na Nappe Lima Duarte.....	36
Figura 15: Estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na Nappe Lima Duarte.....	38
Figura 16: Estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na Nappe Lima Duarte.....	38
Figura 17: Estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na Nappe Lima Duarte.....	39
Figura 18: Estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na Nappe Lima Duarte.....	39
Figura 19: (a) Estereograma de lineação mineral e de estiramento na Nappe Andrelândia (b) Estereograma de freqüência de lineação mineral e de estiramento na Nappe Andrelândia.....	41

Figura 20: Par S-C indicando transporte de topo para norte. <i>Nappe Andrelândia</i>	41
Figura 21: Porfiroclastos manteados do tipo sigma de feldspato em gnaisse tonalito-trondjemítico.....	42
Figura 22: <i>Boudin</i> sigmoidal de anfibolito em meio a gnaisse tonalito-trondjemítico e migmatítico.....	42
Figura 23: Mapa simplificado de domínios estruturais de orientação de lineação mineral e de estiramento.....	43
Figura 24: (a) Estereograma de lineação mineral e de estiramento na <i>Nappe Lima Duarte</i> (b) Estereograma de freqüência de lineação mineral e de estiramento na <i>Nappe Lima Duarte</i>	44
Figura 25: Par S-C indicando transporte de topo para norte. <i>Nappe Lima Duarte</i>	44

Tabela

Tabela 1: cronograma de atividades.....	10
---	----

Índice de pranchas de fotos

Prancha 1.....	13
Prancha 2.....	20
Prancha 3.....	34

Anexos

Anexo 1: Mapa geológico

Anexo 2: Mapa de pontos

Agradecimentos

Gostaria de expressar meus agradecimentos a:

Companheiras e ex-companheiras de república: Priscila (Xiwawa), Alaine, Cyntia (Fun) e Julia (Doris) pelos pacíficos e sempre agradáveis anos de convivência. Obrigada por me aguentarem!

Ao meu orientador, o professor Mario Campos pelos conselhos, paciência e aprendizado.

Toda a minha família, principalmente meus pais Mauricio e Ivani, que me deixaram como principal lição o bom humor e a paixão pela vida. Meu irmão (Pedro) e Silvú, a melhor pessoa que eu conheço.

Ao "time" de mapeamento André (Kodorna) e Bruno (Rapunzel), pois foi de grande importância para o desenvolvimento do trabalho. Também ao pessoal do mapeamento geológico, Minas Gerais, 2006 e 2007.

Ao time de basquete Ana (Treme), Talita (Xoca), Roberta (Pisa), Vivian (Cachorra), Natalia e Gabriel, nosso treinador, pelos momentos de descontração no CEPEUSP.

Ao pessoal companheiro de balada: Ana (Treme), Igor (Cepê), Gabriela (Poch), Leonardo (Girafales) e de todo mundo que de uma forma ou outra participou da minha vida, tornando-a mais alegre: Rogério (Lacraia), Ralph (Tanga), Ana, Thaís, Brenda, Haddad, Guilherme (CG), Grace, Maira (Cica), Cícero (Fafá), Marcus (Xabi), Rodrigo (Café), Mauricio (Borboleta), Jorge (Bizarro), Fred (Tosco) e por aí vai! Essa lista é sem fim.

Ao Ignacio... pessoa muito especial!

Gostaria também de agradecer à FAPESP (proc. 06/56859-6) pelo apoio financeiro ao desenvolvimento do projeto.

1. Introdução

A extrusão de rochas descoladas da crosta inferior, através de zonas de cisalhamento de baixo ângulo, resulta de uma deformação não-coaxial e por fluxo super-plástico (Behrmann e Mainprice, 1987) sin-metamórfico. Durante regimes de colisão continental, este é um dos principais mecanismos geradores de *nappes*, estruturas cinematicamente coerentes, que podem envolver um “embasamento” cristalino polimetamórfico e uma “cobertura” metassedimentar.

A geometria em *ramp & flats* das *nappes*, adquirida em crosta continental profunda, envolve descolamentos horizontais controlados pela ativação da plasticidade de fases minerais específicas a dadas temperaturas (ativação plástica de feldspatos no limite da crosta inferior e do quartzo em crosta intermediária). O espessamento crustal resultante é responsável pela desidratação metamórfica da “cobertura” metassedimentar e facilita, na pilha alóctone, uma redução da resistência ao cisalhamento. A propagação para o ante-país e para os níveis crustais rasos é contemporânea com extensão no pós-país e em níveis mais profundos, facilitando a exumação sin-orogênica do terreno metamórfico (Fritz et al., 1996). Os mecanismos de propagação das cunhas tectônicas tipo *thick-skinned*, para os níveis crustais mais rasos, é acomodado pela concentração da deformação ao longo de planos de deslocamento e ruptura, inicialmente nucleados nos limites reológicos contrastantes entre os materiais rochosos envolvidos. Esse processo superpõe às *nappes*, sistemas de cavalgamentos compatíveis com a definição de Boyer & Elliot (1982).

A distinção entre as *nappes* e os sistemas de cavalgamentos foi formalizada no simpósio *Thrust and Nappe Tectonics*, editado pelo Geological Society of London (Dennis, 1981).

A velocidade de extrusão das *nappes* pode ser estimada, qualitativamente, por texturas metamórficas de desequilíbrio e pela definição das paragêneses e das reações entre a principais fases minerais das rochas. A combinação de métodos geocronológicos que envolvem minerais sin-metamórficos com diferentes “temperaturas de fechamento”, como Ar/Ar em micas e em anfibólio e U-Pb em zircão, monazita, titanita e rutilo, podem situar a duração do processo metamórfico até o limite fácies anfibolito/xisto verde e estimar, quantitativamente, a velocidade de extrusão (Spear, 1995; Passchier & Trouw, 1996).

Por outro lado, o possível relacionamento entre o estudo de estruturas desenvolvidas em níveis crustais profundos e daquelas de crosta superior, na mesma história evolutiva e, atualmente no mesmo espaço, possibilita um avanço na compreensão tectônica de orógenos.

Ortognaisse migmatíticos de uma série arqueana tipo-TTG, cortada por gnaisses granodiorito-graníticos, diatexitos e por gnaisses enderbíticos paleoproterozóicos,

estruturalmente associados a uma seqüência quartzito-paragnaíssica, foram mapeados por Pinto et al. (1991) e constituem a Nappe Lima Duarte, na borda sul do Cráton do São Francisco (Campos Neto, 2000). A Nappe Lima Duarte é um exemplo da transição de uma deformação neoproterozóica tipo *thick skinned*, fácies granulito/anfibolito, à um sistema de cavalgamento em duplex (Campos Neto et al., 2004).

Neste trabalho foi realizada a integração geológica e digitalização de mapeamentos geológicos sucessivos, referentes à disciplina 044-0420 Mapeamento Geológico, realizados nos anos de 1994, 1995, 2006 e 2007, na região que abrange a *Nappe Lima Duarte* e porção leste da *Nappe Andrelândia*. O mapa integrado e os dados coletados em campo serviram como base para a análise estrutural integrada e da caracterização petrográfica. A análise visa caracterizar a geometria e cinemática de um segmento desta pilha alóctone. O estudo de lâminas delgadas ao microscópio complementa o estudo do metamorfismo que atuou na região e a determinação de microestruturas.

1.1 Localização e acessos

A área do projeto situa-se nos arredores do município de Lima Duarte, localizada no sul do estado de Minas Gerais, próximo à fronteira com o Rio de Janeiro, conforme o mapa (fig. 1).



Figura 1: Mapas de acesso à cidade de Lima Duarte. Retirado de <http://www.idasbrasil.com.br>.

De São Paulo deve-se pegar a BR116 (Via Dutra), até o trevo para Cruzeiro (SP). Seguir para Passa Quatro, situada em Minas Gerais. O trajeto continua, passando por Itanhandu.

Pouso Alto e Caxambu. Nesta última cidade deve-se seguir para a BR267 até Lima Duarte (sentido Juiz de Fora). Outra opção com saída em São Paulo é seguir pela BR381 (Rodovia Fernão Dias) até o trevo para Campanha. Então seguir pela BR267 até Lima Duarte. A cidade dista 488km de São Paulo.

1.2 Aspectos morfológicos

A morfologia da região mapeada é caracterizada por um conjunto de serras paralelas, com *trend* nordeste-sudeste, na região de Lima Duarte, com inflexão para próximo de leste-oeste na região de Santa Bárbara do Monte Verde, a leste de Lima Duarte. As serras tem altitudes entre 1300 e 1500m, com picos que atingem até 1600m. São sustentadas por quartzitos. Desenvolvem extensos colúvios como depósito de sopé.

Os vales situam-se em cotas de 700 a 800m. São paralelos ao alinhamento das serras. Depósitos de aluvião recobrem as regiões dos vales.

A rede de drenagem é integrante da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. O principal curso d'água é o Rio do Peixe, que cruza a porção meridional das folhas de Lima Duarte e Santa Bárbara do monte Verde, com sentido de oeste para leste.

2. Metas e objetivos

A geometria e cinemática de uma *nappe* sin-metamórfica profunda (dúctil) e de sua propagação, em níveis de crosta rasa, para um sistema de cavalgamentos (rúptil), com as zonas de cisalhamento normal associadas, é o tema de estudo deste projeto, analisado em seções geológicas.

A *Nappe* Lima Duarte, borda sul do cráton do São Francisco, com rochas em fácies anfibolito superior e remanescentes de fácies granulito, em unidades litológicas reologicamente contrastantes, é o objeto de estudo.

O projeto objetivou a integração cartográfica do domínio da *Nappe* Lima Duarte e porção leste da *Nappe* Andrelândia, e a confecção, no campo, de seções geológicas contínuas através da estrutura, acompanhada de análise estrutural e de petrografia metamórfica, com ênfase na microtectônica. Assim, a confecção das seções geológicas, é acompanhada por uma análise estrutural detalhada de um segmento desta pilha alóctone, envolvendo os contrastes reológicos entre "embasamento e cobertura".

3. Fundamentação bibliográfica e geologia regional

3.1 Trabalhos anteriores

Os primeiros trabalhos na região sul do Estado de Minas Gerais datam da década de 1950 (Ebert, 1954; Ebert, 1956), com desenvolvimento de um mapa geológico em escala 1:500.000, quando foi caracterizada a “Série Andrelândia”, como meta-grauvacas e quartzo-filitos. Ebert (1968) passa a adotar a terminologia de Grupo Andrelândia, aí já definidos como micaxistas e quartzitos, com metassedimentos feldspáticos subordinados.

O primeiro trabalho mais detalhado desta unidade é de Trouw *et al.* (1983), que reconhecem informalmente três litotipos: Quartzito com xisto intercalado, com predominância de xistos quartzosos, compostos principalmente que quartzo e muscovita, e com granada, estaurolita e cianita subordinados, com eventual sillimanita; Xisto Santo Antônio, homogêneo e rico em veios de quartzo, que grada para gnaisse fino, rico em quartzo, muscovita e granada, com sillimanita proveniente de metamorfismo de cianita; e por fim Xisto Cachoeira das Marias, muito semelhante ao Xisto Santo Antônio, porém menos homogêneo, que alterna níveis ricos em cianita, com níveis mais micáceos e lentes de calciosilicáticas e *boudins* de anfibolitos.

Em mapeamento na escala 1:100.000 na folha Lima Duarte, Pinto *et al.* (1991) apontam o embasamento como unidade do proterozóico inferior, em domínio da infra-estrutura da crosta intermediária, que consiste em gnaisse-trondhjemítico e granada-biotita gnaisse migmatizados pertencentes ao Complexo Mantiqueira, que são cavalgados por uma seqüência metassedimentar, com paragnaisses, xistos e quartzitos.

A *Nappe* Lima Duarte foi descrita por Campos Neto & Caby (1999) como Complexo *Nappe* Quartzítica, e engloba quartzitos e metapelitos (com estaurolita, ilmenita, granada, muscovita, quartzo e, subordinadamente, turmalina), alóctones sobre um terreno mais antigo, composto por lascas de migmatitos e metaultramáficas, já considerado por Trouw *et al.* (1983) como embasamento.

Em projeto de Mapeamento na Folha Andrelândia, Paciullo *et al.* (2002) separaram o embasamento gnáissico das sucessões metassedimentares tidas do Neoproterozóico, interpretadas como Megassequência Andrelândia. Consideram o embasamento constituído por ortognaisses granodioríticos e tonalíticos, localmente granulíticos e em parte modificados por anatexia com ocorrência de intercalações de anfibolito e de rochas metaultramáficas, que corresponderiam ao Complexo Mantiqueira (Figueiredo & Teixeira, 1996 e Campo Neto *et al.*, 2004).

A caracterização da *Nappe Lima Duarte* e a relação com os terrenos adjacentes é aprofundada em Campos Neto (2000) e Campos Neto *et al.* (2004).

3.2 Contexto geológico regional

A região do projeto insere-se no contexto da Colagem Brasiliiana no sudeste brasileiro, que pode ser sintetizada em dois sistemas orogênicos maiores, Tocantins e Mantiqueira (Brito Neves *et al.*, 1999), ou Faixas Brasília e Ribeira (Trouw *et al.*, 2000). O Orógeno Tocantins Meridional (Campos Neto, 2000) registra episódios de subducção e de colisão neoproterozóicos, no fechamento de um paleo-oceano oriundo da quebra toniana de Rodinia. Representa a convergência da Placa Sanfranciscana sob a Placa Paranapanema (Mantovani & Brito Neves, 2005). O Sistema Orogênico Mantiqueira reúne diacronicamente, microplacas e terrenos, relacionados ao fechamento do paleo-oceano remanescente, amalgamados contra a borda oriental do proto-continente aglutinado pelo Orógeno Tocantins. Essa colagem consolidou uma espessa litosfera com manto superior acoplado, até ca. 660km de profundidade (VanDecar *et al.*, 1995).

O Orógeno Tocantins Meridional representa a pilha colisional de *nappes* entre três ambientes principais (de WSW para ENE): domínio de arco magmático desenvolvido na margem continental ativa da Placa Paranapanema (*Nappe Socorro-Guaxupé*), domínio continental subductado (Terreno Andrelândia), e domínios com afinidade de margem passiva e/ou relacionadas à Placa Sanfranciscana, o Sistema de *Nappes Carrancas* e *Lima Duarte*. (Campos Neto *et al.*, 2004).

A *Nappe Lima Duarte*, terreno oriental do Orógeno Tocantins Meridional, é cavalgada pela *Nappe Andrelândia* e, ambas, cavalgam a seqüência metassedimentar do Grupo Carrancas (Fig.2). Limita-se a sul na Zona de Cisalhamento Rio Preto, lateral direita e reequilibrada na fácie xisto-verde, que representa a extensão meridional da sutura Abre Campo com o Terreno Juiz de Fora (Fischel *et al.*, 1998; Campos Neto *et al.*, 2004). Difere das Andrelândia, na definição original de Trouw *et al.*, 1983 e Campos Neto *et al.*, *inédito*) no conteúdo litológico, no registro metamórfico e na infraestrutura antiga incorporada.

O conteúdo litológico da pilha metassedimentar, articulada em duplexes de um sistema de cavalgamentos, da *Nappe Lima Duarte*, consiste de metapsamitos e metapelitos, fácie anfibolito superior com anatexia. São quartzitos muito grossos, onde ortoquartzitos predominam sobre quartzitos imaturos (com muscovita, feldspatos e sillimanita) e ocorrem como lascas alóctones, espessas de até 750m, imbricadas com Sil-Grt-Ms-Bt gnaisses metatexíticos (superiores), que contém intercalações esparsas de gnaisses calciosilcáticos. Não existem informações sobre a idade de deposição. Gnaisses tonalito-trondjemíticos, a hornblenda e

biotita, migmatíticos e polimetamórficos (Complexo Mantiqueira, Figueiredo & Teixeira, 1996), correspondem ao núcleo Mesoarqueano (2,98 Ga; Silva *et al.*, 2005), da infraestrutura alóctone da *nappe*. Contém corpos intrusivos alongados de Bt gnaisse granítico e de Grt-Bt gnaisse enderbitico, ambos paleoproterozóicos (Campos Neto *et al.*, 2004), bem como lâminas métricas e *boudins* de Grt-Cpx-Qtz-Hbl granulito. O pacote metassedimentar encontra-se, a sul, descolado sobre extensa unidade migmatítica (Migmatitos Rio Preto).

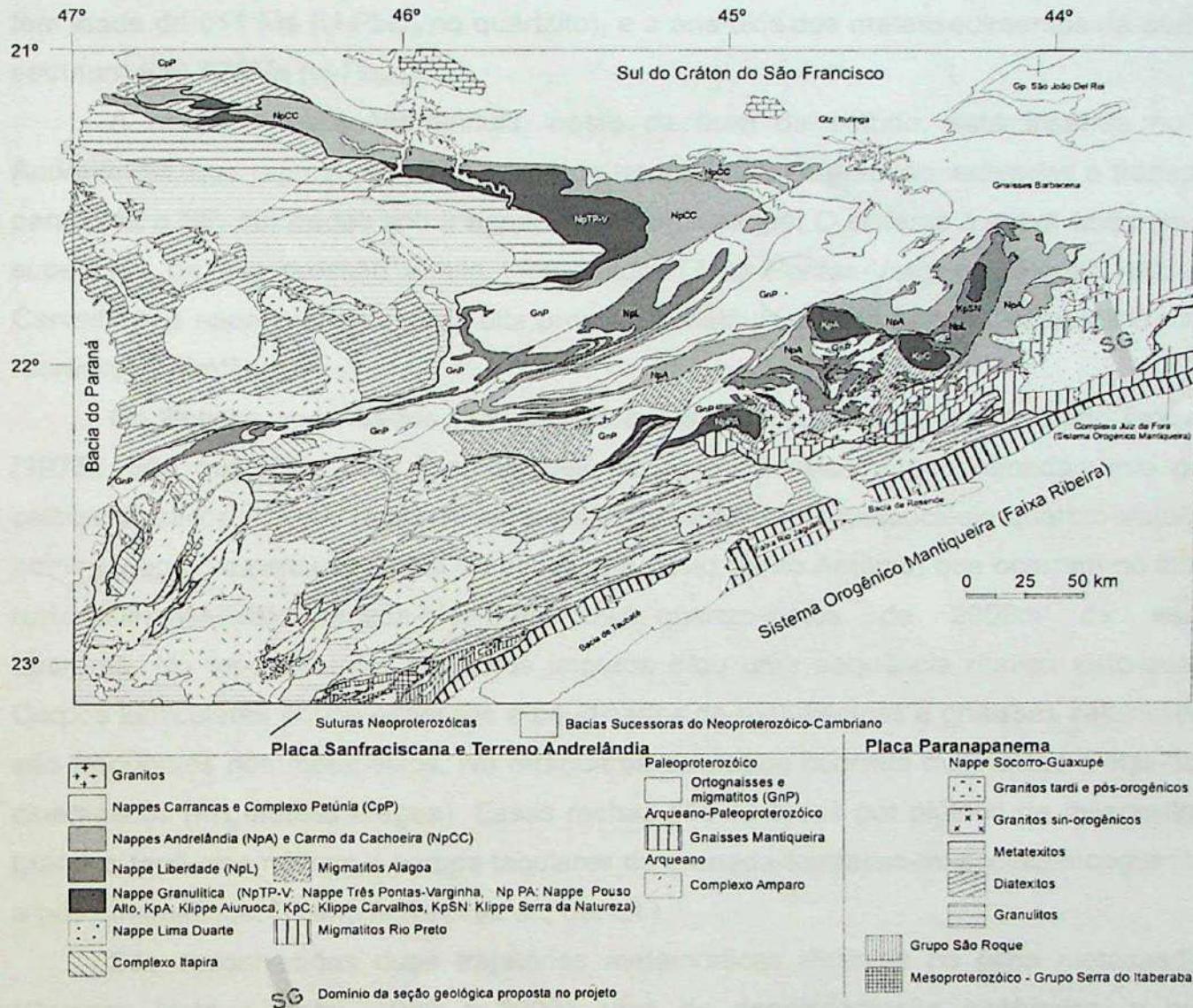


Figura 1: Sistema Orogênico Tocantins Meridional: Mapa Tectônico (Campos Neto *et al.*, Inédito)
Localização da área do projeto

As lineações minerais sin-metamórficas indicam o fluxo geral da *nappe* para E.NE a sul, infletindo, a norte, para N.NE. Define uma trajetória curva, ao longo de 60km de transporte, controlado pela foliação de baixo mergulho para SE. A delgada capa metassedimentar superior reorganizou-se em duplex rúptil, *thin-skinned*, posterior às dobras inclinadas da foliação metamórfica e vergentes para NW.

Um metamorfismo de ultra-alta temperatura foi descrito, localmente, na pilha metassedimentar (Opx-Sil em quartzito; Vilela, 2000) e calibrado, na infraestrutura antiga, nas

lâminas maficas granulíticas (Campos Neto *et al.*, 2004). Estas condições metamórficas contrastam com a presença, volumetricamente expressiva, de muscovita nos metassedimentos, o que sugere uma temperatura máxima próxima de 750°C para o metamorfismo na foliação principal (S_2), com pressão de ~8Kbar. Epidotos em ortognaisses e em gnaisses calciosilicáticos são freqüentes na trajetória tardi-cinemática de resfriamento e descompressão da estrutura. Dados geocronológicos indicam que o equilíbrio metamórfico da pilha colisional tem idade de 611 Ma ($U-Pb_{Mnz}$ no quartzito), e a anatexia dos metassedimentos da parte sul da estrutura 580-570Ma ($U-Pb_{Mnz}$).

A nappe Aiuruoca-Andrelândia, oeste da área de estudo, está inserida no terreno Andrelândia, que representa um sistema de *nappes* de alta pressão, estiradas e transportadas para ENE e NE, colocadas sob a nappe Socorro-Guaxupé. O sistema é subdividido em *nappes* superiores de alta pressão e alta temperatura (Três Pontas-Varginha, Pouso Alto e *klippe* Carvalhos) e *nappes* inferiores de alta pressão constituídas pela nappe Carmo da Cachoeira e Aiuruoca-Andrelândia.

Os litotipos encontrados nas *nappes* inferiores foram caracterizados por Trouw *et. al.* (1973). São quartzitos com intercalações de mica-xistos e subordinadamente gnaisses calciosilicáticos (base); regionalmente rutilo-granada-biotita-plagioclásio-quartzo-xisto/gnaisse homogêneo com cerca de 750m de espessura (xisto Santo Antônio) que ocorrem no interior de rutilo-aluminossilicato-granada-biotita-muscovita-quartzo-xistos de 2000m de espessura aparente. No topo ocorrem quartzitos impuros e/ou uma sequência rítmica xisto-quartzítica. Corpos lenticulares pouco espessos e boudinados de metabásicas e gnaisses calciosilicáticos são freqüentes nos metapelitos. Na retaguarda da nappe ocorrem migmatitos diatexíticos sincinemáticos (migmatitos Alagoa). Essas rochas são cortadas por plútons de muscovita-biotita granitos tardi-cinemáticos e corpos tabulares de granada-turmalina-muscovita-lecogranito tardi- a pós-cinemáticos. (Campos Neto *et. al.*; op. cit.).

São reconhecidas duas trajetórias metamórficas distintas na pilha metassedimentar (Campos Neto e Caby, 1999 e 2000), uma de descompressão isotérmica, e outra de aquecimento quase isobárico. A primeira está registrada em rochas metabásicas retroeclogíticas que foram soterradas a mais de 60km de profundidade (17 Kbar) e alcançaram equilíbrio metamórfico na foliação entre 25 –30km e 680 – 645°C. O segundo caminhamento metamórfico está registrado em encraves de sillimanita-biotita-k-feldspato-granada-xistos do migmatito Alagoa, que admitem equilíbrio metamórfico tardio a 700° C e 6Kbar e apresentam sillimanita orientada no eixo-B de microdobras da foliação e biotita no plano axial. Idades ($U-Ti$)- Pb_{Mnz} , $U-Pb_{shirimp}$, e $Sm-Nd_{Grt-Rt}$ que representam o equilíbrio metamórfico pós descompressão isotérmica foram de 610 ± 3 e 604 ± 9 Ma.

Segundo Campos Neto e Caby (1999) a sequência de *nappes* do Orógeno Tocantins Meridional formou-se em um único evento deformacional neoproterozóico contínuo, do tipo himalaiano. Porém alguns autores como Ribeiro *et. al.* (1995), acreditam que ocorreu mais de um episódio de deformação e metamorfismo brasilianos. O episódio mais antigo teria ocorrido em torno de 600Ma produzindo transporte tectônico de topo para leste com metamorfismo associado de pressão elevada, de fácies granulito no campo de estabilidade da cianita com formação de rochas retro-eclogíticas. Corresponderia à colisão entre o maciço Guaxupé e o proto cráton São Francisco, correspondente ao episódio que gerou a Faixa Brasília. Um novo episódio tectônico, ao redor de 570Ma, teria resultado em um encurtamento crustal com transporte para NNW, acompanhado de dobramento em escala regional. O metamorfismo associado a esse evento foi de pressão mais baixa que do anterior, sendo caracterizado pela presença de sillimanita, cordierita e numerosos corpos anatéticos. O último episódio corresponde à uma compressão E-W que teria gerado zonas de cisalhamento transpressionais, sub-verticais de orientação NE-SW e com sentido de movimentação destral. Os dois últimos eventos são relacionados à Faixa Móvel Ribeira, e portanto a região abordada é considerada por esses autores como uma zona de interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira.

4. Materiais e métodos

Levantamento de campo de seções geológicas contínuas e integração cartográfica, em escala compatível, dos dados pré-existentes. Ênfase para uma amostragem sistemática de dados para análise estrutural e de rochas para petrografia metamórfica e microtectônica.

A análise estrutural tem como alicerce os estudos clássicos do comportamento das rochas em zonas de cisalhamento dúctil e daquelas submetidas à ruptura. Os principais trabalhos que fornecem a base teórica para o estudo são as sínteses de Ramsay (1982) e Ramsay & Huber (1983 e 1987). Além das sínteses anteriormente citadas, são inúmeros os trabalhos sobre cinemática e sobre o comportamento da deformação em crosta intermediária e profunda. Destacam-se alguns poucos que podem fornecer ferramentas básicas de análise: Hanmer & Passchier (1991); Ghosh *et al.* (1999); Harris (2003).

Zonas de cisalhamento normais, sin a tardi-metamórficas acompanham a extrusão de crosta inferior e intermediária, ligadas a processos de denudação tectônica, quando a litosfera, no domínio orogênico, perde o equilíbrio isostático. São freqüentes também quando do colapso pós-orogênico. Para tanto, ferramentas de análise de zonas de cisalhamento normais sin-metamórficas e da deformação rúptil em cavalgamento e normal, também serão necessárias:

Platt & Vissers (1980); Butler (1982); Gamond (1983, 1987); Petit (1987); Lin & Willians (1992); Tanner (1992).

A aliança entre o estudo mesoscópico das estruturas das rochas e a microtectônica (microestruturas e texturas), permite uma maior consistência aos resultados cinemáticos e sua correlação com as condições térmicas em que dada estrutura se desenvolveu, permitindo projetar, no espaço e no tempo, a progressão da estrutura alóctone: Shaocheng & Mainprice (1987); Passchier & Trouw (1996).

Para a integração cartográfica foram utilizadas como base as folhas topográficas Lima Duarte (SF-23-X-C-VI-3), Bom Jardim de Minas (SF-23-X-C-V-4) e Santa Bárbara do Monte Verde (SF-23-X-C-VI-4), escala 1:50.000 – IBGE (1975). A área mapeada cobre a folha Lima Duarte, parte oeste e central da folha Santa Bárbara do Monte Verde e a porção leste da folha Bom Jardim de Minas. O mapa geológico foi digitalizado em software ArcGIS 9.1 e os estereogramas foram eleborados no software Stereonet. As lâminas delgadas foram estudadas em microscópio Olympus BX40.

Os estereogramas foram construídos em rede estereográfica de Schmidt-Lambert, projeção em igual área, hemisfério inferior. A notação de medidas estruturais utilizada foi do tipo Clar.

5. Desenvolvimento do trabalho

O trabalho foi desenvolvido segundo o cronograma de atividades abaixo (tabela 1).

- A. Preparação bibliográfica:** i.levantamento e leitura crítica dos trabalhos publicados sobre a geologia da região; ii. estudo dos trabalhos teóricos sobre análise estrutural e microtectônica.
- B. Integração geológica** (escala 1:50.000) das áreas mapeadas, na *Nappe Lima Duarte*, em 2006 e 2007: integração dos mapas geológicos das áreas da disciplina Mapeamento Geológico, interessando as folhas 1:50.000 (IBGE) Lima Duarte, Santa Bárbara do Monte Verde e Bom Jardim de Minas
- C. Trabalhos de campo:** realização de seções geológicas contínuas através da região de estudo.
- D. Petrografia:** petrografia metamórfica, com ênfase na descrição das principais texturas e microestruturas.
- E. Análise estrutural:** confeção dos segmentos dos perfis geológicos, integração e interpretação; análise da trajetória das lineações minerais e de estiramento mineral e comparação com os

eixos de dobras sin e pós-metamórficas; análise dos indicadores cinemáticos e das meso e microestruturas relacionadas a compressão e a extensão.

F. Integração e interpretação dos dados e confecção de relatórios.

Tabela 1: Cronograma de atividades

	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
A	X	X						
B	X	X	X					
C	X				X			
D			X				X	
E		X	X	X		X	X	
F						X		X

O total de dias em campo foi de 40 divididos em 4 etapas, nos meses de abril e julho de 2006 e 2007, referentes à disciplina Mapeamento Geológico. A área total mapeada possui aproximadamente 850 km², com 2560 pontos de afloramentos descritos.

As dificuldades encontradas são decorrentes das atividades de campo e integração geológica das áreas mapeadas. Em campo as dificuldades são relacionadas ao elevado grau de intemperismo das rochas, mais pronunciado nas unidades metassedimentares gnáissicas e xistosas. A integração das áreas mapeadas é uma atividade que depende do trabalho desenvolvido por muitas pessoas, o que resulta em certas dificuldades como, por exemplo, delimitar corretamente os contatos em limites de áreas, heterogeneidades na apresentação de dados estruturais, adoção de nomenclaturas diferentes para objetos similares e etc.

6. Resultados obtidos

6.1 Caracterização das unidades de mapeamento e petrografia

A caracterização das unidades foi feita com base na distinção entre rochas da infraestrutura gnáissica, que correspondem aos ortognaisse constituintes do Complexo Mantiqueira (Figueiredo & Teixeira, 1996), e unidades para-derivadas da *nappes* Lima Duarte e Andrelândia. Os Gnaisses Mantiqueira são tratados de forma separada, pois além de serem constituídos por rochas ortoderivadas, e portanto de diferente comportamento reológico, registram estruturas anteriores as das unidades metassedimentares.

6.1.1 Coluna litoestratigráfica

A coluna litoestratigráfica proposta para a *Nappe Andrelândia* apresenta na base o granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto, com o granada-biotita gnaisse logo acima, recoberto pela unidade de intercalação xisto-quartzítica.

O empilhamento litológico da *Nappe Lima Duarte* foi definido na região centro-leste do mapa, onde o pacote de rochas metassedimentares não apresenta contato tectônico entre as unidades. A *nappe* apresenta na base a infra-estrutura gnáissica, datada do Arqueano/Paleoproterozóico. A unidade metassedimentar basal é representada pelo (granada)-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo gnaisse que apresenta contato gradacional com o quartzito para o topo da seqüência. Acima do quartzito ocorre o sillimanita-granada-biotita gnaisse metataxítico. Nesta unidade, há contatos transicionais entre litotipos, dado por variações na proporção mineralógica (feldspato, granada e micas), assim apresenta aspecto ora xistoso, ora gnáissico, com predomínio do último. O granada-biotita gnaisse metatexítico aparece no topo da seqüência. Corpos de anfibolito e do biotita granito-gnaisse são restritos a determinados locais. Ao sul da área há dois litotipos que não apresentam relação de contato com as outras unidades da *nappe*.

6.1.2 *Nappe Andrelândia*

Granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto

Na maior parte dos afloramentos a rocha encontra-se muito alterada, com coloração característica vermelha a violeta com bandas esbranquiçadas.

A unidade é complexa por sua heterogeneidade, caracterizada por uma ampla gama composicional e, localmente, apresenta intercalações métricas de biotita-gnisses.

A composição predominante da unidade é granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto com feldspato, bandado, com abundância relativa local em quartzo, biotita ou sillimanita. A textura predominante é lepidoblástica, marcada por biotita e muscovita, mas localmente há sillimanita em grande quantidade, o que confere à rocha aspecto nematoblástico. A granada é porfiroblástica, em média possui 0,5cm mas pode chegar a 1,5cm. O mineral por vezes está ausente. Na maior parte dos locais onde aflora a rocha apresenta feições de anatexia evidentes, com bandas de leucossoma que chegam a mais de 2m de espessura com melanossoma de biotita nas bordas. Quando alterado, o leucossoma apresenta caulim e quartzo.

A essa unidade também são associadas lentes métricas de rochas calciosilicáticas.

A proporção mineralógica dos litotipos desta unidade varia muito. Sillimanita pode chegar a mais de 60% em alguns locais, mas aparece subordinada em outros (<1%). Quartzo varia de 30% a 60%, plagioclásio (oligoclásio a andesina) varia de 10% a 30%, biotita varia de 10% a 20%, muscovita é ausente a cerca de 10%, granada varia em geral de 1% a 5%, podendo chegar a 15% em zonas mais com maior concentração. Feldspato potássico pode estar presente, mas não chega a mais de 1%. Os acessórios mais comuns são: zircão, apatita, clorita, rutilo, monazita, ilmenita e turmalina.

Ao microscópio observa-se a textura granoblástica média. Os cristais apresentam forma xenomórfica e muitas vezes encontram-se corroídos e arredondados, com contatos irregulares e suturados. Os cristais maiores de quartzo apresentam extinção ondulante e podem ocorrer alongados segundo a foliação principal da rocha. Cristais muito diminutos de quartzo – com forma de “gota” – ocorrem nos interstícios entre os cristais félscicos e podem estar inclusos em plagioclásio.

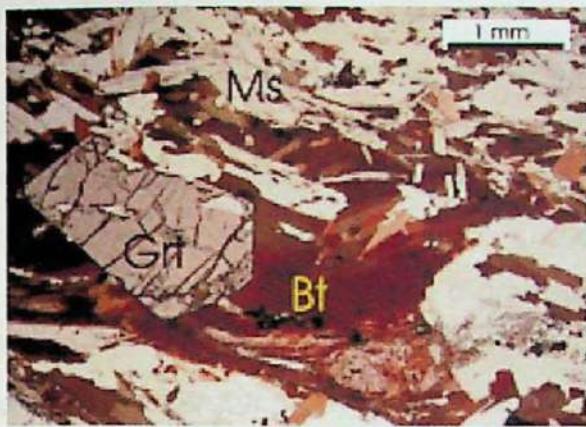
As micas (muscovita e biotita) desenvolvem-se principalmente segundo a foliação principal, com gerações posteriores truncando-a. Ocorrem, oblíquas à foliação, marcando S_3 ou de modo aleatório (recristalização estática). Podem ocorrer arcos poligonais que demonstram a existência de S_1 . Os cristais destes minerais com freqüência exibem *mica-fishes* ou sombra de pressão em granada, formando sigmóides que demonstram rotação.

A granada, por sua vez, tende a ocorrer arredondada e corroída, com raros exemplos de bordas preservadas (prancha 1, fotomicrografia 1). Em geral nas bordas ocorre a associação biotita + quartzo, ou ainda em fraturas do mineral, além de clorita rica em ferro, resultado de retro-metamorfismo (prancha 1, fotomicrografia 2). São abundantes as inclusões, principalmente de quartzo, mas também de biotita, plagioclásio e turmalina. Parte da granada tem faces retas em contato com micas, de modo que truncam a elongação da biotita ou muscovita, com cinemática entendida como tardia ou posterior a principal deformação. A sillimanita pode ocorrer como fibrolita, na forma de cristais aciculares, geralmente inclusos em muscovita, ou na forma de cristais maiores, associada a biotita e muscovita, orientada segundo a foliação.

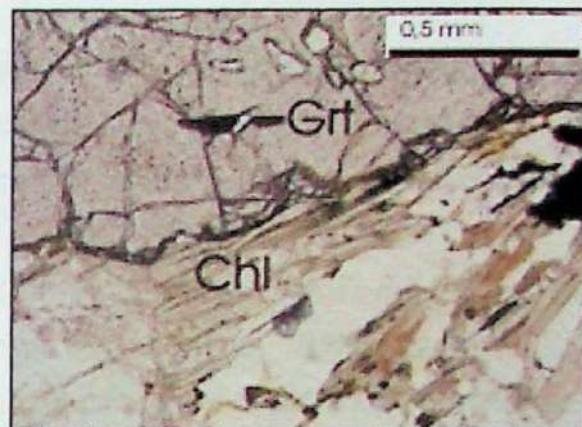
Zircão é o mineral acessório mais abundante, bem marcado por halos pleocróicos desenvolvidos em biotita. Apatita é relativamente abundante, ocorre com forma euédrica. Clorita é observada principalmente no interior e bordas de cristais de granada como resultado de retro-metamorfismo. Turmalina ocorre como inclusões em granada ou como cristais bem desenvolvidos com elongação paralela a S_2 .

As paragêneses formadas pelos minerais: biotita + muscovita + sillimanita + granada e biotita + sillimanita + k-feldspato + granada (prancha 1, fotomicrografia 3) são importantes para a determinação do metamorfismo.

Prancha 1



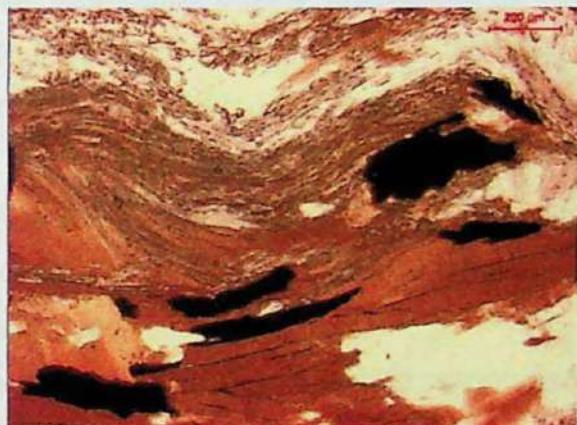
Fotomicrografia 1: Paragênese Bt + Grt + Sil + Ms, com foliação dobrada e granada pós-cinemática. Polarizadores paralelos. Lâmina OL-VIII-148C. Ponto:1069



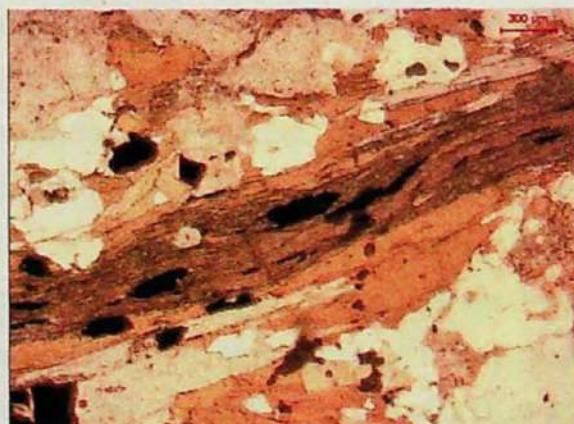
Fotomicrografia 2: Crescimento retrometamórfico de clorita na borda de granada. Polarizadores paralelos. Lâmina OL-VIII-108B. Ponto 1029



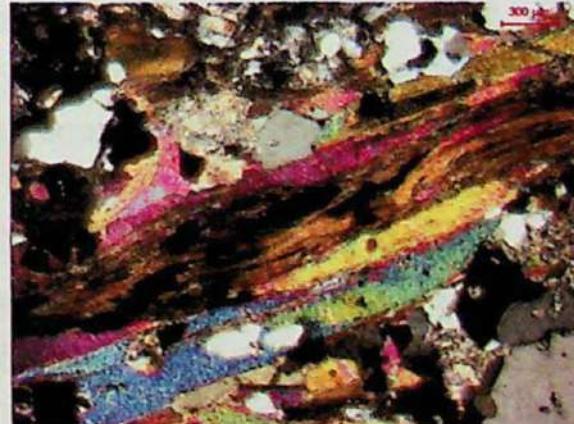
Fotomicrografia 3: Paragênese Bt+Grt+Sil+Kfs em rocha. Polarizadores cruzados. Lâmina OL-VIII-31B. Ponto 952.



Fotomicrografia 4: BT+Sil definem a foliação, que encontra-se crenulada. Polarizadores paralelos. Lâmina SB-VII-73C. Ponto 2125



Fotomicrografia 5: Biotita em paragênese com sillimanita (fibrolita) definindo a foliação. Polarizadores paralelos. Lâmina SB-VI-109. Ponto 2014



Fotomicrografia 6: Biotita em paragênese com sillimanita (fibrolita) definindo a foliação. Polarizadores cruzados. Lâmina SB-VI-109. Ponto 2014

Granada-biotita gnaisse

A rocha aflora quase sempre muito alterada. A alteração apresenta dois padrões. Quando o quartzo é abundante, apresenta cor cinza e aspecto friável e pulverulento. Quando a proporção em biotita é maior, sua alteração possui cor característica violeta. Em geral é muito homogêneo e não apresenta leitos anatáticos.

A unidade comprehende o granada-plagioclásio-biotita-gnaisse com ou sem muscovita ou sillimanita. Apresenta leitos centimétricos de quartzo estirados, dobrados ou boudinados. Apresenta estrutura gnáissica, com textura granoblástica média, contendo porfiroblastos de granada que chegam a 1,0 cm. Biotita está presente em menor quantidade e marca a foliação principal. Localmente há grandes cristais de turmalina. Em geral não apresenta feições de anatexia, fator que auxilia a diferenciar as unidades gnáissicas da *Nappe Andrelândia*. Quando presente, pode ser observada na forma de partes migmatizadas com suas porções bem definidas. O leucossoma é composto de quartzo, feldspato, biotita em menor proporção e granada xenomórfica neoformada. O melanossoma é constituído de granada e biotita.

O bandamento da rocha, que é evidente ou difuso, alterna bandas félscicas granoblásticas com grano-lepidoblásticas, ricas em biotita e muscovita. Os minerais que constituem os litotipos estudados são: quartzo (30 a 60%), andesina (20 a 30%), biotita (15 a 15%), granada (1 a 5%), muscovita (ausente ou até 5%) e sillimanita (ausente ou até 8%), além dos minerais acessórios: zircão, apatita, ilmenita e monazita.

Em lâminas delgadas observa-se quartzo e plagioclásio com hábito xenoblástico, em contatos que podem ser suturados ou lobados. Os grãos estão freqüentemente alongados na direção da foliação principal da rocha (S_2), e o quartzo pode apresentar extinção ondulante. Biotita em todas as amostras possui cor vermelha, com inclusões de quartzo, zircão, monazita e sillimanita. Os cristais de biotita estão em geral alinhados e definem a direção da foliação principal, embora por vezes encontram-se marcando foliação posterior (S_3). A granada, tardi- a pós-cinemática, possui forma, em geral, subidioblástica, com faces retas e bem desenvolvidas quando em contato com micas, e faces irregulares quando em contato com quartzo ou plagioclásio. Inclusões de quartzo, plagioclásio, biotita e apatita podem ser encontradas na granada. A sillimanita, quando presente, ocorre na forma de cristais pequenos e orientados na foliação principal ou como fibrolita.

Nas amostras estudadas podem ser identificadas três foliações distintas. A foliação S_1 , marcada por arcos poligonais de biotita, a foliação principal S_2 paralela ao bandamento e marcada por alinhamento de micas e sillimanita, além de quartzo estirado segundo a orientação dos outros minerais. A foliação S_3 é identificada por cristais de biotita e muscovita oblíquos à foliação S_2 , e também em planos-axiais de clivagens.

Granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto intercalado com muscovita quartzito

São intercalações centimétricas a decamétricas de muscovita-quartzito fino com

granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzito xisto (figura 3). O xisto apresenta textura nematolepidoblástica com porfiroblastos de granada de até 1,5cm. Na base predomina o quartzito, com veios centimétricos de quartzito grosso recristalizado, boudinados. No topo predominam espessos níveis de xisto, onde pode ocorrer lentes de sillimanito de espessura decimétrica.



Figura 3: Aspecto da unidade, que no local encontra-se dobrada. Camadas rosa-claras correspondem a níveis mais quartzosos, enquanto que as avermelhadas são do *grt-sil-ms-bt-qtz-xisto*. Os leitos brancos representam leucossomas estromáticos, quartzo-feldspáticos, com porfiroblastos alterados a manganes.

Quando alterado o xisto adquire coloração violeta a avermelhada e o quartzito cinzento-amarelado, com variação local para violeta claro.

O xisto desta unidade é semelhante ao da unidade descrita acima. A diferença que apresenta é a granulação mais fina. O quartzito é fino, granoblástico, equigranular, com até 15% muscovita, marcando a foliação da rocha. Como acessórios há turmalina e rutilo. Não foram confeccionadas lâminas desta unidade.

6.1.3 Nappe Lima Duarte

Infra-estrutura gnáissica

São gnaisses tonalito-trondjemíticos, a hornblenda e biotita, migmatíticos e polimetamórficos, com intercalações de rochas metabásicas, na forma de boudins ou lentes concordantes com a foliação principal (figura 4).

Este litotipo altera para material rico em caulim e quartzo e quase sempre preserva o bandamento. Apresenta coloração cinza a cinza escuro. São comuns cores de alteração branca, rosa, marrom e cinza. A estrutura é bandada, e alterna bandas centimétricas a decimétricas félsicas com outras mais maficas. As bandas félsicas apresentam textura granoblástica, de granulação média a grossa, constituída de quartzo em maior proporção que feldspato (andesina e microclínio), tendo como maficos biotita e hornblenda, que em geral, não ultrapassam 10% na constituição da banda.



Figura 4 Aspecto do Gneisse Mantiqueira. Podem ser observadas bandas cinza claras alternadas com cinza escuras correspondentes ao bandamento tonalito-trondjemítico e leucossoma estromáticos branco, preenchendo zonas de cisalhamento. Ocorrem boudins de rocha mafica em tons escuros.

textura granoblástica média a grossa, constituída de quartzo, feldspato, biotita (5%) e hornblenda (até 35%), a qual apresenta cristais de até 1cm. Com freqüência a rocha encontra-se migmatizada com nítida distinção entre leuco-, meso- e melanossoma.

Ao microscópio a textura da rocha é predominante granoblástica, com camadas lepidoblásticas, ricas em biotita. Os minerais constituintes são quartzo, microclínio, plagioclásio (andesina), biotita, granada muito subordinada e raramente muscovita. A rocha admite variações nas abundâncias relativas desses minerais. Os minerais acessórios presentes são: zircão, apatita, ilmenita e monazita.

Quartzo e feldspato em sua maioria são xenoblásticos, com contatos suturados e lobados, mas em algumas porções também ocorrem em arranjo poligonal. O quartzo, em todas as lâminas examinadas, também ocorre em gota ou amebóide, como inclusões nos feldspatos, ou ainda como *ribbons* de quartzo, indicando remobilização de quartzo durante cisalhamento e sílica como resíduo de reação. É comum a associação de plagioclásio e quartzo nas bordas de feldspato potássico, gerando mirmequita. Biotita possui cor verde escuro a marrom, subidioblástico, e ocorre tanto na foliação principal quanto na forma de arcos poligonais evidenciando S_{n-1} . Há uma segunda geração que aparece truncando a foliação principal (S_{n+1}). A granada é rara, e quando aparece apresenta borda corroída. Muscovita, quando presente, trunca a foliação, e portanto é pós-cinamática.

A rocha metabásica é muito freqüente na área de estudo, sendo que na maior parte das vezes está associada ao Gneisse Mantiqueira, uma vez que ocorre geralmente como lentes centimétricas a métricas, concordantes ou discordantes da foliação do gneisse, ou ainda como

A hornblenda pode atingir tamanhos de até 0,8cm. Há dois tipos principais de bandas maficas, uma delas possui coloração cinza mais clara, de textura granoblástica fina a média, com leitos lepidoblásticos centimétricos, constituída de quartzo, feldspato, biotita, hornblenda e eventualmente granada, sendo que os maficos somam 25% com amplo predomínio de biotita, a qual marca a foliação metamórfica. O segundo tipo de banda mafica possui coloração cinza mais escuro, de

boudins de até 2m de espessura. Pode ocorrer também como os grandes corpos kilométricos mapeados. Os litotipos que representam a unidade são (biotita) anfibolito ou biotita-hornblenda gnaisse.

Apresenta estrutura foliada, textura granoblástica a nematoblástica de granulação média a fina. A rocha é constituída por plagioclásio, quartzo, hornblenda e possui variação na proporção de outros minerais, que podem estar ausentes: granada, titanita, clinopiroxênio, ortopiroxênio e opacos.

Há, por vezes, bandamento destacado por bandas ligeiramente mais espessas, homogêneas, de granulação média a grossa, preferencialmente granoblásticas, ricas em plagioclásio e quartzo, biotita e hornblenda em menor proporção, bandas lepidonematoblásticas foliadas, onde biotita e hornblenda perfazem mais de 60% da banda e bandas homogêneas, nematogranoblásticas com pouca biotita.

Ao microscópio observa-se hornblenda sempre subidioblástica a idioblástica, de cor verde, com pleocroísmo de bege a verde intenso, com cristais orientados caracterizando a foliação principal da rocha. A biotita é verde a marrom, idioblástica, com a maior parte dos cristais orientados segundo a foliação. Granada em geral é milimétrica. Quartzo e feldspato (oligoclásio-andesina), em geral perfazem 40% da rochas e são subédricos. Há texturas em colar, tipo-*moat* de granada envolvendo plagioclásio. Os piroxênios prescedem.

Sillimanita-muscovita-biotita-quartzo gnaisse e granada-muscovita-biotita-quartzo xisto

Apresenta variação na litologia. A unidade que ocorre na região central do mapa pode apresentar granada, enquanto na região da Serra Lima Duarte o mineral não ocorre com freqüência.

A rocha possui cor cinza, quando alterada cinza a cinza esbranquiçada. A estrutura é bandada, com intercalação centimétrica a decimétrica de bandas que podem ser essencialmente quartzosas, quartzo-feldspáticas de granulação média a grossa com conteúdo variável de biotita e sillimanita, bandas constituídas apenas por quartzo e sillimanita ou bandas porfiroblásticas contendo granada.

Apresenta uma ampla gama composicional, constituída de quartzo (40-70%), sillimanita (5-15%), muscovita (5-10%), biotita (10-20%) e granada (0-5%).

Ao microscópio observa-se diferença nos litotipos.

O litotipo que apresenta granada é bandado, e alterna bandas centimétricas granoblásticas quartzo-feldspáticas, com pouca biotita, com bandas lepidogranoblásticas de quartzo, feldspato, muscovita, sillimanita, biotita e granada, por vezes porfiroblástica. As bandas mais granoblásticas são grossas, com cristais de tamanhos variados mas com dimensões de até 5mm. Em geral são subidioblásticos a xenoblásticos, com biotita orientada, marcando a

foliação. As bandas mais máficas possuem granulação média a fina, com granada de até 1cm. Granada arredondada, com inclusões de biotita, ou com biotita substituindo a borda. Com freqüência ocorre alongada segundo a foliação, ou contornada por esta, portanto é pré- a sincinemática. Sillimanita ocorre como fibrolita, por vezes inclusa em muscovita. A foliação é bem marcada, dada por biotita, sillimanita e muscovita, no geral crenulada.

O segundo litotipo apresenta alternância de bandas granoblásticas constituídas de quartzo, feldspato, biotita e muscovita centimétricas a milimétricas com leitos ou bandas lepidoblásticas, por vezes nematoblásticas de muscovita, biotita e sillimanita. Nas bandas granoblásticas quartzo e feldspato são xenoblásticos, com contatos lobados, quartzo apresenta extinção ondulante e por vezes grãos maiores são contornados por domínios de sub-grãos enquanto feldspato ocorre fraturado. Grãos possuem entre 0,5 e 2mm. Há mimerquita entre os grãos. Biotita ocorre fina e sem orientação preferencial. A proporção mineralógica é: quartzo (50%), plagioclásio (40%) e biotita (10%). As bandas ou leitos lepidoblásticos definem a foliação da rocha. Elas são constituídas por quartzo, muscovita, biotita, sillimanita e opacos em proporções variadas. Biotita é verde a marrom, sillimanita ocorre como fibrolita ou em grãos maiores, inclusa em muscovita ou na matriz. A proporção de minerais é quartzo (25%), biotita (20-35%), sillimanita (10-20%), muscovita (3-6%), plagioclásio (15%) e opacos (3-5%).

A foliação é definida por orientação de muscovita, biotita e sillimanita. Os leitos nemato-lepidoblásticos com freqüência apresentam crenulação pronunciada, marcando foliação oblíqua (S_3 ?).

Quartzito

A unidade sustenta as serras da região.

É constituída por quartzito homogêneo, com textura francamente granoblástica por vezes milonítica de granulação grossa, equigranular. Apresenta variação no conteúdo de muscovita, feldspato, sillimanita, opacos e biotita, mas que não ultrapassam 15% da constituição da rocha. Por vezes a estrutura do quartzito é milonítica, onde cristais de quartzo apresentam orientação preferencial de estiramento, gerando uma lineação bem marcada, mas que eventualmente pode ser confundida com eixos de dobras. Os planos da foliação (S_2) são marcados por micas e sillimanita quando presentes, porém é de difícil distinção quando o quartzito ocorre puro, uma vez que o estiramento dos grãos de quartzo confere à rocha uma estrutura principalmente linear (tectonito tipo-L), dificultando também a distinção entre estiramento e recristalização de quartzo com estruturas do tipo-*mullions*. Dobras intrafoliais evidenciam um a superfície pretérita, S_1 . Uma terceira fase de deformação pode ser observada por meio de clivagens oblíquas espaçadas originadas por dissolução por pressão, com recristalização do quartzo segundo planos de achatamento.

Ao microscópio apresenta textura poligonalizada, principalmente, mas também são observados *ribbons* de quartzo, com cristais extremamente alongados.

Sillimanita-granada-biotita-gnaisse metatexítico

A unidade quase sempre está muito alterada, com tonalidade rosa-avermelhada.

Os minerais constituintes da rocha são: quartzo, feldspato, biotita, sillimanita, muscovita e granada, de textura granoblástica a lepidogranoblástica, com granulação fina a média, por vezes com porfiroblastos de granada e cor cinza.

A rocha apresenta composição mineralógica fixa, mas com grande variação na proporção, de tal forma que pode adquirir aspecto gnássico ou xistoso. Quando há maior quantidade de feldspato e menor de micas e aluminossilicatos, a textura é granoblástica e a estrutura que predomina é o bandamento centimétrico a decimétrico, que alterna camadas quartzo-feldspáticas com leitos poucos espessos, mais ricos em biotita e sillimanita. Quando a quantidade de quartzo e feldspato é menor a estrutura xistosa fica evidente.

É muito freqüente a presença de leucossoma em bandas ou bolsões, com melanossoma de biotita pouco espesso nas bordas.

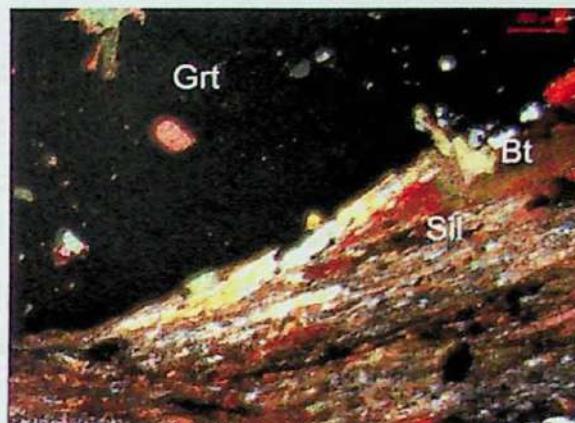
Ao microscópio observa-se bandas granoblásticas grossas quartzo-feldspáticas, com quartzo poligonalizado, e biotita verde a marrom definindo a foliação. Quartzo pode apresentar extinção ondulante, por vezes apresenta inclusão de paletas de biotita e sillimanita. Ocorre também associado a estas bandas K-felíspato, principalmente na forma de pertita. Nas bandas granolepidoblásticas ocorrem biotita e sillimanita associadas (prancha 1, fotomicrografia 4), marcando a foliação. Sililimanita geralmente ocorre como fibrolita (prancha 1, fotomicrografias 5 e 6). Granada é subidioblástica, apresenta bordas quase sempre corroídas, em dimensões milimétricas a centimétricas (porfiroblástica). Possui inclusões de biotita, quartzo, plagioclásio e opacos e geralmente aparece em associação com sillimanita e biotita, caracterizando a paragênese principal da rocha (prancha 2, fotomicrografias 7 e 8). Como minerais acessórios há opacos, zircão e apatita.

Minerais orientados, inclusos em granada, com alinhamento oblíquo à orientação externa da foliação e arcos poligonais de biotita podem indicar S_1 , enquanto que a crenulação da foliação, observada em mais de uma lâmina, pode caracterizar uma foliação S_3 .

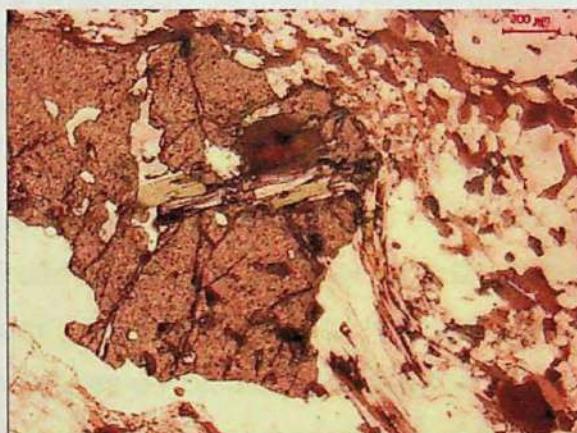
Prancha 2



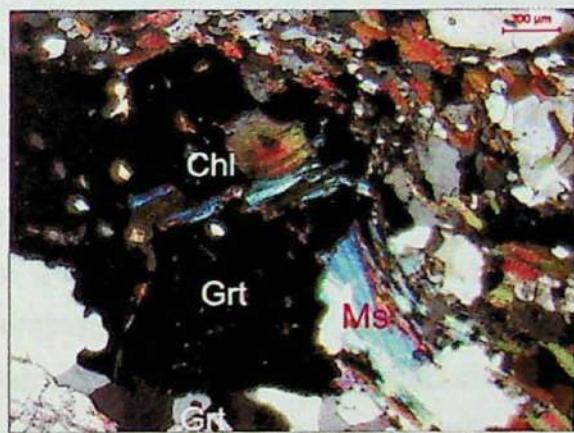
Fotomicrografia 7: Grt+Bt+Sil definem a paragênese da rocha. Polarizadores paralelos. Lâmina SB-II-35C. Ponto 1443.



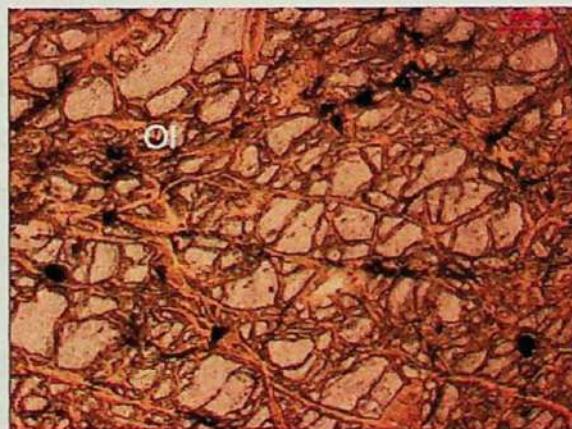
Fotomicrografia 8: Grt+Bt+Sil definem a paragênese da rocha. Polarizadores cruzados. Lâmina SB-II-35C. Ponto 1443.



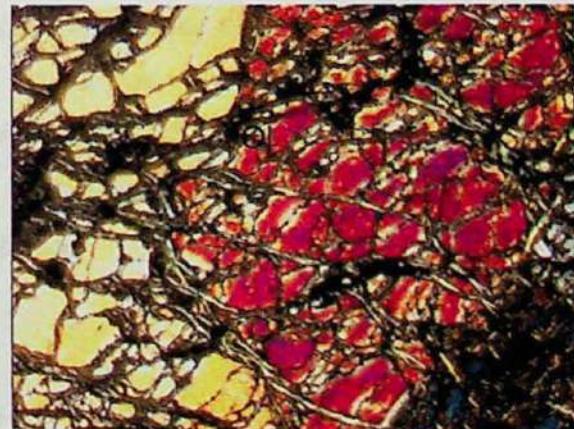
Fotomicrografia 9: Chl tardia inclusa em Grt com muscovita em sombra de pressão. Polarizadores paralelos. Lâmina SB-IV-36. Ponto 1695.



Fotomicrografia 10: Chl tardia inclusa em Grt com muscovita em sombra de pressão. Polarizadores cruzados. Lâmina SB-IV-36. Ponto 1695.



Fotomicrografia 11: Núcleos de Ol preservados com serpentina nas bordas. Polarizadores paralelos. Lâmina SB-V-I. Ponto 1761



Fotomicrografia 12: Núcleos de Ol preservados com serpentina nas bordas. Polarizadores cruzados. Lâmina SB-V-I. Ponto 1761

Granada-biotita gnaisse metatexítico

Rocha de cor cinza e quando alterada laranja-avermelhado. Apresenta textura granoblástica e estrutura bandada. As bandas mesocráticas, que predominam, são inequigranulares de granulação média, constituídas de quartzo, feldspato, biotita e granada, com variação na quantidade dos máficos de tal forma que a textura pode adquirir aspecto lepidoblástico. A granada em geral não ultrapassa 1,0 cm. As bandas leucocráticas são difusas, de contato sinuoso, a granulação é grossa e são constituídas por quartzo e feldspato, em cristais que atingem 1cm. Em geral os cristais são alongados, paralelos ao bandamento e foliação definida por biotita. Sillimanita pode estar presente, mas nunca em grande proporção.

Ao microscópio as bandas félsicas são constituídas por quartzo (75%), andesina (20%) e biotita (5%). Biotita é fina e define a foliação, que é paralela ao bandamento. Grãos de quartzo e plagioclásio são em geral alongados, com direção maior de elongação paralela ao bandamento, e à orientação de biotita. Alguns cristais de quartzo apresentam forma de sigmóide, com divisão interna em sub-grãos poligonizados, evidência de deformação não-coaxial, com posterior recristalização estática dos grãos.

As bandas lepidoblásticas são constituídas de biotita (30-40%), granada (5%), quartzo (30-40%), sillimanita (<1%), muscovita (<1%) e andesina (20-30%). Os minerais acessórios são: zircão, apatita e opacos. Quartzo e feldspato em geral são subidioblásticos a xenoblásticos, com contatos lobados. Feldspato apresenta geminação lei da albite dobrada, e contém inclusões de biotita. Biotita apresenta coloração verde escura a marrom, hábito subidioblástico, alongada, definindo a foliação. A granada ocorre preferencialmente em associação com biotita. Possui hábito subidioblástico a xenoblástico, quase sempre com bordas corroídas e fraturada, e contém diversas inclusões: quartzo, feldspato, biotita e opacos. O mineral quase sempre apresenta biotita na borda, e eventualmente clorita que pode aparecer na borda ou preenchendo fraturas, evidências de retro-metamorfismo (prancha 2, fotomicrografias 9 e 10). A sillimanita ocorre preferencialmente com hábito de fibrolita.

A foliação principal da rocha (S_2) é definida por biotita, sillimanita e muscovita. Ocorre granada rotacionada com sombra de pressão. O cristal por vezes contém inclusões de biotita, quartzo e opacos alinhados, que marcam a foliação interna (S_1). Muitas vezes o mineral ocorre contornado por cristais de biotita que marcam a foliação, ou ainda ocorre alongado segundo esta, assim, é interpretada como pré- a sin-cinemática.

Biotita granito-gnaisse porfiroblástico

A unidade ocorre em contato com o Gnaisse Mantiqueira e o sillimanita-granada-biotita-gnaisse metatexítico.

Rocha de cor cinza a cinza escuro. Apresenta estrutura bandada, onde as bandas são difusas, com contatos sinuosos. As bandas félsicas são pouco espessas (em média 4cm), possuem textura granoblástica grossa, compostas por quartzo e feldspato. As bandas mais maficas predominam. Sua textura é porfiroblástica/porfiroclástica com matriz granolepidoblástica. Os cristais porfiroblásticos/porfiroclásticos ocupam aproximadamente 20% da banda, são em geral alongados e concordantes com a foliação definida por biotita, constituídos de quartzo e feldspato, em tamanhos que podem ultrapassar 10cm. A matriz é inequigranular fina, composta de quartzo, feldspato e biotita (20-40%).

Microscopicamente foi descrita a banda com maior proporção de maficos. Há segregação em leitos micáceos, constituídos de biotita e muscovita definindo a foliação, com leitos granoblásticos, onde as micas são mais finas e por vezes sem orientação preferencial. Os grãos de quartzo e feldspato que constituem a matriz possuem entre 0,2 a 0,5 mm e são xenoblásticos. Os porfiroblastos/porfiroclastos de feldspato (andesina) são subdioblásticos a xenoblásticos, muito fraturados e contém inclusões de biotita. Nas bordas destes cristais e em contato com outros grãos há domínios de sub-grãos. Por vezes a geminação lei da albita nos plagioclásios encontra-se dobrada. O quartzo exibe, com freqüência, muitas fraturas e extinção ondulante. Em alguns cristais há divisão interna em sub-grãos poligonizados.

Sillimanita-granada-biotita gnaisse homogêneo

Com ocorrência na parte sul da área, não se sabe a posição na coluna litoestratigráfica.

Rocha de cor cinza, bandada, alterna bandas leucocráticas estromáticas até centimétricas, equigranulares grossas, com bandas ou lentes mais maficas, constituídas de sillimanita, biotita e granada. Granada porfiroblástica de até 6cm. Nas bandas leucocráticas há feldspato porfiroblástico centimétrico, e porções estiradas de quartzo e quartzo-feldspáticas.

Ao microscópio se observa uma nítida separação em bandas quartzo-feldspáticas de granulação mais grossa, granoblásticas, com bandas mais maficas. As bandas mais grossas são constituídas de: quartzo e plagioclásio, geralmente alongados segundo a foliação, que é definida por biotita e sillimanita. As bandas mais maficas são menos espessas e constituídas de quartzo, plagioclásio, biotita, sillimanita, granada, e raramente muscovita, e como acessórios possui opacos e zircão. A textura é lepidoblástica a granolepidoblástica média. Quartzo e feldspato são xenoblásticos, finos em dimensões de até 0,2mm, com contatos irregulares. Granada é xenoblástica, com bordas corroídas, e contém inclusões de biotita alinhadas internamente, oblíquas à foliação externa (S_1). A foliação (S_2) é definida por sillimanita, biotita e muscovita, quando presente.

(Granada)-biotita gnaisse metatexítico

Ocorre ao sul da área, em contato com o sillimanita-granada-biotita gnaisse diatexítico, sem posição definida na coluna estratigráfica da área.

Rocha homogênea, granoblástica, equigranular média, composta de quartzo, plagioclásio, biotita e granada, com bandas de leucossoma grosso, composto de quartzo e feldspato rosado, sieno-granítico a sienítico.

A rocha é intercalada com um gnaisse cinza claro, granoblástico, equigranular bandado, com bandas mais ricas em biotita (até 5%).

Não foram confeccionadas lâminas desta unidade.

Metaultramáfica

Rocha de coloração escura com alteração branco-esverdeada, estrutura aparentemente maciça quando observada em amostra de mão, mas com leve foliação quando em afloramento. Há porções com bandamento, que se destacam na alteração por porções esverdeadas claras alternadas com escuras. A constituição mineralógica da rocha é de anfibólito, olivina, ortopiroxênio e serpentina.

Foi descrita uma lâmina desta unidade. Microscopicamente é observada a textura "mesh", onde núcleos de olivina de 1 a 3mm são preservados, com bordas e fraturas completamente preenchidas por serpentina (prancha 2, fotomicrografias 11 e 12). São presentes minerais opacos e espinélio em interstícios de olivina. Clorita magnesiana ocorre preenchendo fraturas e em bordas de olivina.

Diabásio

A rocha aflora muito pouco alterada. Possui cor cinza escuro, granulação muito grossa, estrutura maciça, constituída essencialmente de plagioclásio e piroxênio.

Microscopicamente pode ser observada a textura sub-ofítica com fenocristais de diopsídio e plagioclásio (andesina) de até 5mm. Os cristais são euédricos e o plagioclásio é tabular. A matriz é composta principalmente de andesina, em cristais de 0,25 a 0,5mm. Plagioclásio perfaz 60-65% da rocha, diopsídio 35-40% e opacos 3%.

6.2 Metamorfismo

O metamorfismo que afetou a área foi do tipo barrowiano, ou de pressão intermediária, fácies anfibolito, zona da sillimanita.

O estudo das rochas gnássicas do embasamento ao microscópio sugere que são derivadas de protólito ígneo, portanto, para a caracterização do metamorfismo da região, foram

enfocadas as rochas das unidades metassedimentares, que registram melhor as condições de pressão e temperatura.

6.2.1 Granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto – Nappe Andrelândia

A proporção mineralógica da unidade é: quartzo (30% a 60%), plagioclásio - oligoclásio cárlico a andesina sódica - (10% a 30%), biotita (10% a 20%), muscovita (menos de 1% a cerca de 10%), granada (1% a 5%, podendo chegar a 15% em zonas mais concentradas). Feldspato potássico pode estar presente, mas não chega a mais de 1%.

Os cristais maiores de quartzo apresentam extinção ondulante e podem ocorrer alongados segundo a foliação principal (S_2) da rocha. Diminutos cristais de quartzo – com formas de “gota” – ocorrem nos interstícios entre os cristais félscos e podem estar inclusos em plagioclásio. As micas (muscovita e biotita) desenvolvem-se principalmente segundo a foliação principal (S_2) da rocha, com gerações posteriores truncando S_2 e ocorrendo de modo ordenado e oblíquo a S_2 (S_3) ou de modo aleatório (recristalização estática). Podem ocorrer arcos poligonais que demonstram a existência de S_1 . Os cristais destes minerais podem ocorrer também levemente curvados, gerando *mica-fish* ou em associação com granada, formando sigmóides que demonstram rotação.

A granada, por sua vez, tende a ocorrer arredondada e corroída, com raros exemplos de bordas preservadas. A sillimanita, como descrito acima, pode ocorrer em abundância ou ser quase um mineral acessório. Existem dois tipos de ocorrência: como fibrolita, na forma de pequenos cristais prismáticos, muito alongados, e como sillimanita, melhor desenvolvida, podendo gerar arcos poligonais. Nas frações mais xistosas tanto a fibrolita como a sillimanita orientam-se segundo S_2 , em associação com muscovita e biotita. No entanto, o mais observado é a tendência da fibrolita ocorrer no interior ou nas bordas de minerais como muscovita (principalmente), biotita e granada.

O truncamento da foliação S_2 por biotita e muscovita, presença de *mica-fishes* e associação biotita + granada com rotação são evidências de que existiu deformação cisalhante da rocha concomitante ao metamorfismo e desenvolvimento da assembléia mineral metamórfica.

A paragêneses biotita + muscovita + sillimanita + granada e biotita + sillimanita + k-feldspato + granada é representativa das associações entre os minerais da rocha.

A granada é freqüentemente corroída na reação retrógrada granada + líquido → biotita + quartzo. Outra reação que envolve granada é o retro-metamorfismo que gera clorita.

A presença de quartzo amebóide, ou “em gotas”, é evidência de migração de sílica no sistema, seja por resultado de reações metamórficas ou migração de material ígneo gerado por fusão parcial em processos de anatexia, muito comum nessa unidade.

6.2.2 Silimanita-granada-biotita-gnaisse metatexítico – *Nappe Lima Duarte*

A proporção mineralógica da unidade é: quartzo (35 a 40%), plagioclásio (10%), granada (5 a 7%), biotita (30 a 35%), sillimanita (10-15%) e k-feldspato (1 a 7%). A textura granoblástica pode adquirir caráter nemato-lepidoblástica nos leitos mais ricos em micas e sillimanita.

O leucossoma é bem desenvolvido, formando grandes bolsões quartzo-feldspáticos de granulação grossa (freqüentemente caulinizados), em contraste com a granulação média da matriz.

O quartzo é subidioblástico, freqüentemente apresenta extinção ondulante e apresenta inclusão de biotita e minerais opacos.

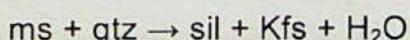
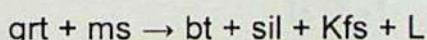
Sillimanita, biotita e muscovita encontram-se orientadas segundo a foliação S_2 . A sillimanita pode ocorrer na forma prismática ou de fibrolita, às vezes intercrescida com biotita e muscovita. O mineral desenvolveu-se em duas gerações, uma sin-cinemática e outra pós-cinemática, marcada por cristais euédricos, que truncam a foliação.

A granada sin-cinemática em geral encontra-se corroída, com forma xenoblástica, contendo inclusões de biotita.

O metamorfismo progressivo é caracterizado pela reação de quebra da muscovita:



Ocorre também a formação de k-feldspato, indicando que a segunda isógrada da sillimanita foi alcançada:



O retrometamorfismo é caracterizado pela volta dessas reações, além de formação de muscovita e clorita substituindo a biotita.

6.2.3 Estimativa de pressão e temperatura

Para estimar as condições de pressão e temperatura de formação da rocha, nota-se, em primeiro lugar, a presença de sillimanita e ausência de cianita, cordierita e estaurolita, criando um campo de estabilidade bastante restrito.

A geração de sillimanita a partir de muscovita é descrita em duas linhas de reação no sistema KFMASH (Spears *et al.*, 1999), sempre envolvendo a formação de líquido sendo,

portanto, linhas de fusão. No entanto, a linha de mais baixa temperatura pressupõe supersaturação em H_2O – como descrito acima – em que a reação deve ser curta no tempo. Cria-se, assim, o campo de estabilidade de sillimanita + k-feldspato + muscovita + biotita + quartzo (+ granada?), referente à paragênese observada na rocha, que é limitado pelas linhas de reação de quebra de biotita para formação granada, cordierita e líquido. Este campo ocorre a temperaturas entre 710 e 850°C e pressões entre 4 e 12 Kbar (figura 5).

A sobreposição desta linha com o campo delimitado no diagrama KFMASH restringe as condições de temperatura para cerca de 750-770°C e pressão em torno de 6 Kbar.

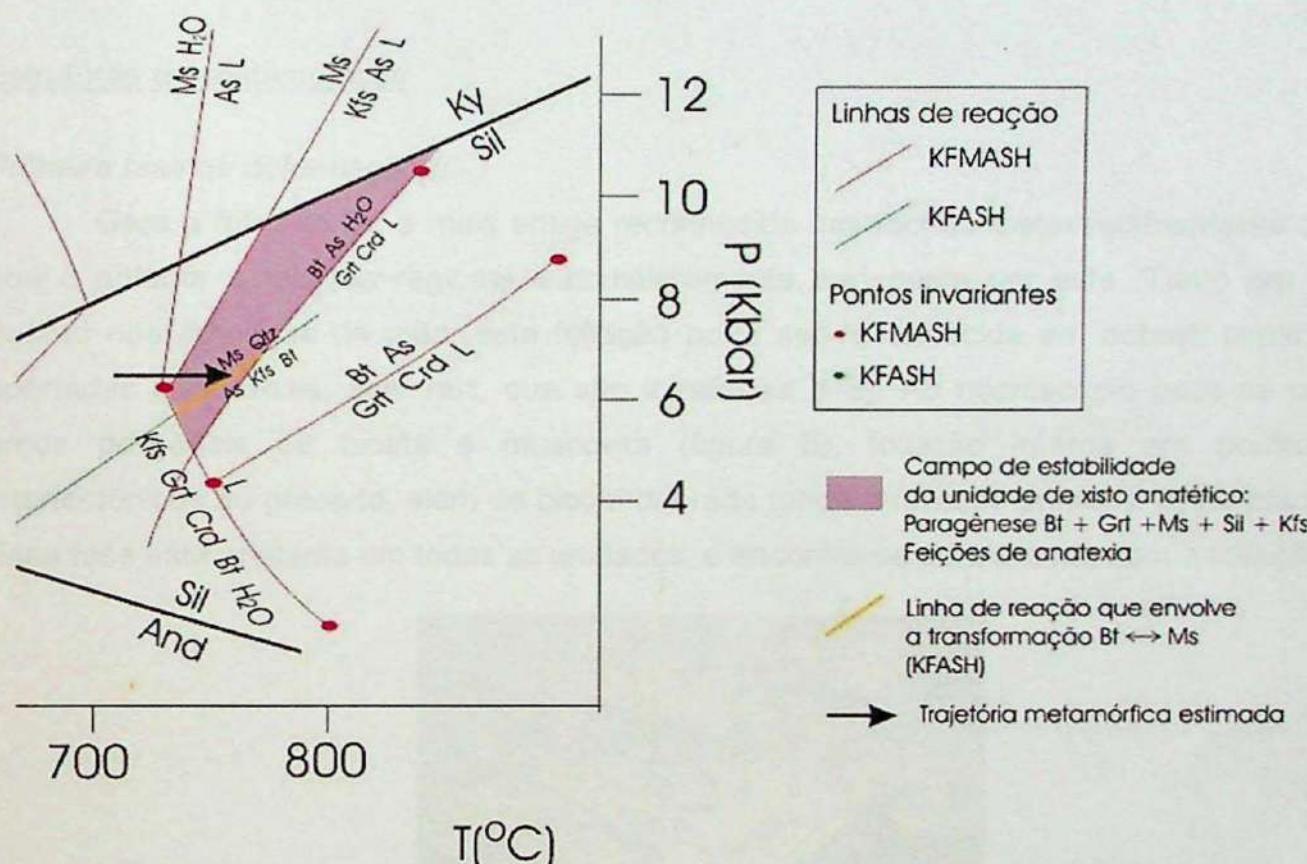


Figura 5: Diagrama PxT que representa o campo de estabilidade das rochas das unidades metapelíticas no sistema KFMASH. O campo é limitado pelas linhas de reação $Ms \rightarrow As + Kfs + líquido$ (à esquerda) e $Bt + As + H_2O \rightarrow Grt + Crd + líquido$ (à direita). A linha amarela considera a reação $Ms \leftrightarrow Bt$ – ver texto para detalhes. Modificado de Spear et al. (1999), Spear & Cheney (http://ees2.aoe.mi.edu/MetaPetaRen/Software/GibbsWeb/SCarid_4-11-98.GiF) e Wei et al. (2004).

6.3 Estrutural

A região exibe uma estrutura complexa, marcada por dobramentos, redobramentos e empurrões. As estruturas foram geradas inicialmente em regime dúctil, nas fases pré-xistosa (foliação S_1); sin-xistosa (foliação S_2) e pós-xistosa. As duas primeiras foram companhadas de metamorfismo de médio a alto grau, com pico metamórfico na foliação S_2 , definido pela paragênese biotita + sillimanita + granada + quartzo + k-feldspato, em metapelitos. A fase pós-

xistosa, com mega-dobras associadas, foi gerada sob condições de mais baixa temperatura. A deformação não-coaxial dúctil identifica-se com a geração de *nappes* sin-metamórficas, degeneradas em um sistema de cavalgamento rúptil reorganizando-se em duplexes. Fases tardias dobram a foliação S_2 nas direções leste-oeste e norte-sul.

É comum a presença de forte lineação de estiramento e/ou de lineação mineral, em todos os litotipos.

6.3.1 Nappe Andrelândia

Estruturas sin-metamórficas

Primeira fase de deformação (D_1)

Gera a foliação S_1 , a mais antiga reconhecida nas rochas metassedimentares da área, que é anterior à foliação regional e completamente transposta por esta. Tanto em campo, quanto nas amostras de mão, esta foliação pode ser reconhecida em dobras centimétricas apertadas a isoclinais, sem raiz, que são intrafoliais a S_2 . Ao microscópio pode-se observar arcos poligonais de biotita e muscovita (figura 6), foliação interna em porfiroblastos intertectônicos de granada, além de biotita dobrada tendo a foliação principal S_2 no plano axial. Essa fase está presente em todas as unidades, e encontra-se paralelizada com a foliação S_2 .

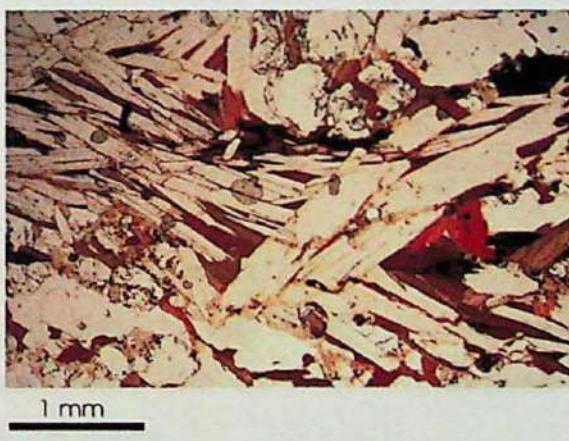


Figura 6: arco poligonal em cristal de muscovita.

Segunda fase de deformação (D_2)

A segunda fase é responsável por gerar a foliação principal regional (S_2), que pode ser reconhecida em todas as unidades metassedimentares. É marcada pelo achatamento de agregados minerais quartzo-feldspáticos, bandamento composicional, foliação milonítica ou por orientação planar de minerais micáceos.

A foliação está relacionada ao auge metamórfico. É representada pela paragênese biotita + sillimanita + granada + quartzo + k-feldspato, e também por veios e bolsões leucossomáticos que ocorrem associados, evidenciando episódio anatético sincrônico.

As estruturas relacionadas a esta fase são dobras sin-xistosas, recumbentes com vergência para NW. São observadas principalmente em escala de afloramento (figura 7).

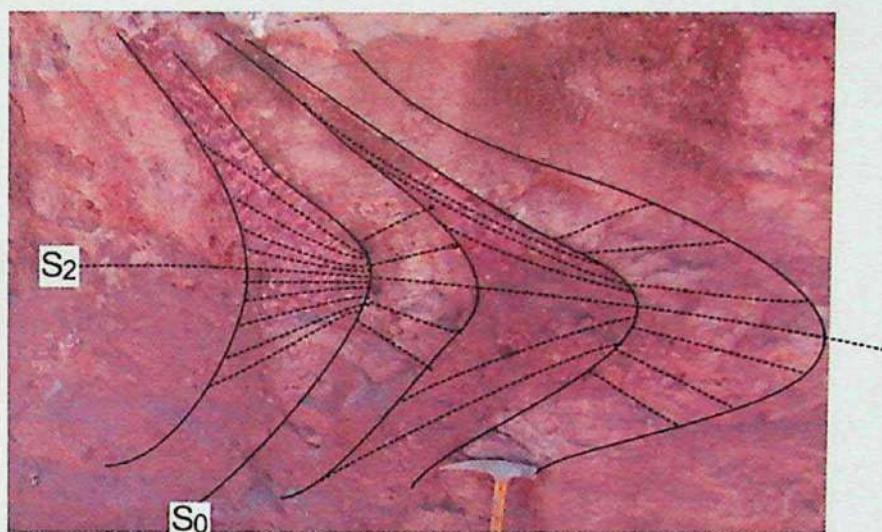


Figura 7: dobragem sin-xistosa com refração da xistosidade. S_0 é a superfície de contato entre as duas unidades, S_1 é paralelo a S_0 e S_2 é a superfície metamórfica plano axial da dobragem. Camadas rosa-claras correspondem a níveis mais quartzosos, enquanto que as avermelhadas são do grt-sil-ms-bt-qtz-xisto.

As lineações mineral e/ou de estiramento, sin-metamórficas, desenvolvidas nesta fase, podem indicar a direção regional de transporte da *nappe*. A lineação de estiramento é definida por orientação preferencial de cristais de quartzo ou de agregados quartzo-feldspáticos e a lineação mineral por cristais isoorientados de sillimanita e por minerais micáceos com clivagens 001 contidas nos planos da foliação e alinhadas.

Seqüência de eventos tardi- a pós-metamórficos

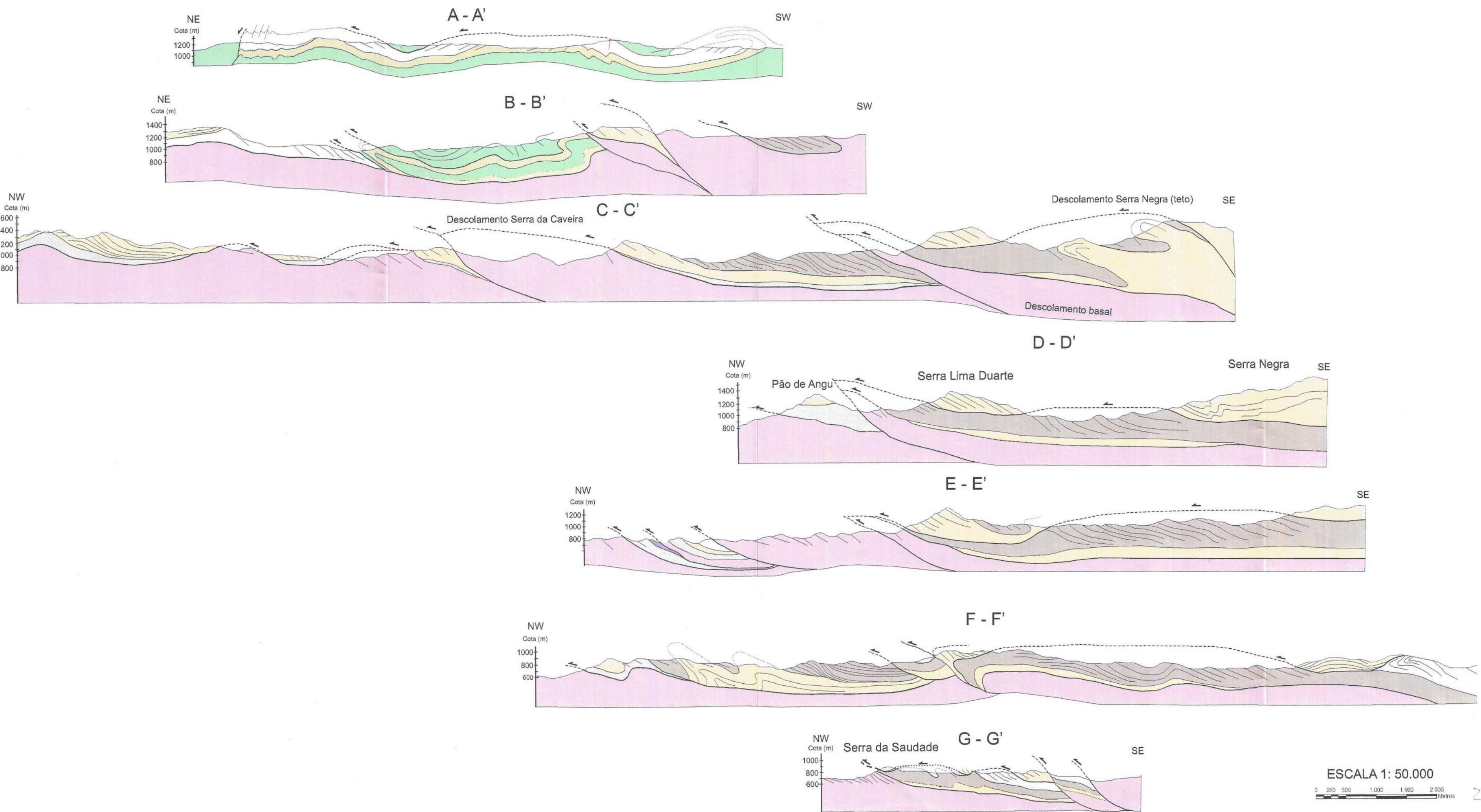
São eventos de deformação que reorientam a foliação principal das rochas, desenvolvidos em estágios tardios do metamorfismo, sob mais baixas temperaturas. As estruturas relacionadas a esta fase são as mais expressivas na configuração da *nappe*, conforme pode ser observado no mapa.

A seqüência dos eventos foi definida por critério de superposição.

Terceira e quarta fases de deformação (D_3 e D_4)

Na seção geológica A-A' da figura 8, na porção SW, nota-se que o granada-biotita gnaisse encontra-se dobrado, em evento D_3 e redobrado por evento D_4 . Os eventos

Seções geológicas



subsequentes geram padrão de interferência. Os eixos das diferentes fases de deformação são aproximadamente paralelos, com direção NW-SE e os planos axiais são quase ortogonais, o que resulta em padrão de interferência do tipo 3 em laço (Ramsay & Hubert, 1987).

Quinta fase de deformação (D_5)

Refere-se ao cavalgamento da *Nappe Andrelândia* sobre a *Nappe Lima Duarte*. A unidade do granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto, que ocorre na base da coluna litoestratigráfica da *Nappe Andrelândia*, aparece em contato tectônico com o quartzito. Durante o processo de cavalgamento das *nappes*, ocorre geração de milonitos. É comum na área a observação de lâminas delgadas onde há resquícios de milonitos (granada rotacionada, quartzo em *ribbons*, *mica-fishes*, pares S-C), em matriz recristalizada, granoblástica e quartzo em arranjo poligonal. Em amostra de mão, muitas vezes a estrutura milonítica não é reconhecida por conta da recristalização.

Sexta fase de deformação (D_6)

Foram agrupados neste evento as dobras tardias, que deformam a superfície de cavalgamento do evento deformacional D_5 . As dobras suaves representadas nos perfis foram geradas neste evento. Não é possível distinguir a seqüência dessas duas fases por critério de superposição. O estereograma da figura 9 caracteriza a fase tardia que deforma as fases D_3 e D_4 , com eixo próximo de N-S, sub-horizontal com plano axial de direção NNW-SSE, sub-vertical. Gera padrão de interferência tipo 2 em cogumelo (Ramsay & Hubert, 1987) com as fases deformacionais D_3 - D_4 .

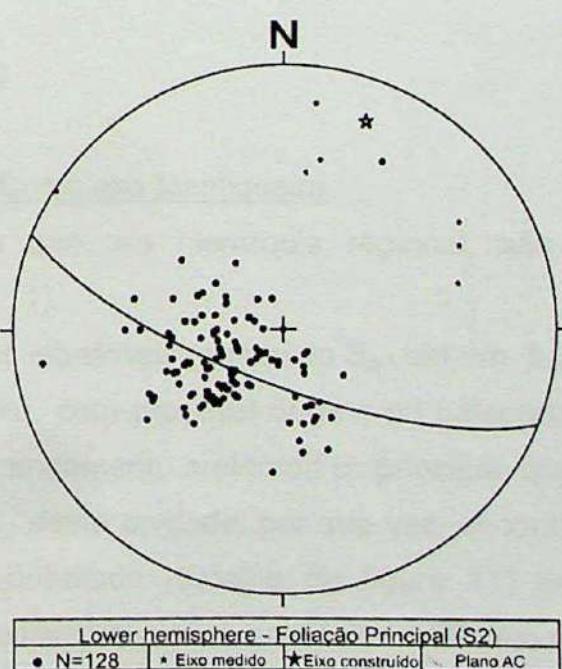


Figura 9: estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na *Nappe Andrelândia*. N = número de medidas

O estereograma da figura 10 mostra dispersão de medidas de foliação S_2 , que caracteriza as dobras tardias, aproximadamente cilíndricas, que ocorrem a leste do domínio da *Nappe Andrelândia* (ver mapa geológico). Essas dobras possuem planos axiais de altitude NW-SE, subverticais de eixos com fraco cimento para SE.

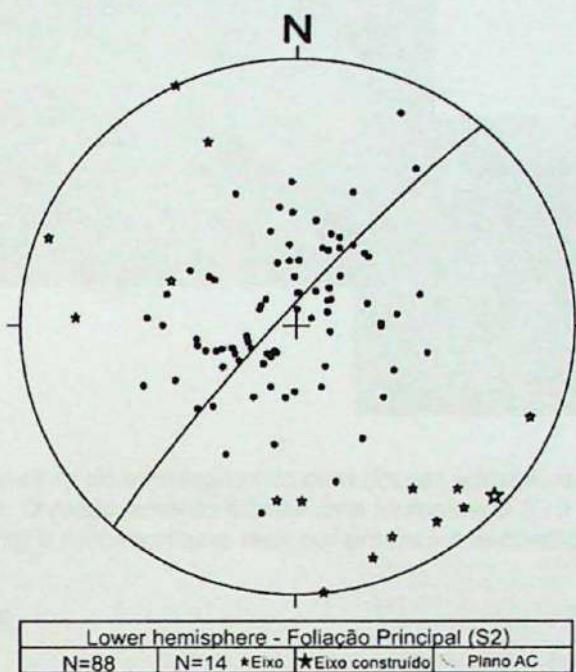


Figura 10: estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na Nappe Andrelândia. N = número de medidas

O último evento tectônico registrado neste domínio é a escama da *Nappe Lima Duarte* que cavalga a *Nappe Andrelândia* localmente, conforme ilustração do perfil B-B' (figura 8).

6.3.2 Nappe Lima Duarte

Infra-estrutura gnáissica – Complexo Mantiqueira

Registra estruturas que, na hierarquia regional, são anteriores às das unidades metassedimentares (figura 11).

Observam-se dobras intrafoliaias marcando S_{n-1} em um bandamento gnaissico-anatético. Este bandamento é pretérito, com provável origem no paleoproterozóico. O bandamento que marca S_2 corresponde ao bandamento metamórfico principal, que é plano axial do bandamento mais antigo. A superfície S_2 desta unidade, por sua vez, encontra-se redobrada. O plano axial S_3 apresenta hornblenda orientada (detalhe da figura 11) em leucossoma, os quais são compatíveis com o metamorfismo regional, em fácies anfibolito superior. Portanto a foliação do embasamento que correspondente à foliação principal nas unidades metassedimentares, é pelo

menos uma S_3 . No geral, a foliação principal apresenta mergulhos para SE, transposta e paralelizada com a foliação principal das outras unidades da Nappe Lima Duarte.

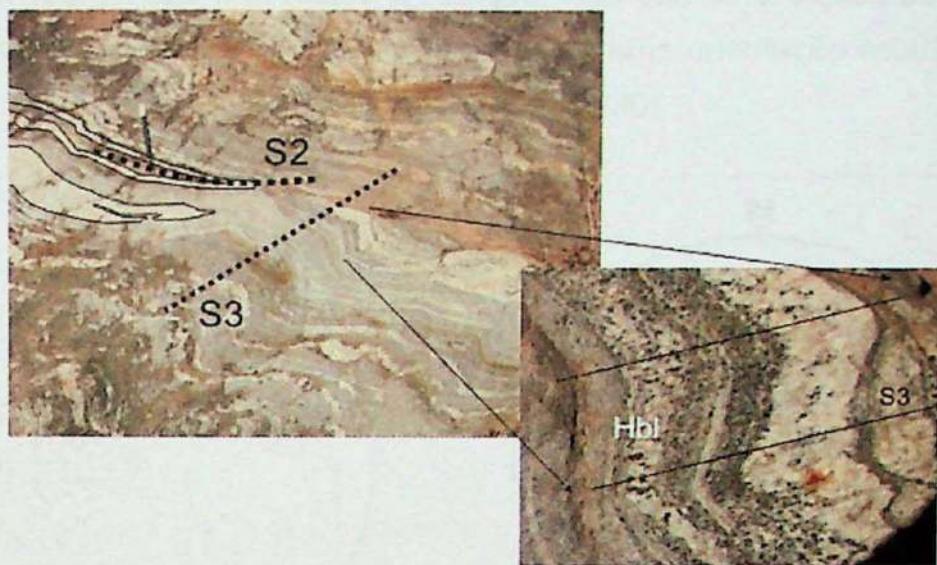


Figura 11: Gneisse do embasamento com dobras intrafoliaias a plano axial S_2 redobrado. O redobramento admite uma xistosidade S_3 a homblenda, compatível com o metamorfismo reacional em fácie anfibolito.

Estruturas sin-metamórficas

Primeira fase de deformação (D_1)

Assim como no caso da Nappe Andrelândia, a primeira fase de deformação é responsável por gerar a foliação S_1 , que é anterior à foliação regional e completamente transposta por esta. É reconhecida em dobras centimétricas apertadas a isoclinais, sem raiz, que são intrafoliaias a S_2 . Ao microscópio observa-se arcos poligonais de biotita e muscovita, foliação interna em porfiroblastos intertectônicos de granada, além de biotita dobrada tendo a foliação principal S_2 no plano axial.

Segunda fase de deformação (D_2)

A segunda fase é responsável por gerar a foliação principal regional (S_2), que pode ser reconhecida em todas as unidades metassedimentares, e corresponde à foliação S_3 da infra-estrutura gnáissica.

Diferente da Nappe Andrelândia, a foliação S_2 neste domínio é identificada com cisalhamento dúctil não-coaxial. A foliação está relacionada ao auge metamórfico, representado pela paragênese k-feldspato + biotita + sillimanita + granada + quartzo, e também por veios e bolsões leucossomáticos que ocorrem associados.

O domínio da *Nappe Lima Duarte* apresenta uma regularidade na atitude da foliação (figura 12, a e b). Há uma dispersão de polos de foliação que reflete redobramentos posteriores, responsáveis por reorganizar localmente a foliação, fato que será explorado mais adiante no texto. No entanto, o diagrama de freqüência (b) mostra uma orientação estatística preferencial da foliação com mergulho em torno de 30° para SE ($145/30$).

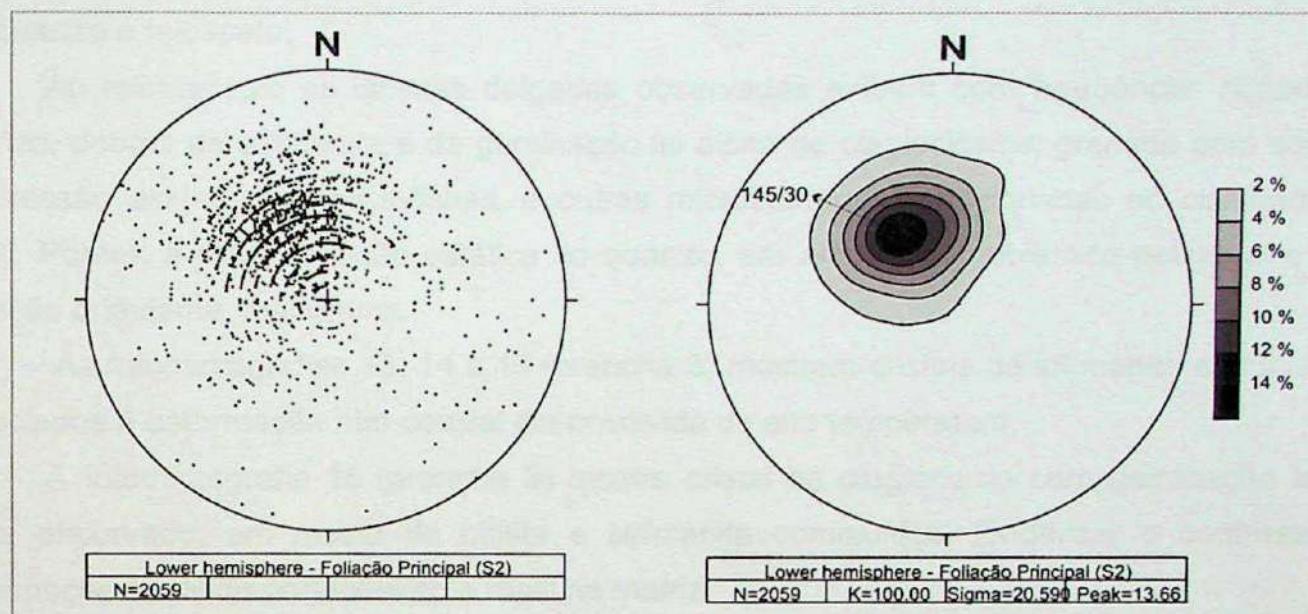


Figura 12: Estereogramas (a) pólos de foliação S_2 na *Nappe Lima Duarte* e (b) diagrama de freqüência; N= número de medidas.

As dobras relacionadas a esta fase de deformação são recumbentes, vergentes para NW (figura 13). No mapa há o registro desta fase na região sul, a oeste da Serra Negra.



Fotografia 13: Dobra recumbente D_2 destacada por quartzo na vertente norte da Serra Negra

Transição fase dúctil- fase rúptil: Microestruturas

Microestruturas observadas em lâminas delgadas podem registrar os diferentes estágios de cristalização mineral. Em condições metamórficas de mais alta temperatura, associadas a cisalhamento dúctil, ocorre deformação plástica de determinadas fases minerais, como por exemplo quartzo, feldspato e micas. Quando em temperatura mais baixa, a deformação pode gerar cominuição de micas (biotita e muscovita), fraturas e domínios ou mantos com sub-grãos em quartzo e feldspato.

Ao microscópio as lâminas delgadas observadas exibem com freqüência: *ribbons* de quartzo, dobras de sillimanita e da geminação lei albita de plagioclásios, granada com sombra de pressão assimétrica, *mica-fishes*, e outras microestruturas relacionadas ao cisalhamento dúctil. Porém, a recristalização estática do quartzo, em arranjo granoblástico poligonal e sem extinção ondulante, predomina.

As fotomicrografias 13, 14 e 15 (prancha 3) mostram cristais de sillimanita encurvados, associados à deformação não-coaxial desenvolvida de alta temperatura.

A fotomicrografia 16 (prancha 3) mostra cristal de plagioclásio com geminação lei da albita encurvado, em matriz de biotita e sillimanita cominuídos. Evidencia o contraste de deformação dúctil do porfiroblasto e rúptil na matriz.

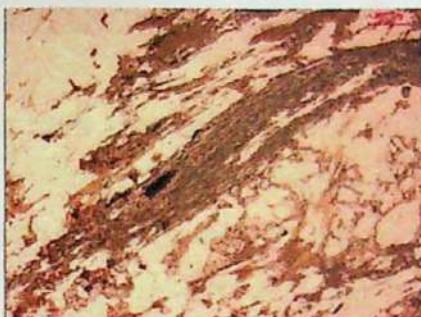
A fotomicrografia 17 (prancha 3) mostra cristais de plagioclásio com a geminação lei da albita encurvada, biotita em cristais grandes e *ribbons* de quartzo recristalizados com arranjo poligonal.

A fotomicrografia 18 (prancha 3) exibe cristais de sillimanita em arranjo S-C. Registra o caráter mais rúptil da deformação.

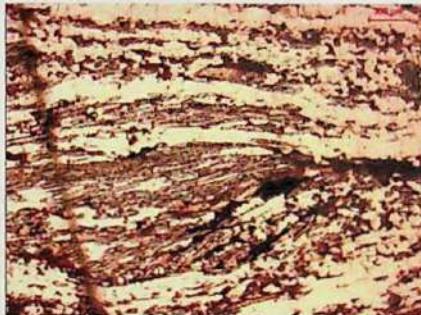
As fotomicrografias 19 e 20 (prancha 3) exibem *ribbons* de quartzo, em matriz de biotita cominuída.

Do exposto conclui-se que a foliação S_2 na Nappe Lima Duarte pode ser caracterizada como uma foliação gerada por cisalhamento dúctil, que imprime um caráter milonítico, principalmente nas unidades metassedimentares. Ocorre recristalização posterior, tendo como evidência o quartzo poligonizado e na maior parte das vezes sem extinção ondulante. O cisalhamento rúptil age gerando a cominuição de biotita e sillimanita, e domínios de sub-grãos de quartzo e feldspato.

Prancha 3



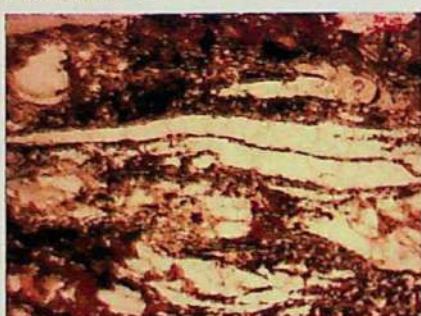
Fotomicrografia 13: Sillimanita encurvada alternada com ribbons de quartzo recristalizados. Polarizadores paralelos. Lâmina SB-VII-149. Ponto 2201.



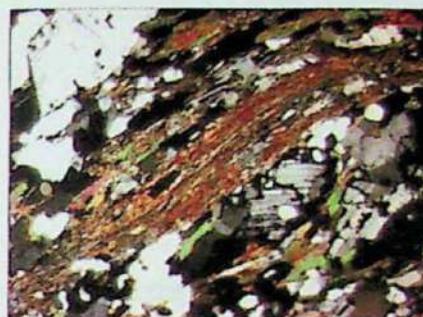
Fotomicrografia 15: Sillimanita encurvada em rocha gnáissica paraderivada milonitzada. Polarizadores paralelos. Lâmina SB-VII-149. Ponto 2201.



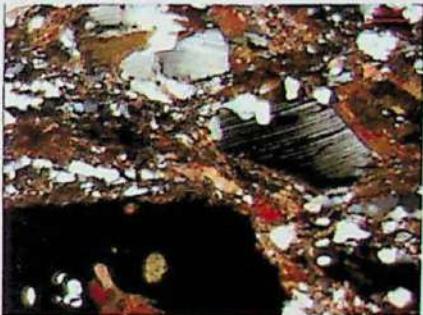
Fotomicrografia 17: Plagioclásio com geminação leia da albita encurvada, biotita encurvada e quartzo em ribbons. Polarizadores cruzados. Lâmina SB-VII-149. Ponto 2201.



Fotomicrografia 19: Ribbons de quartzo, recristalizado, em matriz de biotita cominuída. Polarizadores paralelos. Lâmina SB-VI-112. Ponto 2017.



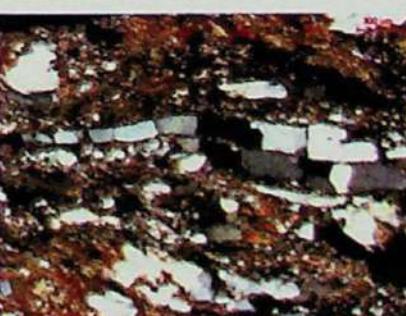
Fotomicrografia 14: Sillimanita encurvada alternada com ribbons de quartzo recristalizados. Polarizadores cruzados. Lâmina SB-VII-149. Ponto 2201.



Fotomicrografia 16: Plagioclásio com geminação leia da albita encurvada em matriz de biotita e sillimanita cominuídos. Polarizadores cruzados. Lâmina SB-VII-149.



Fotomicrografia 18: Sillimanita em arranjo S-C. Polarizadores paralelos. Lâmina SB-VII-73c. Ponto 2125.



Fotomicrografia 20: Ribbons de quartzo, recristalizado, em matriz de biotita cominuída. Polarizadores cruzados. Lâmina SB-VI-112. Ponto 2017.

Evento tardi-metamórfico

Terceira fase de deformação (D_3)

Pode ser identificada como xistosidade oblíqua ao bandamento gnáissico e clivagem oblíqua nos quartzitos, originada por dissolução por pressão

A intensidade desta fase foi menor que a anterior. Localmente deforma a foliação S_2 .

A dobra observada no mapa, representada na seção F-F' da figura 8, regista esta fase de deformação. É uma sinforma, quase-cilíndrica, inclinada e vergente para NNW, com orientação axial contruída de 80/21. Possui comprimento de onda de 2,5 km, com amplitude de 1,8km. O estereograma da figura 14 mostra a dispersão das medidas S_2 , na zona de charneira, que caracteriza esta fase de deformação.

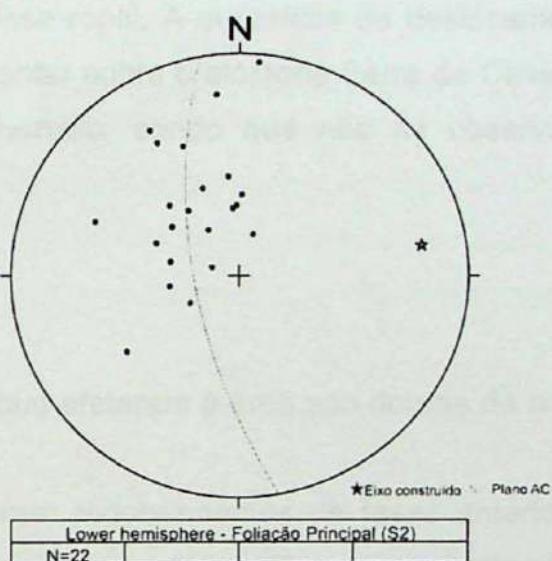


Figura 14: estereograma de projeção polar da foliação principal, Dobra da fase D_3 N = número de medidas

A seção geológica F-F' mostra falha inversa que trunca a dobra em flanco sul da sinforma, na região da inflexão da dobra.

Deformação rúptil – sistema de cavalgamento

A fase da tectônica rúptil é a transição do estágio de *nappe* sin-metamórfica. Grande parte dos contatos mapeados são discordantes da foliação metamórfica, e constituem a maior evidência de que são contatos tectônicos.

As seções geológicas da figura 8 ilustram o sistema de cavalgamento. Foram construídas segundo orientação próxima da direção regional de transporte.

O sistema de cavalgamento, organizado em duplex, apresenta duas escamas denominadas Serra da Caveira e Serra Negra, e três superfícies principais de descolamento,

duas das quais recebem os mesmos nomes das escamas, e a superfície de descolamento basal. Os descolamentos basais e de teto são relativos à área estudada, regionalmente pode haver outras superfícies de descolamento que são desconhecidas até o presente trabalho. O descolamento basal se desenvolveu em rochas da infra-estrutura gnáissica. Este descolamento pode colocar em contato tectônico, por meio de rampas, pacotes de rochas da infra-estrutura gnáissica com unidades metassedimentares. A superfície de descolamento intermediária, Serra da Caveira ocorre no contato da base das unidades metassedimentares com o Gnaiss Mantiqueira. Em geral a unidade basal (sillimanita-muscovita-biotita-quartzo gnaiss) cavalga a infra-estrutura gnáissica, mas localmente pode-se observar que o contato tectônico se dá através de outras unidades (quartzito ou sillimanita-granada-biotita gnaiss), ambos exemplos no perfil C-C'. Este fato pode ser explicado por deformações ou dobras pré-existentes, as quais foram truncadas durante a fase rúptil. A superfície de deslocamento de teto ou Serra Negra repete o pacote metassedimentar sobre o alóctone Serra da Caveira. A unidade que ocorre na base desta escama é o quartzito, sendo que não foi observada a unidade da base da seqüência.

Fases tardias

As estruturas tardias que afetaram a área são dobras de orientação leste-oeste e norte-sul e falhas normais.

As dobras tardias geram redobramentos de fases anteriores, e também deformam a superfície de cavalcamento localmente. Na região que compreende a *Nappe Andrelândia*, elas são as estruturas mais expressivas pois afetam todas as unidades, conforme pode ser observado no mapa e em perfis. Não há evidência, por critério de superposição, de qual fase é anterior no registro.

a) Dobras de eixo N-S

As figuras 15 e 16 revelam uma dispersão de medidas da foliação principal compatíveis com esta fase de dobramento tardia, com eixos de fraco cimento para sul e planos-axiais N-S, subverticais. As dobras são aproximadamente cilíndricas.

O estereograma da figura 15 refere-se a dobramento que ocorre a oeste da *nappe*. Mostra dois possíveis alinhamentos, ambos com eixo N-S. A seção geológica C-C' (figura 8) atravessa a dobra, com traço paralelo ao plano axial. As unidades que estão dobradas são o quartzito e o sillimanita-granada-biotita gnaiss metatexítico.

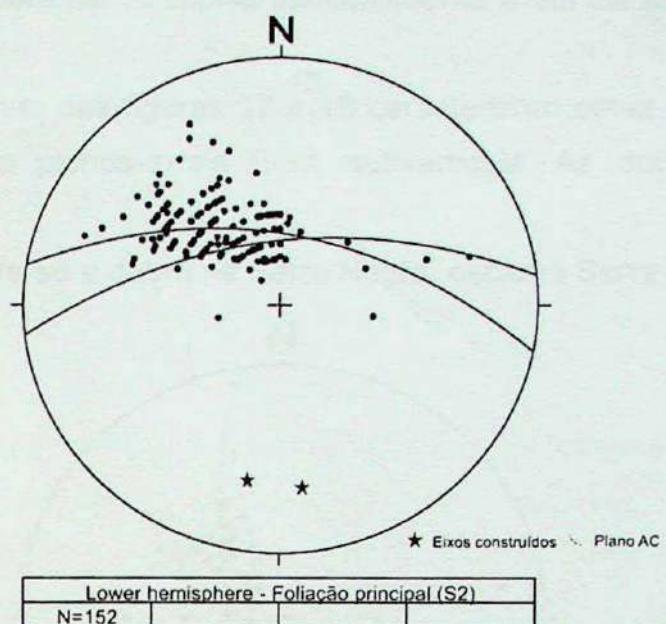


Figura 15: estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na Nappe Lima Duarte. Há dois alinhamentos do plano AC principais, ambos E-W. N = número de medidas

O estereograma da figura 16 caracteriza dobra que ocorre a norte do dobramento descrito anteriormente, que também é atravessado pela seção geológica C-C'. Envolve as unidades do quartzito e sillimanita-muscovita-biotita-quartzo gnaisse.

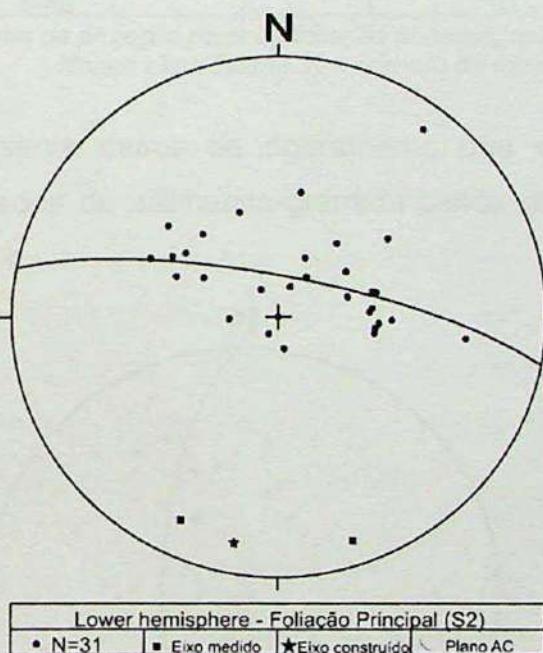


Figura 16: estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na Nappe Lima Duarte. N = número de medidas

b) Dobras de eixo E-W

Esta fase de dobramento ocorre principalmente a sul da área, na Serra Negra e a sul dela.

Os estereogramas das figuras 17 e 18 caracterizam estas dobras, com eixos de fraco cainmento para leste e planos-axiais E-W, subverticais. As dobras são aproximadamente cilíndricas.

A figura 17 refere-se a dobra na Serra Negra, escama Serra Negra, e afeta o quartzito.

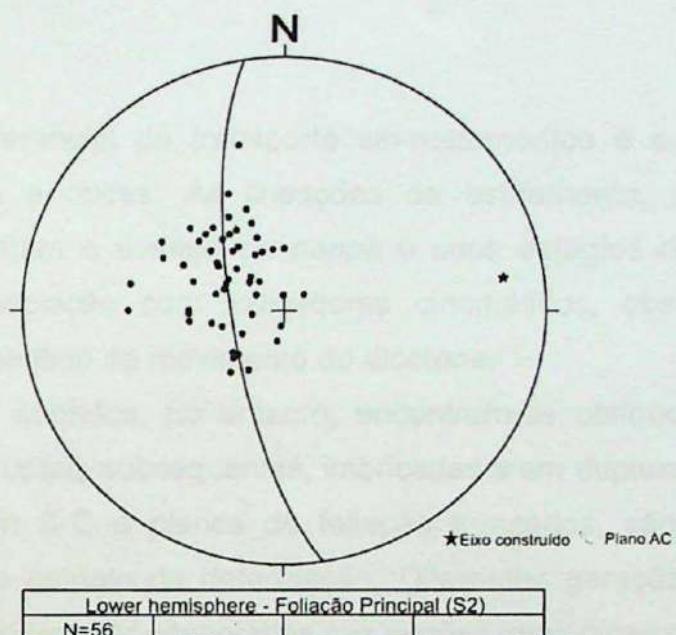


Figura 17: estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na Nappe Lima Duarte. N = número de medidas

A figura 18 apresenta dados de dobramento que ocorre no extremo sul da área mapeada, afetando unidades do sillimanita-granada-biotita gnaisse homogêneo e (granada)-biotita gnaisse metatexítico.

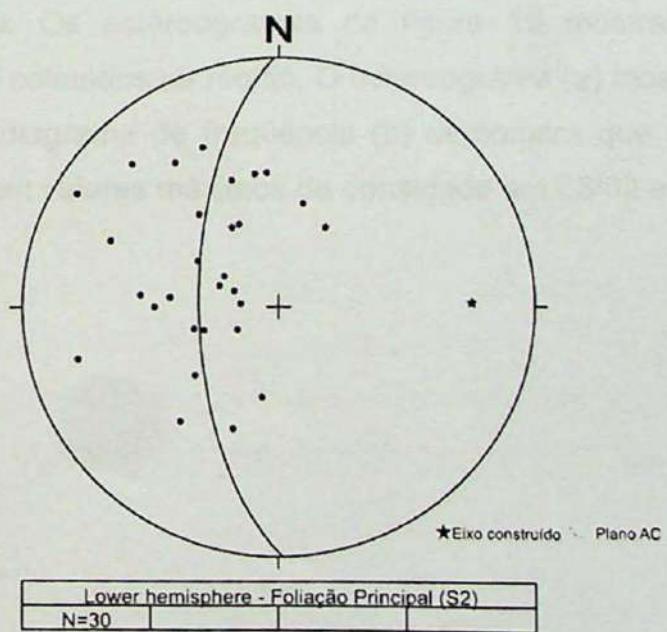


Figura 18: estereograma de projeção polar da foliação principal, mostrando dobra de fase tardia na Nappe Lima Duarte. N = número de medidas

Não é possível estabelecer a seqüência cronológica destas fases de dobramento. Há uma possibilidade de ambas terem se desenvolvido sob a ação de mesmo campo de esforços, quando os componentes horizontais de esforços atuam em encurtamento, para direções perpendiculares, e a componente vertical de esforço (pressão litostática) atua com intensidade diferente.

6.4 Cinemática

A direção preferencial de transporte sin-metamórfico é evidenciada pelas lineações minerais a sillimanita e micas. As lineações de estiramento, no geral tardias ao auge metamórfico, representam o avanço da *nappe* e seus estágios de rompimento em sistema cavalgamento. A associação com indicadores cinemáticos, observados no plano XZ de deformação, indica o sentido de movimento do alóctone.

A maioria dos contatos, no entanto, encontram-se oblíquos à foliação metamórfica, indicando superfícies rúpteis subsequentes, imbricadas e em duplexes (ver seções geológicas). Superfícies rúpteis em S-C e planos de foliação truncados, são os principais indicadores cinemáticos para esse estágio da deformação. Diferentes gerações de truncaturas entre as unidades geológicas podem ser observadas nas seções geológicas da figura 8.

6.4.1 Nappe Andrelândia

Na região que comprehende a *Nappe Andrelândia*, as fases de dobramentos deformam a foliação intensamente. Estas estruturas reorientam, em estágios tardios, as lineações previamente formadas. Os estereogramas da figura 19 mostram os dados lineação de estiramento ou mineral coletados na região. O estereograma (a) mostra uma certa dispersão de dados, no entanto, o diagrama de freqüência (b) demonstra que a direção preferencial das lineações é NE-SW, com valores máximos de densidade em 53/02 e 232/03.

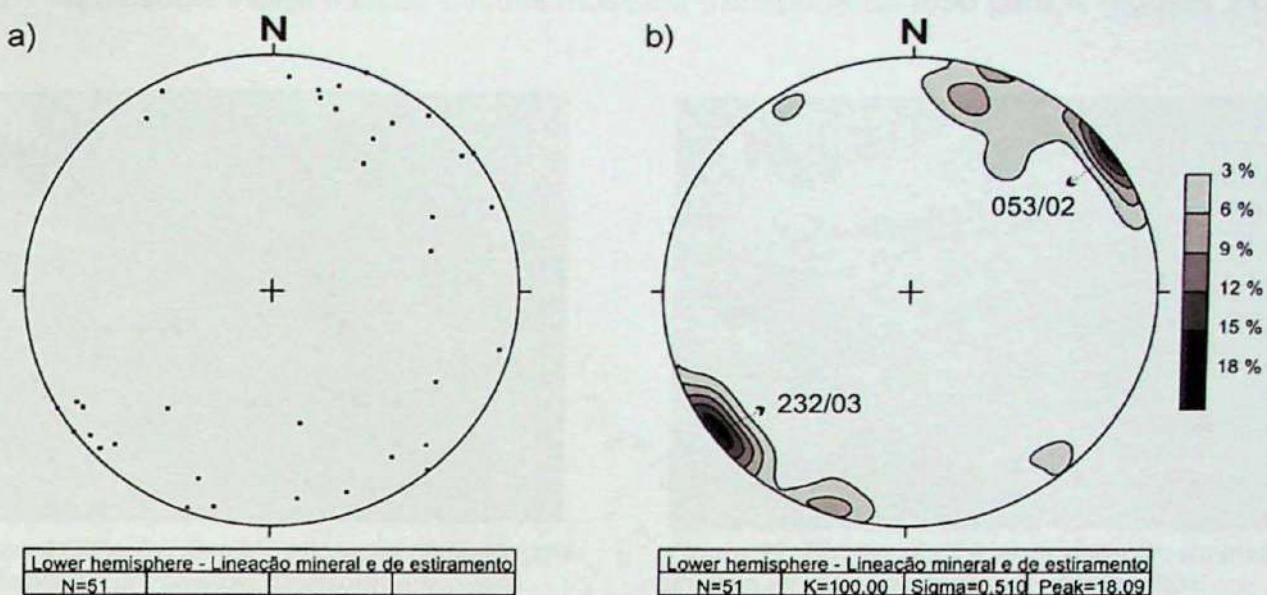


Figura 19: Estereogramas (a) lineação mineral e de estiramento na Nappe Andrelândia (b) diagrama de freqüência; N= número de medidas.

Indicadores cinemáticos rúpteis observados em campo indicam sentido de movimento de topo para NE (figura 20).



Figura 20: Par S-C indicando transporte de topo para norte. Nappe Andrelândia

6.4.2 Nappe Lima Duarte

Independente da maior complexidade da deformação e intensa fusão parcial das unidades ortognáissicas da infraestrutura da pilha alóctone, a foliação metamórfica regional está associada à deformação não-coaxial, por cisalhamento dúctil e é, na geometria, orientação e no registro metamórfico, correlata a foliação metamórfica da pilha metassedimentar.

Indicadores cinemáticos dúcteis mostram transporte de topo para N (figuras 21 e 22).



Figura 21: Porfioclastos manteados do tipo sigma de feldspato em gnaisse tonalito-trondjemítico. Transporte de topo para NNW (lineação 175/30).



Figura 22: Boudin sigmoidal de anfibolito em meio a gnaisse tonalito-trondjemítico e migmatítico. Transporte de topo N (lineação 172/22).

O mapa simplificado de domínios estruturais (figura 23) mostra a orientação estatística preferencial de linhação de estiramento e mineral para cada setor. Nota-se a homogeneidade das orientações na Nappe Lima Duarte, com amplo predomínio de atitudes com cimento para sul.

Somente no domínio 3, que corresponde à escama de cavagem Serra da Caveira, a orientação estatística preferencial é para SW, oblíqua, portanto, à direção principal regional.

Devido à homogeneidade de atitudes, foram elaborados os estereogramas a e b da figura 24, que mostram todos os dados linhação de estiramento e mineral, coletados na área de estudo. O estereograma (a) mostra que há uma certa dispersão nos dados, no entanto, o diagrama de freqüência (b) demonstra que há um cimento preferencial das linhações para S, com valor máximo de densidade em 176/27.

Domínios estruturais para linhagens mineral e de estiramento

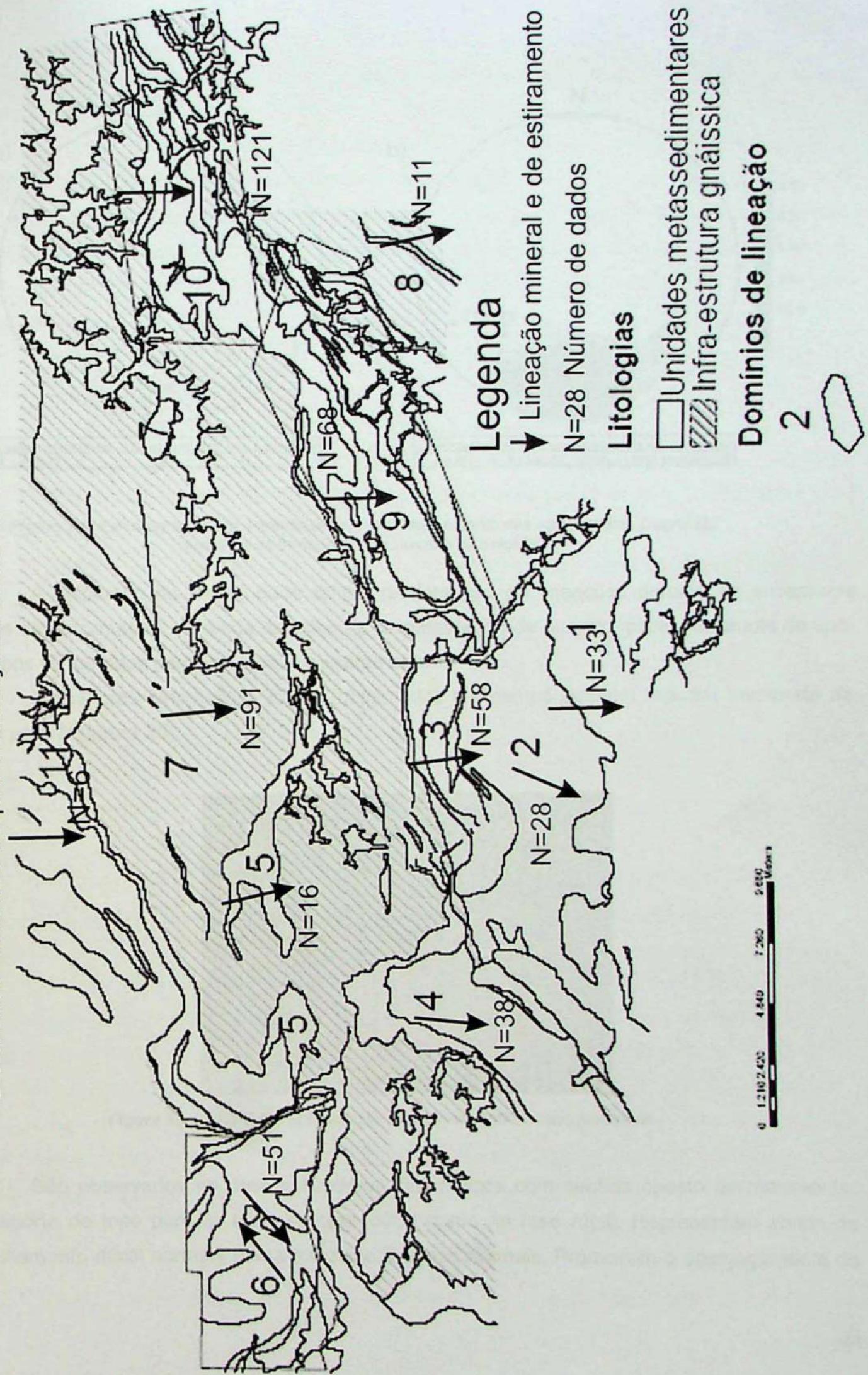


Figura 23: Mapa simplificado com domínios estruturais para lineações mineral e de estiramento

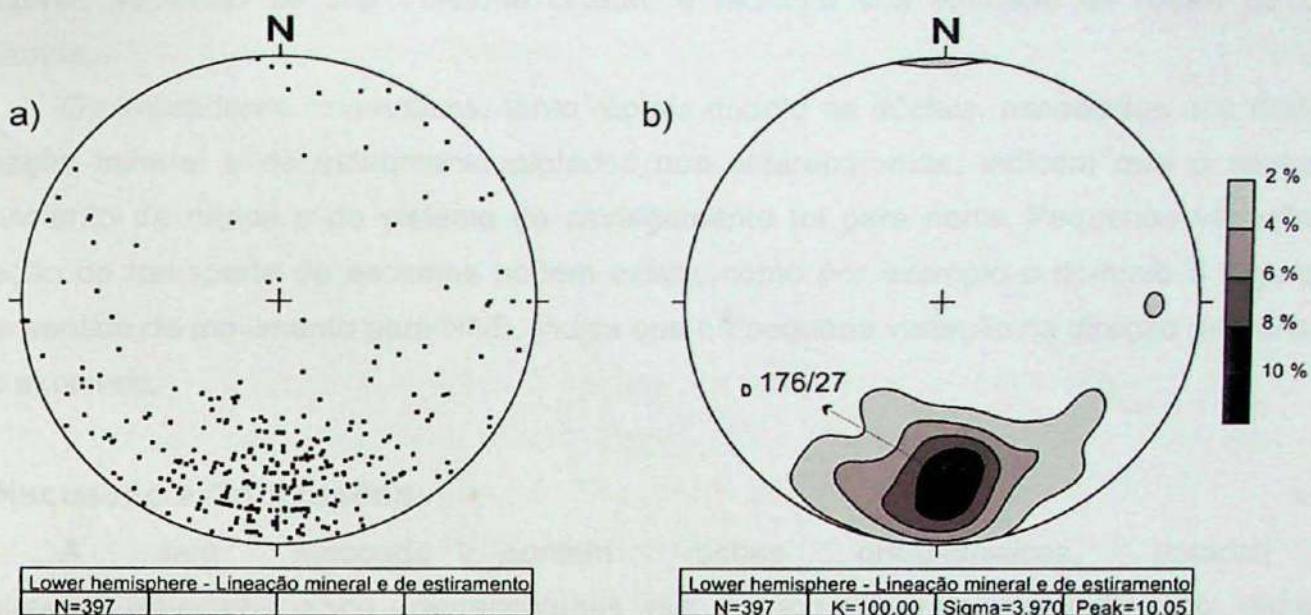


Figura 24: Estereogramas (a) lineação mineral e de estiramento nas nappes Lima Duarte (b) diagrama de freqüência; N= número de medidas.

A dispersão de dados pode refletir reorientação de lineações durante as sucessivas fases de deformação, ou ainda direções de recristalização de quartzo, como estruturas do tipo-mulions B, tomados como lineação de estiramento.

Indicadores cinemáticos rúptis observados em campo também indicam transporte de topo para N (figura 25).

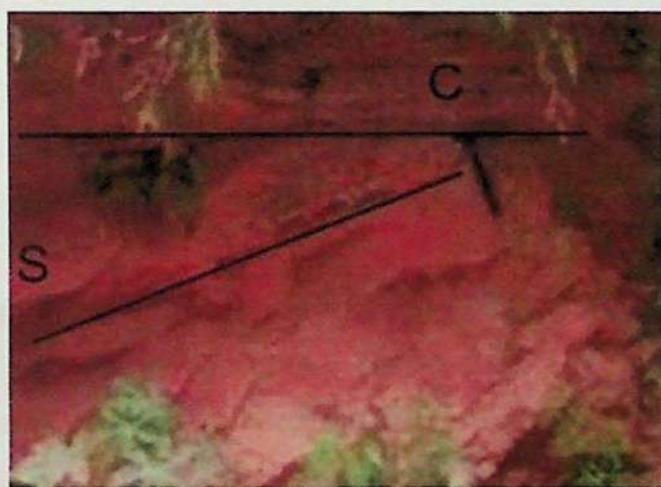


Figura 25: Par S-C em ortognaisse. Transporte rúptil de topo para norte.

São observados na área indicadores cinemáticos com sentido oposto de movimento, transporte de topo para S, tanto na fase dúctil como na fase rúptil. Representam zonas de cisalhamento dúctil normais e sua transição a falhas normais. Promovem o adelgaçamento do

alóctone, ao longo de sua trajetória crustal, e facilitam sua extrusão de níveis de crosta profunda.

Os indicadores cinemáticos, tanto rúpteis quanto os dúcteis, associados aos dados de lineação mineral e de estiramento plotados nos estereogramas, indicam que o sentido de movimento da *nappe* e do sistema de cavalgamento foi para norte. Pequenas variações na direção do transporte de escamas podem existir, como por exemplo o domínio 3 (figura 23), com sentido de movimento para NNE. Indica que há pequena variação na direção de transporte das escamas.

7 Discussão e Conclusões

A área mapeada contém rochas ortognáissicas, datadas do Arqueano/Paleoproterozóico, representadas por granodiorito-tonalito-trondhjemito gnaisses, com *boudins* de anfibolitos. São recobertos tectonicamente por uma pilha metassedimentar constituída de quartzitos e metapelitos de fácies anfibolito superior com anatexia.

A história evolutiva pode ser resumida em dois estágios principais: o de nappé sin-metamórfica e sua transição para o estágio de sistema de cavalgamento. O primeiro estágio está registrado na foliação S_2 , milonítica recristalizada, com metamorfismo em fácies anfibolito superior representado por paragênese de biotita + sillimanita + granada + k-feldspato. Associados, ocorrem bandas e veios de leucossoma, com delgado melanossoma de biotita na borda. O segundo estágio é registrado por estruturas rúpteis tardias, marcadas por contatos discordantes da foliação metamórfica.

O metamorfismo das unidades metassedimentares foi estimado em temperatura cerca de 750-770°C e pressão em torno de 6 Kbar

No domínio mapeado que compreende a *Nappe Andrelândia*, a configuração da área é dada principalmente por dobras tardias aos cavalgamentos, que são responsáveis por redobramentos.

O domínio da *Nappe Lima Duarte* apresenta uma regularidade na atitude da foliação, com mergulhos de baixo a médio ângulo para sudeste. A infra-estrutura gnáissica apresenta a foliação principal S_3 , correlata na orientação e metamorfismo com a foliação regional S_2 presente na pilha metassedimentar. São destacadas as superfícies de cavalgamento, que reorganizam as unidades em duplexes e imbricados. Foram propostas duas escamas de cavalgamento, denominadas Serra da Caveira e Serra Negra, com três superfícies principais de descolamento (basal, intermediária e de teto). O descolamento basal se desenvolveu em rochas da infra-estrutura gnáissica. Este coloca em contato tectônico, por meio de rampas, pacotes de rochas da infra-estrutura gnáissica com unidades metassedimentares. A superfície de descolamento intermediária ocorre no contato da base das unidades

metassedimentares com a infra-estrutura gnáissica. A superfície de descolamento de teto repete as unidades metassedimentares. As escamas de cavalgamento são rompidas por imbricações da infra-estrutura gnáissica.

A *Nappe* Andrelândia cavalga a *Nappe* Lima Duarte. Apenas localmente um imbricado da *Nappe* Lima Duarte cavalga a *Nappe* Andrelândia.

Dobras tardias deformam localmente as superfícies de cavalgamento.

As lineações de estiramento, são no geral tardias ao auge metamórfico. A associação com indicadores cinemáticos indica o sentido de movimento do alóctone Lima Duarte para norte. O sentido de movimento da *Nappe* Andrelândia é para nordeste. Ambas possuem sentido de deslocamento para o Cráton do São Francisco. São reconhecidos indicadores cinemáticos com sentido oposto de movimento, transporte de topo para sul. Representam zonas de cisalhamento dúctil normais e sua transição a falhas normais. Promovem o adelgaçamento do alóctone, ao longo de sua trajetória crustal, e facilitam sua extrusão de níveis de crosta profunda.

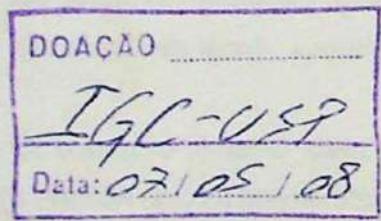
Por fim, a última expressão tectônica registrada na região são as falhas normais de orientação NW-SSE.

8 Referências Bibliográficas

- BEHRMANN, J.H. & MAINPRICE, D. 1987. Deformation mechanisms in a high temperature quartz-feldspar mylonite: evidence for superplastic flow in the lower continental crust. *Tectonophysics*, **140**: 297-305.
- BOYER, S.E. & ELLIOT, D. 1982. Thrust Systems, *AAPG Bul.*, **66**(9): 1196-1230.
- BRITO NEVES, B.B.; CAMPOS NETO, M.C. & FUCK, R.A., 1999. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes*, **22**: 155-166.
- BUTLER, R.W.H. 1982. The terminology of structures in thrust belts, *J. Str. Geol.* **4**(3): 239-245.
- CAMPOS NETO, M.C., 2000. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana, an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and Orogenic Collage in Southeastern Brazil. *Tectonic Evolution in South America*, 335-365.
- CAMPOS NETO, M.C.; BASEI, M.A.S.; VLACH, S.R.F.; CABY, R.; SZABÓ, G.J. & VASCONCELOS, P. 2004. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: Um esboço da colagem brasileira no sul do cráton do São Francisco, SE-Brasil. *Geologia USP*, **4** (1): 13-40.
- CAMPOS NETO, M.C. 2006. Análise estratigráfica, paleoambiental e correlações regionais em terrenos proterozóicos: do pré-soterramento a exumação, metodologia de estudo. *FAPESP 02/03131-4, Relatório Final (inédito)*.

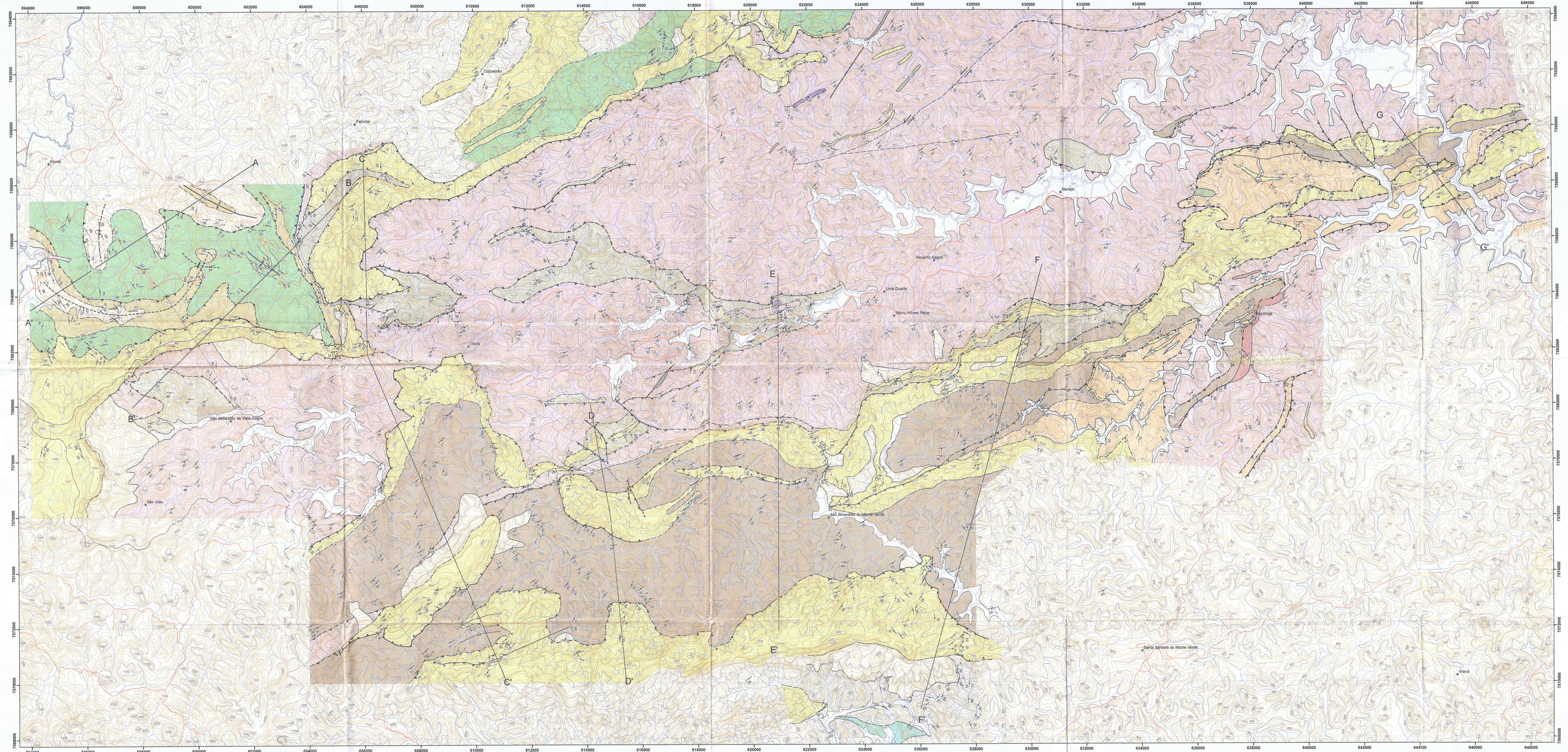
- CAMPOS NETO, M.C.; JANASI, V.A.; BASEI, M.A.S. & SIGA JUNIOR, O., (inédito). Sistema de Nappes Andrelândia, setor oriental: Litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geologia*, submetido.
- DENNIS, J.G., 1981. *What is a thrust? What is a nappe?*, Thrusts and Nappe Tectonics, *The Geological Society of London*.
- EBERT, H. 1955. Pesquisas geológicas na parte sudoeste de Minas Gerais. *Relatório Anual do Diretor. Geol. Min.* p. 62-81.
- EBERT, H. 1956. Pesquisas geológicas na parte sudoeste de Minas Gerais. *Relatório Anual do Diretor. Geol. Min.*, p. 97-107, 136-137.
- EBERT, H. 1968. Ocorrência da fácie granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipótese sobre sua origem. *An. Acad. Brasil. Ciênc.*, **40**, Suplemento, p. 215-229.
- FIGUEIREDO, M.C.H. & TEIXEIRA, W., 1996. The Mantiqueira metamorphic complex, eastern Minas Gerais State: preliminary geochronological and geochemical results. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**, 223-246.
- FISCHEL, D.P.; PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A.; COSTA, A.G. & ROSIERE, C.A., 1998. Geology and Sm-Nd isotopic data for the Mantiqueira and Juiz de Fora complex (Ribeira Belt) in the Abre Campo-Manhuaçu region, Minas Gerais, Brazil. In: *14th International Conference on Basement Tectonics*, 1998, Ouro Preto, Brazil, Abstracts, 21-23.
- FRITZ, H.; DALLMEYER, R.D. & NEUBAUER, F. 1996. Thick skinned versus thin-skinned thrusting: Rheology controlled thrust propagation in the Variscan collisional belt (The southeastern Bohemian Massif, Czech Republic – Austria), *Tectonics*, **15**(6): 1389-1413.
- GAMOND, J.F. 1983. Displacement features associated with fault zones: a comparison between observed examples and experimental models, *J. Str. Geol.* **5**(1): 33-45.
- GAMOND, J.F. 1987. Bridge structures as sense of displacement criteria in brittle fault zones, *J. Str. Geol.* **9** (5/6): 609-620.
- GHOSH, S.K., HAZRA, S. & SENGUPTA, S. 1999. Planar, non-planar and refolded sheath folds in the Pulad Zone, Rajasthan, India, *J. Str. Geol.* **21**:1715-1729.
- HANMER, S. & PASSCHIER, C. 1991. Shear sense indicators: a review, Geological Survey of Canada, Paper 90-17.
- HARRIS, L.B. 2003. Folding in high-grade rocks due to back-rotation between shear zones, *J. Str. Geol.*, **25**:223-240.
- LIN, W. & WILLIAMS, P.F. 1992. The Geometrical relationship between the stretching lineation and the movement direction of shear zones, *J. Str. Geol.* **14** (4): 491-497.
- MANTOVANI, M.S.M. & BRITO NEVES, B.B. 2005. The Paranapanema Lithospheric Block: Its importance for Proterozoic (Rodinia, Gondwana) Supercontinent theories. *Gondwana Research*, **8**, (3): 303-315.
- PASSCHIER, C.W. & TROUW, R.A.J. 1996. Microtectonics. Springer: 289pp.

- PETIT, J.P. 1987. Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks, *J. Str. Geol.* **9** (5/6):597-608.
- PINTO, C.P.; BRANDALISE, L.A.; SOUZA, H.A.; VASCONCELLOS, BR.M.; BARRETO, E.L.; DIS GOMES, R.A.A.; CARVALHAES, J.B.; PADILHA, A.V.; HEINECK, C.A. & GROSSI SAD, J.H. 1991. Lima Duarte, Folha SF.23-X-C-VI, Estado de Minas Gerais. MIE-DNPM, Progr.Levant. Geol.Bás., CPRM, 201p.
- PLATT, J.P. & VISSERS, R.L.M. 1980. Extensional structures in anisotropic rocks, *J. Str. Geol.* **2** (4): 397-410.
- RAMSAY, J.G. 1982. Rock ductility and its influence on the development of tectonic structures in mountain belts, in *Hsu, K.I. (ed), Mountain Building Processes, Academic Press*:111-127.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I. 1983. *The techniques of Modern Structural Geology, Volume 1: Strain Analysis*. Academic Press: 1-305.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I. 1987. *The techniques of Modern Structural Geology. Volume 2: Folds and Fractures*. Academic Press: 309-700.
- SHAOCHENG, J. & MAINPRICE, D. 1990. Recrystallization and fabric development in plagioclase, *J. Geol.* **98**:65-79.
- SILVA, L.C.; MCNAUGHTON, N.J.; ARMSTRONG, R.; HARTMANN, L.A. & FLECHER, I.R. 2005. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U-Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens, *Precambrian Research*, **136**: 203-240.
- SPEAR, F.S.; 1995. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. *Mineralogical Society of America*, 2^a edição:799 pp.
- SPEAR, F. S., KONH, M. J., CHENEY, J. T. 1999. P-T paths from anatetic pelites. *Contributions to Mineral Petrology*, **134**:17-32.
- TANNER, P.W.G., 1992. The duplex model: Implications from a study of flexural-slip duplexes, in: MCCLAY, K.R. (ed), 1992, *Thrust Tectonics*, Champman & Hall.
- TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F., VALERIANO, C.M.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M. & ANDREIS, R.R. 2000. The central segment of Ribeira Belt. *Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro, 2000: 287-310.
- TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V.P. 1983. Geologia estrutural dos Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, Sul de Minas Gerais. *Anais da Academia brasileira de Ciências*, **55** (1): 71-85.
- VANDECAR, J.C.; JAMES, D.E. & ASSUMPÇÃO, M. 1995. Seismic evidence for a fossil mantle plume beneath South America and implications for plate driving forces, *Nature*, **378**:25-31.
- VILELA, L.G.G. 2000. Petrografia, geotermobarometria e evolução metamórfica de granulitos básicos de alta pressão e rochas transicionais para fácies eclogito na região de Lima Duarte, MG. *Dissertação de Mestrado*, IG-USP: 180 pp.



GEOLOGIA DA NAPPE LIMA DUARTE

21066
INSTITUTO DE GEOCIENCIAS - USP
- BIBLIOTECA -



Legenda

Convenções Cartográficas

- Sedes Municipais
- Limite de municípios
- Drenagens
- Cotas altimétricas
- Rodovias

Convenções Geológicas

- Foliação metamórfica
- ↑ Lineação de estiramento mineral e lineação mineral
- Contato geológico normal, inferido onde tracejado
- Falha ou zona de cisalhamento normal, hachuras no bloco abatido
- Falha ou zona de cisalhamento compressional, inferida onde tracejado (triângulos no bloco superior)
- Falha ou zona de cisalhamento transcorrente dextral
- Falha ou zona de cisalhamento transcorrente sinistral
- Anticlinal ou antiforme
- Sinclinal ou siniforme
- Siniforme invertida
- Dique
- Seção Geológica

Litotipos

Neógeno

- Aluvião
- Covilão

Cretáceo

- Diorito e diabásio

Neoproterozóico

Nappe Andrelândia

- Granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto intercalado com muscovita quartzo médio
- Granada-biotita gnaissé
- Granada-sillimanita-muscovita-biotita-quartzo xisto

Nappe Lima Duarte

- Biotita-granito-gnaissé porfiroblástico
- Granada-biotita gnaissé metatextítico
- Anfibolito
- Sillimanita-granada-biotita gnaissé metatextítico
- Ortoquartzo muito grosso, localmente com muscovita e feldspato
- Sillimanita-muscovita-biotita-quartzo gnaissé e Granada-sillimanita-biotita-muscovita-quartzo gnaissé
- (Granada)-biotita gnaissé metatextítico
- Metaultramárfica
- Sillimanita-granada-biotita gnaissé diatextítico

Paleoproterozóico/ Arqueano

- Hornblenda-biotita granodiorito-tonalito-trondjemito gnaissé metatextítico com boudins de metamárficas; biotita-tonalito gnaissé metatextítico; indívidos

TRABALHO DE FORMATURA - TF 07/12

"De nappe sin-metamórfica a sistema de cavalgamento: evolução estrutural de uma seção da nappe Lima Duarte, sul do Cráton do São Francisco."

Aluna: Daina Popic Bendoraitis

Orientador: Mario da Costa Campos Neto

ESCALA

0 500 1.000 2.000 3.000 4.000 Meters

Bases planis-almirantes - 1:50.000 - IBGE
Folhas: Bom Jardim de Minas (SF-23-X-C-V-4),
Lima Duarte (SF-23-X-C-V-5),
Santa Bárbara do Monte Verde (SF-23-X-C-V-6)
Equivaleência das curvas de nível: 20m
Projecção UTM (Transversa de Mercator)
Referência Horizontal: Corrêgo Alegre, MG, fuso 23K



Articulação das folhas

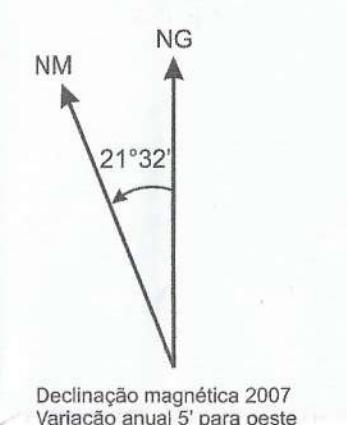
ANDRELÂNDIA	SANTANA DO GARAMBUJU	SANTARITA DO IBITIPICA	ESVANÉZIA DA CÂMARA	JUZ DE FORA
ARANTINA	BOM JARDIM DE MINAS	LIMA DUARTE	MARIA SÁBIA DO MONTE VERDE	MATIAS BARBOSA
LIBERDADE	SANTARITA DE JACINTINA	RIO PRETO	VALÉNCIA	PARAIÁ DO SUL

Integração geológica

Mario da Costa Campos Neto
Daina Popic Bendoraitis

Geologia por

Mario da Costa Campos Neto, Renato de Moraes, Oswaldo Siga Júnior, Marcos Egydio Silva, Maria da Glória Motta Garcia, Gergely Szabó, Daina Popic Bendoraitis, Brenda Chung da Rocha, Caúê Rodrigues Cioffi, Vinícius Tieppo Meira, Bruno Oliveira Calado e estudantes da disciplina 0440420
Mapeamento Geológico 2006 e 2007



Declinação magnética 2007
Variação anual 5' para oeste

Mapa de pontos



TRABALHO DE FORMATURA - TF 07/12

De nappe sin-metálmica a sistema de cavagem: evolução estrutural de uma seção da nappe Lima Duarte, sul do Cráton do São Francisco.

Aluna: Daina Popic Bendoraitis

Orientador: Mario da Costa Campos Neto



ESCALA

0 500 1.000 2.000 3.000 4.000 Meters

Bases plani-altimétricas 1:50.000 - IBGE
Folhas: Bom Jardim de Minas (SF23-X-C-V4),
Lima Duarte (SF23-X-C-V1-3),
Santa Bárbara do Monte Véu (SF23-X-C-V1-4)
Equidistância das curvas de nível: 20m
Projeção UTM (Transversa de Mercator)
Referência Horizontal: Córrego Alegre, MG, fusão 23K

Integração geológica

Mario da Costa Campos Neto
Daina Popic Bendoraitis

Geologia por

Mario da Costa Campos Neto, Renato de Moraes, Oswaldo Siga Júnior,
Marcos Egydio Silva, Maria da Glória Motta Garcia, Gergely Szabó,
Daina Popic Bendoraitis, Brena Chong da Rocha, Caué Rodrigues Cioffi,
Único Tepke, Ana Paula Oliveira Calado e estudantes da disciplina 0440420
Mapeamento Geológico 2006 e 2007

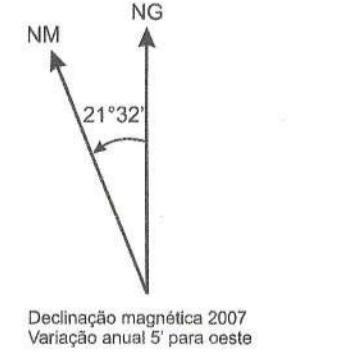


Articulação das folhas

ANDRELÂNDIA	SANTANA DO GAMA	SANTANA DO IMPÉRIO	ESVÁNIA DA CÂMARA	JAZ DE PORA
ARANTINA	BOM JARDIM DE MINAS	LIMA DUARTE	PORTO RICHO	MATIAS BARBOSA
LIRENDA	SANTA RITA DE JACUÍPEA	RIO PRETO	VALINCA	PARNABA DO RIO

Convenções cartográficas

- Drenagens
- Colas altimétricas
- Rodovias



Símbolos

- Sede dos municípios
- Ponto de aforamento descrito
- Ponto com lâmina

