



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EVOLUÇÃO CRUSTAL
E RECURSOS NATURAIS**

Área de Concentração: Geologia Estrutural/Tectônica

**ESTRATIGRAFIA E ARCABOUÇO ESTRUTURAL DA
REGIÃO DE FÁBRICA NOVA, QUADRILÁTERO
FERRÍFERO, MINAS GERAIS.**

Daniel Quinaud Rossi

Ouro Preto –2014

Contribuições às Ciências da Terra

**ESTRATIGRAFIA E ARCABOUÇO ESTRUTURAL DA
REGIÃO DE FÁBRICA NOVA, QUADRILÁTERO
FERRÍFERO, MINAS GERAIS.**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitor

Prof. Marcone Jamilson Freitas Souza

Vice-Reitor

Prof^a. Célia Maria Fernandes Nunes

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Prof. Valdei Lopes de Araújo

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Fernando Flecha de Alkmim



EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

CONTRIBUIÇÃO ÀS CIÊNCIAS DA TERRA - VOL. 73

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

N° 317

**ESTRATIGRAFIA E ARCABOUÇO ESTRUTURAL DA REGIÃO DE
FÁBRICA NOVA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS.**

Daniel Quinaud Rossi

Orientador

Issamu Endo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciências Naturais, Área de Concentração: Geologia Estrutural e Tectônica.

OURO PRETO

2014

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606 e-mail: pgrad@degeo.ufop.br

Os direitos de tradução e reprodução reservados.
Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

ISSN 85-230-0108-6

Depósito Legal na Biblioteca Nacional

Edição 1ª

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

R831e Rossi, Daniel Quinaud.

Estratigrafia e arcabouço estrutural da região de Fábrica Nova,
Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais [manuscrito] / Daniel Quinaud Rossi. –
2014.

105f.: il., color.; tabs.; mapas. (Contribuições às Ciências da Terra. Série
M, v. , n.)
ISSN: 85-230-0108-6

Orientador: Prof. Dr. Issamu Endo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto.
Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução
Crustal e Recursos Naturais.
Área de concentração: Geologia Estrutural e Tectônica.

1. Geologia estrutural - Teses. 2. Perfuração estratigráfica - Teses.
3. Quadrilátero Ferrífero (MG) - Teses. I. Endo, Issamu. II. Universidade
Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 551.243(815.1)

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

Dedico aos meus pais, ao meu irmão e à Vivian.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Braz e Sônia, pelo apoio incondicional e amor que sempre tiveram comigo.

Ao meu irmão Samuel, pela amizade.

À minha esposa Vivian, pelo carinho, orientações e ajuda nas revisões.

Ao Professor Issamu Endo, pela orientação, discussões, correções e por tudo que vem me ensinando sobre geologia.

À Gerência de Exploração Mineral (GAEMF) da empresa VALE, em especial à Adriana Zaparolli, pela ajuda nas descrições das lâminas.

A toda equipe da Gerência de Planejamento de Curto Prazo (GAQAS), pelo apoio na mina de Fábrica Nova.

Ao Estênio Santiago, pela ajuda nos campos e prosas.

Aos bolsistas Fabrício e Erika, que me acompanharam nos campos.

Aos amigos da República Covil dos Gênios, pelos momentos de lazer e descontração.

Aos professores e funcionários do departamento de Geologia, da escola de Minas de Ouro Preto.

À Universidade Federal de Ouro Preto, pela oportunidade e apoio.

À Capes, pela concessão de bolsa de estudos.

Sumário

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	XIV
LISTA DE TABELAS.....	XVI
RESUMO	XIX
ABSTRACT	XXI
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	2
1.1 - Introdução	2
1.2 - Apresentação do Problema e Objetivos	2
1.3 - Justificativa e Relevância do Projeto	4
1.4 - Localização e Vias de Acesso.....	5
1.5 - Aspectos Fisiográficos	5
1.6 - Metodologia	8
1.7 - Mina de Fábrica Nova.....	10
CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	13
2.1 - Introdução	13
2.2 - Litoestratigrafia.....	13
2.2.1 - Complexos Metamórficos.....	13
2.2.2 - Supergrupo Rio das Velhas.....	15
2.2.3 - Supergrupo Minas.....	15
2.2.4 - Grupo Itacolomi	18
2.2.5 - Rochas Intrusivas Pós-Minas	18
2.2.6 - Sedimentos Cenozóicos	18
2.3 - Metamorfismo.....	19
2.4 - Arcabouço Estrutural e Evolução tectônica.....	20
CAPÍTULO 3 - GEOLOGIA DA REGIÃO DE FÁBRICA NOVA.....	25
3.1 - Introdução	25
3.2 - Trabalhos Anteriores.....	25
3.3 - Estratigrafia da Região de Fábrica Nova	28
3.3.1 - Complexo Santa Bárbara	29
3.3.2 - Supergrupo Rio das Velhas.....	30
3.3.3 - Supergrupo Minas.....	33
3.3.3.1 - Grupo Caraça	33
3.3.3.2 - Grupo Itabira.....	35
3.3.3.3 - Grupo Piracicaba.....	37

3.3.4 - Grupo Sabará	40
3.3.5 - Grupo Itacolomi	41
3.3.6 - Rochas Intrusivas	42
3.3.7 - Depósitos Cenozóicos	43
CAPÍTULO 4 - REDEFINIÇÃO LITOESTRÁTIGRAFICA DA REGIÃO DE FÁBRICA NOVA	49
4.1 - Introdução	49
4.2 - Grupo Maquiné	49
4.2.1 - Grupo Maquiné Indiviso	49
4.2.2 - Formação Palmital	50
4.2.3 - Formação Casa Forte	50
4.3 - Grupo Sabará - Formação Estrada Real	50
4.4 - Justificativa	51
CAPÍTULO 5 - ARCABOUÇO ESTRUTURAL	55
5.1 - Generalidades	55
5.2 - Terminologia	56
5.3 - Domínios Estruturais	56
5.4 - Análise Estrutural Descritiva	59
5.4.1 - Estruturas Mesocópicas	60
5.4.1.1 - Acamamento	60
5.4.1.2 - Estruturas da Primeira Fase de Deformação F_1	63
5.4.1.3 - Estruturas da Segunda Fase de Deformação F_2	63
5.4.1.4 - Estruturas da Terceira Fase de Deformação F_3	69
5.4.1.5 - Estruturas da Quarta Fase de Deformação F_4	71
5.4.1.6 - Estruturas da Quinta Fase de Deformação F_5	72
5.4.2 - Estruturas Macroscópicas	72
5.4.2.1 - Falha Bento Rodrigues: Generalidades e Cinemática	72
5.4.2.2 - Dobras e Dobramentos: Geometria e Relações	74
CAPÍTULO 6 - DISCUSSÃO E MODELO TECTÔNICO	81
6.1 - Introdução	81
6.2 - Eventos de Deformação	81
6.2.1 - Evento Deformacional E_1	81
6.2.2 - Evento Deformacional E_2	82
6.2.3 - Evento Deformacional E_3	83
6.2.4 - Evento Deformacional E_4	84
6.3 - Modelo Estrutural – Região de Fábrica Nova	86

6.4 - Mina de Fábrica Nova.....	92
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES.....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXOS.....	103
TERMO DE DEFESA.....	105

Lista de Ilustrações

Figura 1.01 - Mapa geológico do Sinclinal Santa Rita e estruturas..	3
Figura 1.02 - Mapa de localização e vias de acesso a área estudada.....	5
Figura 1.03 - Localização da área estudada, minas e localidades em imagem de satélite Ikonos do sinclinal Santa Rita e a localização no Quadrilátero Ferrífero.	6
Figura 1.04 - Mapa altimétrico do sinclinal Santa Rita e localização da área investigada.	7
Figura 1.05 - Mapa de estações geológicas.....	9
Figura 1.06 - Vista para norte da mina de Fábrica Nova.	11
Figura 2.01 - Mapa com a posição geotectônica do QFe na porção meridional cráton São Francisco.	14
Figura 2.02 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero.....	17
Figura 2.03 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero	19
Figura 2.04 - Articulação das nappes Curral e Ouro Preto.....	23
Figura 3.01 - Mapa geológico esquemático do Sinclinal Santa Rita proposto por Maxwell (1972) mostrando a relação das falhas e o traço axial da dobra.	27
Figura 3.02 - Limite da área estudada com a geologia proposta por Maxwell (1960) e a localização da mina de Fábrica Nova.	28
Figura 3.03 - Coluna estratigráfica mapeada na região de Fábrica Nova.	29
Figura 3.04 - Estrutura interna e o estado intemperizado do gnaiss do Complexo Santa Bárbara comumente observado na região.	30
Figura 3.05 - Aspectos litológicos do Grupo Maquiné.....	32
Figura 3.06 - Aspectos litológicos do Grupo Maquiné.....	33
Figura 3.07 - Aspectos litológicos do Grupo Caraça.	35
Figura 3.08 - Aspectos litológicos do Grupo Itabira.....	37
Figura 3.09 - Aspectos litológicos da Formação Cercadinho	39
Figura 3.10 - Filito preto da Formação Barreiro.. ..	40
Figura 3.11 - Aspectos litológicos do Grupo Sabará.....	41
Figura 3.12 - Quartzito do Grupo Itacolomi.....	42
Figura 3.13 - Aspectos litológicos das intrusões.....	43
Figura 3.14 - Material típico da Formação Cata Preta.	44
Figura 3.15 - Descrição das fácies da Formação Cata Preta	46
Figura 3.16 - Seção estratigráfica da Formação Cata Preta na mina de Fábrica Nova.	47
Figura 3.17 - Mapa geológico da área mapeada na porção centro-leste do sinclinal Santa Rita.....	48
Figura 4.01 - Quartzito esbranquiçado de granulometria média e com alta contribuição de minerais ferruginosos de origem sedimentar.	52
Figura 4.02 - Estratificação cruzada acanalada de médio porte com os estratos salientados pela presença de material ferruginoso.....	53

Figura 4.03 - Coluna estratigráfica proposta para a região de Fábrica Nova.	54
Figura 5.01 - Articulação dos domínios estruturais na região de Fábrica Nova.	58
Figura 5.02 - Subdomínios estruturais: subdomínio IIa e IIb no contexto dos domínios em escala regional.....	59
Figura 5.03 - Fotos de acamamento e bandamento composicional encontrados na região de Fábrica Nova.....	61
Figura 5.04 - Diagramas estereográficos com representação polar do acamamento.....	62
Figura 5.05 - Desenho esquemático, em escala mesoscópica, apresentando a superposição de duas fases de deformação.....	63
Figura 5.06 - Xistosidade S_2 oblíquo ao acamamento S_0 no quartzito do Grupo Sabará.....	64
Figura 5.07 - a) Dobra do tipo ‘box fold’ encontrada na mina de Fábrica Nova. b) Superposição de dobra em estilo “S” - F_2 sobre dobras em estilo “Z” - F_1 em afloramentos de itabiritos em Fábrica Nova.....	64
Figura 5.08 - Diagramas estereográficos com representação polar da xistosidade S_2	65
Figura 5.09 - Desenho esquemático de superposição de dobra em estilo “S” - F_2 sobre dobras em estilo “Z” - F_1 encontradas no subdomínio IIa.....	66
Figura 5.10 - Dobras fechadas em padrão ‘S’ da segunda fase de deformação mapeadas no subdomínio IIa.....	67
Figura 5.11 - Diagramas estereográficos com representação polar dos eixos de dobras B_2	67
Figura 5.12 - Diagramas estereográficos com representação polar da lineação de interseção.	67
Figura 5.13 - Diagramas estereográficos com representação polar da lineação mineral.	68
Figura 5.14 - Lineação mineral da fase F_2 representada pela orientação preferencial de hematita, quartzo e sericita no quartzito do Grupo Sabará.	69
Figura 5.15 - a) Dobra aberta da terceira fase de deformação. b) Aspecto da clivagem disjuntiva S_3 em quartzitos ferruginosos da Formação Cercadinho.	70
Figura 5.16 - a) Estereograma dos pólos do acamamento S_0 em torno de uma dobra F_3 na cava norte da mina de Fábrica Nova. b) Estereograma da clivagem disjuntiva S_3 . Fábrica Nova total.	70
Figura 5.17 - a) Clivagem de crenulação S_4 em xistos do Grupo Sabará. Estação. b) Dobra fechada com eixo N-S da quarta fase de deformação.	71
Figura 5.18 - Estereograma da clivagem de crenulação S_4 . Fábrica Nova total.....	71
Figura 5.19 - a) Estereograma de mesofraturas na mina de Fábrica Nova. (b) Diagrama de Rosa das fraturas.	72
Figura 5.20 - Falha de escala mesoscópica no quartzito ferruginoso da Formação Cercadinho.....	74
Figura 5.21 - Estereograma de igual-área, projeção do hemisfério inferior da lineação mineral sobre o plano de falha.....	74
Figura 5.22 - Mapa geológico da região de Fábrica Nova com a localização dos furos e seção.	77
Figura 5.23 - Seção A-A’ representando o sinforme Fábrica Nova e a antiforme Alto Pai Miguel.	77
Figura 5.24 - Descrição dos furos em Fábrica Nova.....	78
Figura 5.25 - Mapa geológico síntese da região de Fábrica Nova.....	79

Figura 6.01 - Modelo esquemático representando as fases F_1 e F_2 do primeiro evento deformacional E_1	83
Figura 6.02 - Modelo proposto para deposição dos sedimentos da Formação cata Preta na mina de Fabrica Nova.....	85
Figura 6.03 - Segunda geração de grabens com eixo N-S. Em detalhe os matacões de canga e formação ferrífera no contato com a falha.	86
Figura 6.04 - a) Seção regional NW-SE entre as minas de Alegria e Fábrica Nova mostrando a relação das principais estruturas do arcabouço sub-regional. b) Disposição da seção no Sinclinal Santa Rita e localização das minas.....	88
Figura 6.05 - Modelo de deflexão da trama planar ao longo e na zona em torno de um objetivo discordante	90
Figura 6.06 - Construção do círculo de Mohr para determinar magnitude de deformação específica R_f de uma estrutura flanking-fold....	90
Figura 6.07 - Deformação específica - R_f com base no modelo de Passchier (2001).....	91

Lista de Tabelas

Tabela 6.01 - Síntese da evolução da região de Fábrica Nova.....	92
--	----

Resumo

A região de Fábrica Nova está localizada na borda leste do QFe, porção central do estado de Minas Gerais. Geologicamente encontra-se inserida no flanco inverso do sinclinal Santa Rita, uma megaestrutura caracterizada como uma dobra de escala sub-regional de direção axial NW-SE com raízes no embasamento adjacente do Complexo Santa Bárbara e seccionada pela falha de Água Quente. Os flancos são subparalelos e no flanco inverso as unidades estratigráficas são menos espessas que a sua contraparte do flanco normal situado a oeste. No núcleo ocorrem xistos, filitos e quartzitos ferruginosos pertencentes aos grupos Piracicaba e Sabará. Algumas dúvidas acerca da geometria da porção central do sinclinal Santa Rita, principalmente em relação ao seu fechamento ainda não foram solucionadas. Este trabalho busca, portanto, esclarecer estas questões a partir de um mapeamento sub-regional e de detalhe na região de Fábrica Nova.

O arcabouço estrutural desta região, resulta da superposição de pelo menos 3 (três) fases de deformação sobre a nappe Ouro Preto. Na interface embasamento e rochas supracrustais se instala a falha de Água Quente de direção meridiana e mergulhos acentuados a norte. Duas dobras de escala sub-regional ocorrem na região de Fábrica Nova: o sinforme de Fábrica Nova e o anticlinal de Bento Rodrigues. Subsidiariamente, observa-se um antifforme apertado no setor oriental mina de Fábrica Nova denominado de antifforme Alto Pai Miguel. Para a geometria particular da região de Fábrica Nova é proposto um modelo com base no mecanismo de dobramento por *flanking folds*. Este mecanismo se daria através de um encurtamento crustal de direção E-W resultando na deflexão das rochas do Supergrupo Minas, além de dobras menores de eixo orientados na direção N-S. A nucleação do sinforme de Fábrica Nova imprime novas características texturais nos minérios de ferro, em especial, naqueles situados no flanco oeste do sinforme com a imposição da cinemática “Z” sobre “Z”, tornando-os mais finos.

Abstract

The region of Fábrica Nova is located at the east edge of the Quadrilátero Ferrífero (QFe), in the central portion of Minas Gerais State. Geologically, it is situated at the inverse fold of Santa Rita syncline, which is a mega structure characterized as a fold of sub-regional scale of NW-SE axial direction, with roots in the adjacent basement of Santa Barbara Complex and is sectioned by the failure of Água Quente. The flanks are sub parallel and, in the opposite flank, the stratigraphic units are thinner than the counterpart of its normal flank situated to the west. In its nucleus occur schists, phyllites and ferruginous quartzites, which belong to Piracicaba and Sabará groups. Some questionings about the geometry of Santa Rita syncline central portion, especially related to its closing, were not solved yet. Therefore, this work aims to elucidate these questionings from a sub-regional and detailing mapping of Fábrica Nova region.

The structural framework of this region results from the superposition of at least 3 (three) phases of deformation of Ouro Preto nappe. At the basement interface and supracrustal rocks settles the failure of Água Quente, which has meridian direction with steep dips to the north. Two folds of sub-regional scale occur on Fábrica Nova region: Fábrica Nova synform and Bento Rodrigues anticline. Alternatively, there is a tight antiform in the eastern sector of the Fábrica Nova mine, which is called Alto Pai Miguel antiform. For the particular geometry of Fábrica Nova region, it is offered a model based on the folding mechanism by *flanking folds*. This mechanism would happen through a crustal shortening of E-W direction, resulting in the deflection of Supergrupo Minas rocks, besides minor folds of axis oriented in N-S direction. The nucleation of Fábrica Nova synform provides new textural characteristics to the iron ores, especially those that are located in the western flank of the synform along with the imposition of the kinematic "Z" on "Z", turning them thinner.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – INTRODUÇÃO

A região do Quadrilátero Ferrífero (QFe), situada no estado de Minas Gerais, é considerada umas das mais importantes províncias minerais do mundo, com importantes depósitos de ferro, ouro e manganês. As grandes jazidas de minério de ferro no QFe estão contidas nas rochas metamórficas pré-cambrianas, sendo a Formação Cauê, de idade paleoproterozóica, a que oferece maior interesse econômico, devido aos seus importantes depósitos ferríferos de elevado teor e pureza. Considerada uma região de grande complexidade estrutural, o QFe é alvo de inúmeras pesquisas (Dorr 1969, Chemale *et al.* 1994, Alkmim e Marshak 1998), o que faz com que muitos de suas interpretações geológicas estejam em constante transformação.

O presente trabalho está focado na caracterização da aba leste do sinclinal Santa Rita (Dorr 1969), a partir da região conhecida como Fábrica Nova, que se caracteriza por encerrar a sequência estratigráfica do QFe em posição invertida. Trata-se, aparentemente, de uma dobra de escala sub-regional de direção axial NW-SE com raízes no embasamento adjacente do Complexo Santa Bárbara e seccionada pela falha de Água Quente. O principal trabalho geológico de cunho regional deve-se a Maxwell (1972), que mapeou, na escala de 1:25.000, as quadrículas de Santa Rita Durão, Capanema e Catas Altas. Este trabalho caracterizou, de forma pioneira, o sinclinal Santa Rita e, essencialmente, boa parte do complexo arcabouço geológico da borda leste do Quadrilátero Ferrífero.

No entanto, as investigações realizadas por Maxwell (1972) suscitam algumas dúvidas acerca da geometria da porção central do sinclinal Santa Rita, principalmente em relação ao seu fechamento. Este trabalho busca, portanto, esclarecer estas questões a partir de um mapeamento sub-regional e de detalhe na região da mina de Fábrica Nova, contribuindo para um melhor aproveitamento do minério, tanto nos processos de beneficiamento quanto nos processos metalúrgicos.

1.2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS

O sinclinal Santa Rita constitui uma das últimas estruturas do QFe cuja geometria ainda continua incerta no que tange ao fechamento da mesma. Importantes depósitos de minérios de ferro estão localizados nos flancos desta estrutura, como os de Timbopeba, Alegria, Germano, Morro Grande, São Luiz, Tamanduá, Almas e Fábrica Nova.

Na concepção de Dorr (1969) e Maxwell (1972), o sinclinal Santa Rita é caracterizado como um sinforme assimétrico com eixo de rumo norte-nordeste e norte-sul, aberto no setor sul e apertado no setor norte de caimento sub-horizontal. Os flancos são subparalelos e o flanco inverso é seccionado pela falha de Água Quente de traço sub-meridiano. As unidades estratigráficas são menos espessas do que a sua contraparte do flanco normal situado a oeste. No núcleo ocorrem xistos, filitos e quartzitos ferruginosos pertencentes aos grupos Piracicaba e Sabará (Fig. 1.01).

Diferentemente da interpretação de Dorr (1969), os eixos de dobras mesoscópicas apresentam caimentos moderados, em torno de 45°, para E-SE, e não sub-horizontal com traço paralelo à direção das camadas (Endo 1997). Na posição de charneira do sinclinal Santa Rita, o acamamento apresenta-se com mergulhos elevados para E sendo seccionado por uma xistosidade penetrativa e a lineação de intersecção paralela à lineação mineral e de estiramento correspondente com caimento para E-SE (*e.g.* Ferreira Filho 1999, Ferreira Filho. & Fonseca 2001). Esta relação entre as tramas lineares é preponderante no Quadrilátero Ferrífero (Chemale Jr. *et al.* 1991, Alves 1991, Endo 1997, Alkmim & Marshak 1998, Franco 2003, Almeida 2004, Endo *et al.* 2005).

Assim, a partir destas observações, os seguintes questionamentos foram suscitados:

1- Qual é a real posição da charneira do sinclinal Santa Rita? Os modelos de Dorr (1969) e Maxwell (1972) estariam corretos?

2- A orientação da lineação de intersecção no interior do sinclinal Santa Rita é compatível com a orientação regional das nappes Curral e Ouro Preto e das dobras de segunda ordem associadas, como por exemplo, a de Ouro Fino (*e.g.* Franco 2003) e Gandarela (*e.g.* Endo *et al.* 2004b)? Nestas dobras as charneiras se posicionam com atitude em torno de 100/45 cujos fechamentos se posicionam no setor meridional das mesmas.

3- O sinclinal Santa Rita teria alguma relação com o sinclinais Ouro Fino e Gandarela? As dobras subsidiárias em cada flanco do sinclinal indicariam fechamento para norte ou para sul? O contorno do traço do acamamento das unidades do Supergrupo Minas da região de Fábrica Nova parece indicar uma geometria de dobra em estilo “Z” (Fig. 1.01). Estando esta hipótese correta o fechamento do sinclinal se daria no setor meridional do mesmo. Portanto, outra questão a ser respondida é: A qual geração esta dobra em “Z” pertence?

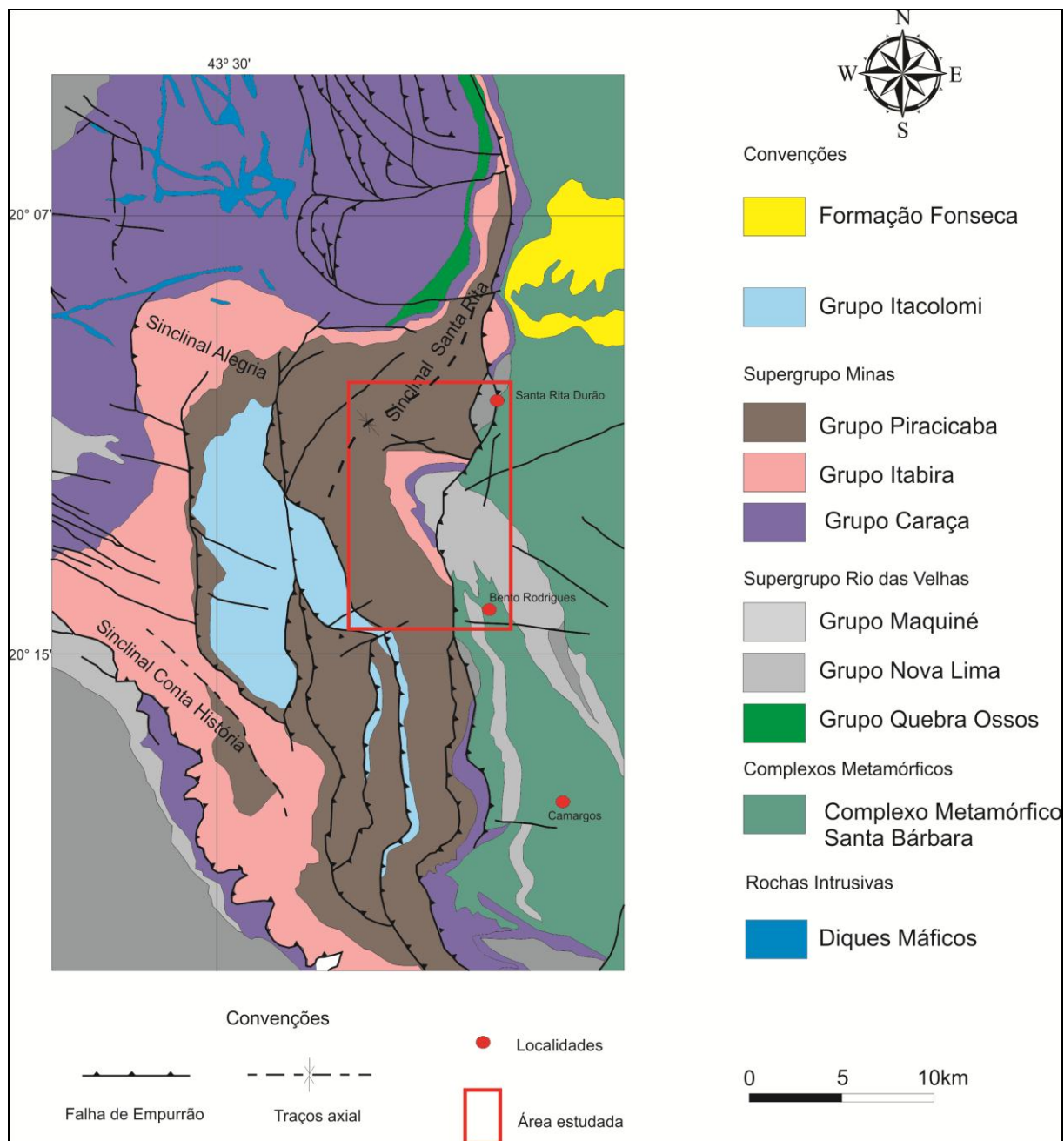


Figura 1.01 - Mapa geológico estrutural do Sinclinal Santa Rita. (mod. de Dorr 1969).

Neste sentido, esse trabalho tem por objetivo esclarecer as incertezas acerca da geometria da porção central do sinclinal Santa Rita e, com isto, uma melhor compreensão do arcabouço estrutural e estratigráfico desta área. Os estudos nesta região buscam, também, uma relação do sinclinal Santa Rita quanto às nappes Curral e Ouro Preto (Almeida *et al.* 2001, Almeida *et al.* 2002, Almeida 2004, Endo *et al.* 2005). Estas nappes correspondem às megadobras recumbentes alóctones que dominam o cenário estrutural do Quadrilátero Ferrífero, sendo a nappe Ouro Preto sobreposta à nappe Curral. A

esta geração de dobras associa-se uma xistosidade S_1 penetrativa e oblíqua ao acamamento. A lineação de interseção apresenta um caimento moderado para ESE (Endo *et al.* 2005, Fig. 2).

A escolha específica da região próxima ao Complexo Ferrífero de Fábrica Nova deve-se às melhores exposições contínuas de rochas nas diversas cavas deste complexo, que abrange toda a coluna estratigráfica, desde o embasamento arqueano até as unidades do Grupo Itacolomi.

Desta forma, os objetivos principais do trabalho são:

- Realizar um mapeamento geológico em escala 1:5.000 da região de Fábrica Nova e três seções em escala 1:2.000 nas cavas do complexo;
- Caracterizar estruturalmente a porção centro-oriental do sinclinal Santa Rita;
- Detalhar a coluna estratigráfica da região;
- Elaborar um modelo estrutural e tectônico da região de Fábrica Nova;

1.3 - JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO PROJETO

As justificativas e a relevância do trabalho estão relacionadas inicialmente à caracterização do arcabouço estrutural da porção centro-oriental do sinclinal Santa Rita, o que contribuirá para o entendimento do posicionamento das unidades geológicas ali presentes, bem como na compreensão do papel da falha da Água Quente na borda leste do QFe.

O mapeamento e a identificação das estruturas presentes nas rochas permitem a elaboração de um modelo geológico e estrutural para a área em estudo. A análise precisa da relação entre estruturas como acamamento, xistosidade, direção do eixo da dobra, lineação de interseção e lineação mineral, possibilitam uma melhor compreensão do arranjo estrutural do corpo geológico estudado.

Assim, a escolha da região do Complexo de Fábrica Nova para levantamento de dados estruturais está relacionada à melhor exposição rochosa nas cavas deste complexo e arredores. Tal escolha permitirá um levantamento estatístico mais confiável e uma amostragem relevante para os estudos microestruturais e de deformação específica que possam contribuir para a caracterização do arcabouço estrutural da área.

Além disso, o melhor entendimento do arcabouço estrutural do sinclinal Santa Rita poderá oferecer parâmetros mais seguros para a exploração mineral, em especial para a caracterização dos controles estruturais de corpos enriquecidos em hematita.

1.4 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A região estudada está localizada na borda leste do QFe, porção central do estado de Minas Gerais. A principal via de acesso à área é a MG 129, que une Mariana à Santa Bárbara (Fig. 1.02). O município de Mariana localiza-se no extremo sudeste do QFe, aproximadamente 118 Km a sudeste de Belo Horizonte, cujo acesso pode ser realizado pelas rodovias BR-040 e rodovia dos Inconfidentes (BR-356).

A área mapeada está compreendida entre os paralelos 20°17' e 20°24' sul e meridianos 43°46' e 43°41' oeste, e tem aproximadamente 43 km². As localidades situadas nos domínios da área investigada são Santa Rita Durão ao norte e Bento Rodrigues ao sul (Fig. 1.03).

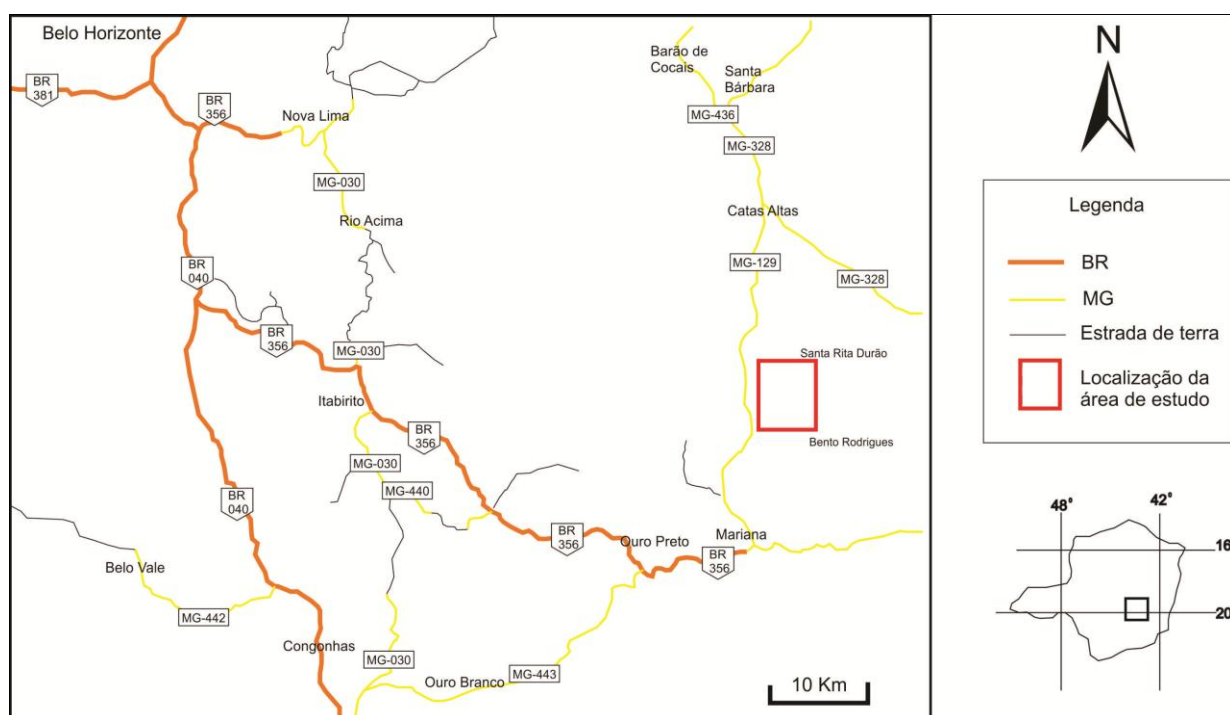


Figura 1.02 - Mapa de localização e vias de acesso a área estudada.

1.5 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Ocorrem na região dois tipos climáticos distintos: o primeiro corresponde a um clima úmido com verões quentes, pluviosidade média anual entre 1.100 – 1.500mm, temperatura média anual entre 19,5 – 21,8 °C, sobretudo nas partes menos elevadas. O segundo apresenta verões mais brandos, temperatura média anual mais baixa (17,4 – 19,8 °C), com índice pluviométrico anual de 1.800mm e predominantemente nas porções mais elevadas (Souza 2004).

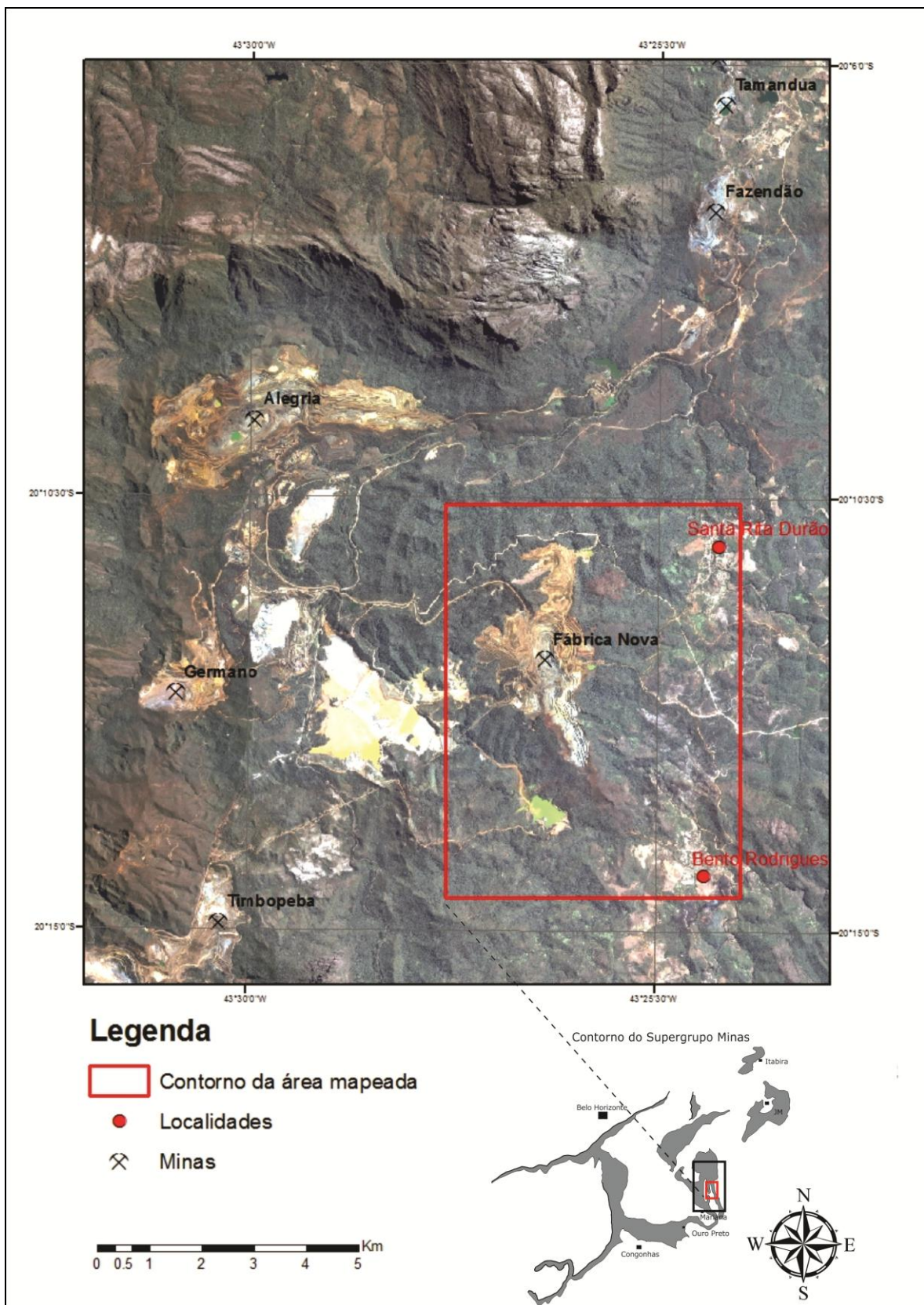


Figura 1.03 - Localização da área estudada, minas e localidades em imagem de satélite Ikonos do sinclinal Santa Rita e a localização no Quadrilátero Ferrífero.

Em relação à cobertura vegetal da região, destacam-se as áreas de campos naturais em zonas de relevo ondulado, com vegetações gramíneas e ciperáceas; matas naturais com árvores de porte médio (mata tropical latifoliada perene); matas de galeria e áreas de reflorestamento, principalmente com matas de eucalipto (Souza 2004).

A rede de drenagens é representada pelas bacias dos rios Piracicaba e Gualaxo, afluentes do Rio Doce pela sua margem esquerda. A morfologia da região varia de fortemente íngreme, por exemplo, nas redondezas do Pico do Frazão, que atinge a altitude máxima da região com 1.350 m, à suave, em terrenos de xistos e gnaisses. A topografia da área mapeada é medianamente ondulada, com variação altimétrica de 600 a 1.100 m.

Os gnaisses e xistos são, em geral, as rochas da região menos resistentes ao intemperismo e, conseqüentemente, à erosão. Formam baixadas extensas, pequenos morros arredondados e encostas de baixo gradiente em altitude média de 800 m. Os quartzitos da Formação Moeda presentes na Serra do Caraça são as rochas mais resistentes da região e atingem altitudes superiores a 2.000 metros (Fig. 1.04). A canga, um produto de alteração da Formação Cauê, capeia grande parte das serras da região. Esta rocha, que é inerte ao intemperismo químico e muito resistente ao intemperismo físico, forma encostas suaves e altos platôs.

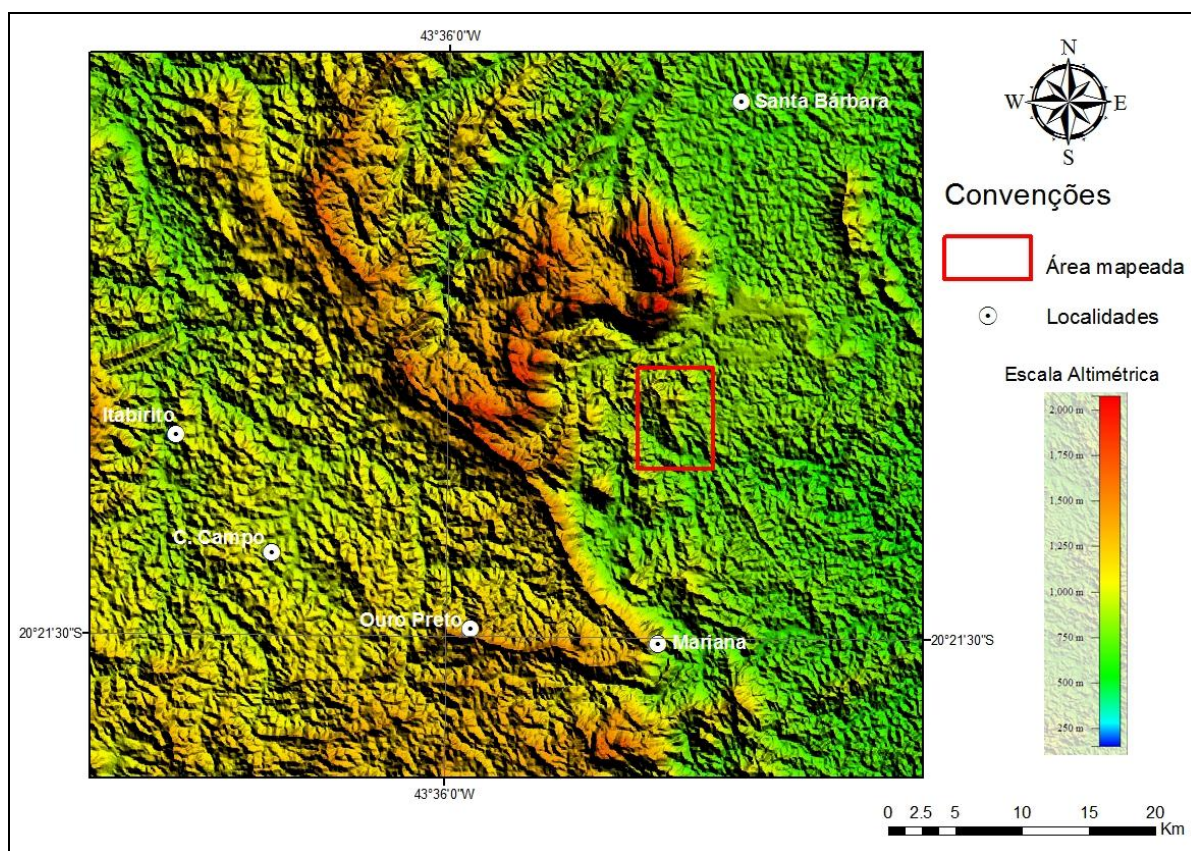


Figura 1.04 - Mapa altimétrico do sinclinal Santa Rita e localização da área investigada.

1.6 – METODOLOGIA

Para elaborar um modelo estrutural para a região de Fábrica Nova, empreendeu-se um mapeamento geológico tradicional com identificação das estruturas planares e lineares, os quais permitem a elaboração de um modelo geológico e estrutural adequado.

Os mapas geológicos foram elaborados utilizando-se um sistema de informações geográficas com projeção UTM e *datum South American 69*, integrado ao banco de dados através do *software ESRI - ArcGIS*.

O mapeamento foi dividido em duas etapas. A primeira etapa envolveu um mapeamento litoestrutural regional, em escala de 1:5.000, com a finalidade de identificar as principais unidades, bem como o arranjo estrutural. Boa parte dos contatos geológicos foram determinados em campo, sendo que alguns deles foram delineados com base em interpretação de imagens de satélites. Nesta etapa, foram levantados um total de 356 estações geológicas (Fig. 1.05).

A segunda etapa envolveu um mapeamento de detalhe na escala 1:2.000, nas cavas sul e norte da mina de Fábrica Nova. Este mapeamento foi realizado através de um caminhamento sistemático ao longo de cada bancada da mina, com uma análise precisa da relação entre estruturas como bandamento composicional e metamórfico, direção do eixo da dobra, lineação de interseção entre o bandamento composicional e a xistosidade, lineação mineral e natureza das falhas, assim como uma individualização de todos os litotipos discrimináveis na escala de trabalho. Também, foram levantados 424 pontos em toda a extensão da mina de Fábrica Nova (Fig. 1.05).

Para a montagem do banco de dados estruturais georeferenciados foi tomada, em cada estação geológica, no mínimo uma atitude representativa de cada feição estrutural. Os dados estruturais coletados durante o mapeamento foram lançados em estereogramas com auxílio dos programas *StereoNet* (versão 3.0, for Windows) e *GEOrient* (versão 9.0).

Foi realizado um estudo petrográfico em 30 seções delgadas e polidas que constituíam amostras orientadas dos minérios de ferro e encaixantes, com o objetivo de descrever a mineralogia e microestruturas presentes. Para tanto, foi utilizada a microscopia com luz transmitida e refletida.

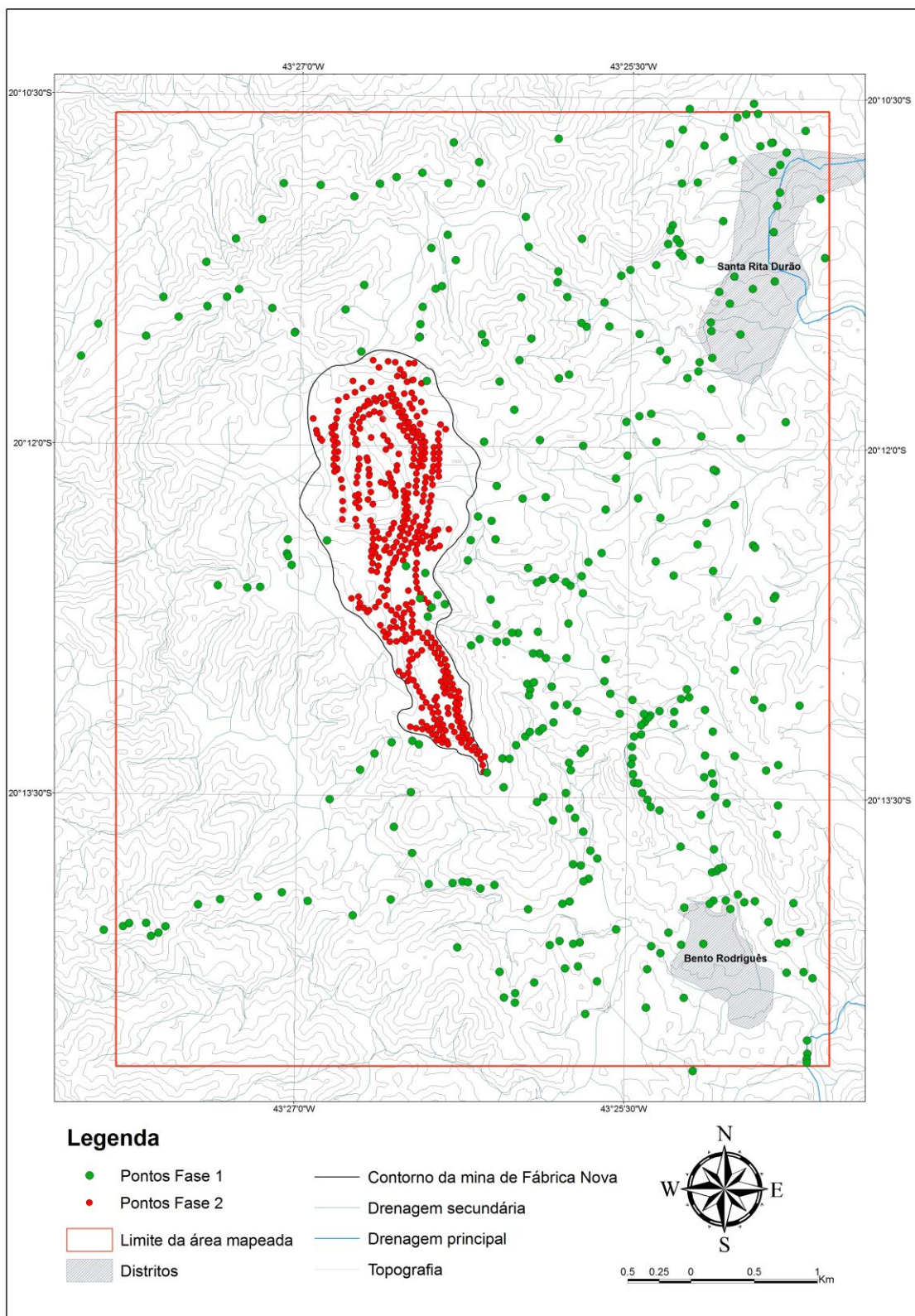


Figura 1.05 - Mapa de estações geológicas.

1.7 - MINA DE FÁBRICA NOVA

A mina de Fábrica Nova está situada na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, no município de Mariana, estado de Minas Gerais. Com distância aproximada de 120 km da capital Belo Horizonte, a mina de Fábrica Nova está inserida numa região administrativamente denominada pela Vale de Complexo Minerador de Mariana. O Complexo Mariana é formado pelas minas de Alegria e Fábrica Nova, no município de Mariana, Timbopeba, localizada no município de Ouro Preto e pelo Complexo Fazendão, localizado no município de Catas Altas.

A lavra de minério de ferro em Fábrica Nova iniciou em 1997 pela empresa SAMITRI e, em 2003, a mineradora VALE adquiriu os direitos de exploração da mina, na qual atua até os dias atuais.

A formação ferrífera tem boa expressão em Fábrica Nova, variando de 300 m de espessura estimada de afloramento na porção sul, chegando a atingir cerca de 1000 m na porção central, em torno de 600 m na porção norte e cerca de 250 m no prolongamento leste. A mina é formada por duas cavas divididas geograficamente em Cava norte e Cava Sul (Fig. 1.06).

Os principais minérios de Fábrica Nova estão inseridos na Formação Cauê e são representados por minérios de ferro de caráter estrutural e supergênico, com itabiritos e corpos de hematititos de variadas dimensões e geometrias. Esta mina apresenta uma complexa estruturação geológica em função da superposição de vários eventos tectônicos. Subsidiariamente, em pequena escala, ocorrem formações ferríferas atribuídas ao Grupo Sabará.



Figura 1.06 - Vista para norte da mina de Fábrica Nova.

CAPÍTULO 2

GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

2.1 - INTRODUÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero (QFe) cobre uma área de aproximadamente 7.190 km², delimitada pelas latitudes 19°45'S e 20°30'S e longitudes 43°22'30''W e 44°7'30''W na porção central do Estado de Minas Gerais (Dorr 1969). O seu contorno em mapa é o de um polígono de quatro vértices representado pelas cidades de Sabará, Itabira, Mariana e Congonhas (Fig. 2.02).

O QFe, localizado na porção meridional do cráton São Francisco (Almeida 1977), constitui uma unidade geotectônica de idade Brasiliana, cercada por cinturões orogênicos brasileiros vergentes para seu interior (Fig. 2.01). Compreende “greenstone belts” neo-arqueanos envolvidos por complexos gnáissicos mais antigos e sobrepostas por rochas metassedimentares paleoproterozóicas.

A área pesquisada está inserida na borda leste do QFe, em uma região localizada na faixa limítrofe entre o cráton São Francisco e a Faixa Araçuaí. Sua estruturação é condicionada aos sistemas de falhas Fundão-Cambotas e Água Quente (Dorr 1969).

2.2 - LITOESTRATIGRAFIA

O QFe compreende, em linhas gerais, três grandes conjuntos de unidades rochosas: os complexos metamórficos de idade arqueana, uma sequência metavulcanosedimentar do tipo *greenstone-belt* de idade arqueana, correspondente ao Supergrupo Rio das Velhas, além de supracrustais de idade paleoproterozóica do Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi (*e.g.* Dorr 1969, Noce 1995, Machado *et al.* 1996, Endo e Carneiro 1996, Alkmim e Marshak 1998).

2.2.1 - Complexos metamórficos

Os complexos metamórficos compreendem rochas cristalinas de idade arqueana, que ocorrem na forma de estruturas dômicas que pontuam a região do QFe. Estes complexos estão posicionados geograficamente no QFe da seguinte forma: Complexo Bonfim a oeste (Machado e Carneiro 1992), Complexo Belo Horizonte a noroeste (Machado e Noce 1993), Complexo Caeté ao norte, Complexo Santa Bárbara na porção leste e Complexo Bação na região central (Machado *et al.* 1992) (Fig. 2.02).

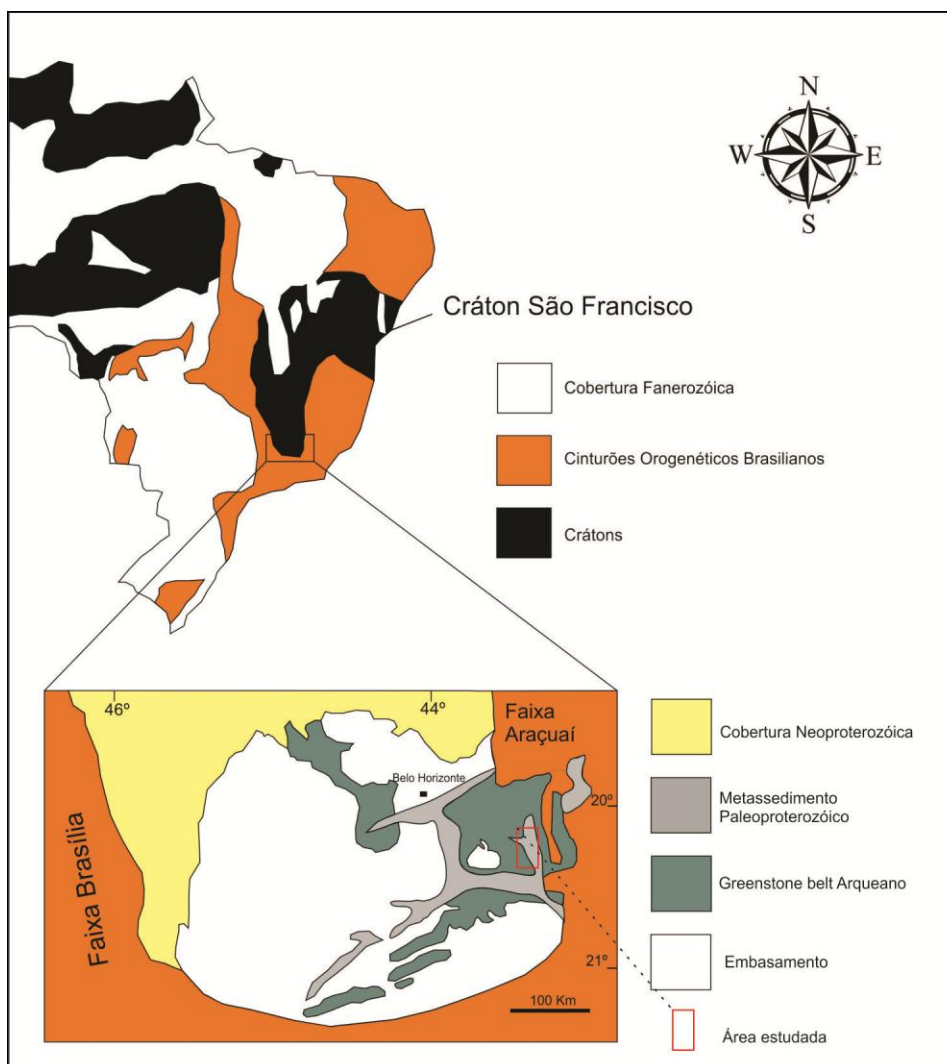


Figura 2.01 - Mapa com a posição geotectônica do QFe na porção meridional do cráton São Francisco (Fonte: Alkmim e Marshak 1998).

Os complexos são constituídos por rochas gnáissicas polideformadas de composição tonalítica a granítica e, subordinadamente, por granitos, granodioritos, anfibolitos e intrusões de rochas de natureza máfica e ultramáfica (Herz 1970, Cordani *et al.* 1980, Evangelista e Muller 1986, Carneiro 1992). O comportamento metamórfico desta unidade é, em geral, polifásico, sendo afetada por um metamorfismo regional em condições de fácies anfibolito médio a superior. Posteriormente, esta unidade foi sujeita à transformações metamórficas retrógradas em condições de fácies xisto verde.

As rochas que compõem esta unidade podem apresentar-se isotrópicas ou foliadas como resultado de sucessivos processos tectono-metamórficos superimpostos. Esta foliação orienta-se com mergulhos elevados, segundo as direções principais N-S, NE-SW e E-W e, subordinadamente, NW-SE.

Através de estudos geocronológicos realizados em rochas destes complexos (Machado *et al.* 1989, Machado e Noce 1993, Carneiro *et al.* 1995), determinou-se que as principais etapas para a formação desta crosta continental aconteceram durante o Neo-Arqueano, muito embora existam indícios de uma herança crustal (>3,1 Ga) relacionada ao Meso-Arqueano (Teixeira *et al.* 2000). Suita *et al.* (2002) obtiveram idades de cerca de 3,81 Ga para o protólito da crosta em zircões detríticos do Grupo Nova Lima. A idade das rochas granitóides mais jovens varia de 2,78 a 2,61 Ga (Romano 1989, Carneiro 1992, Noce 1995).

2.2.2 - Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas compreende rochas metavulcânicas e metassedimentares que caracterizam o *greenstone-belt* de idade arqueana (*e.g.* Dorr 1969, Schorscher 1978, Ladeira 1980, Schorscher *et al.* 1982, Machado *et al.* 1989 e 1992). As rochas desta unidade apresentam ampla distribuição regional, ocorrendo em toda a borda leste-sudeste do cráton São Francisco.

Esta sequência vulcanossedimentar se dispõe tectonicamente sobre as rochas dos complexos metamórficos (*e.g.* Almeida *et al.* 2001 e 2002, Almeida 2004, Endo *et al.* 2005). É composto, da base para o topo, pelos grupos Quebra Osso (Schorscher 1978), Nova Lima (Dorr 1969, Ladeira 1980) e Maquiné (Dorr *et al.* 1957). O Grupo Quebra Osso é constituído por metakomatiitos, metabasaltos toleíticos e metariolitos (Schorscher 1978). Já o Grupo Nova Lima compreende rochas metassedimentares de composição carbonática, siliciclástica e formações ferríferas bandadas do tipo Algoma. Sobre o Grupo Nova Lima, em discordância erosiva, ocorrem níveis metaconglomeráticos na base, quartzitos maciços e sericíticos, sericita-quartzo xistos, metaconglomerados oligomíticos e polimíticos e filitos, pertencentes ao Grupo Maquiné (Dorr 1969; Maxwell 1972) (Fig. 2.02).

2.2.3 - Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas é uma sequência metassedimentar de idade paleoproterozóica constituída predominantemente por sedimentos plataformais clásticos e químicos. (*e.g.* Dorr 1969, Babinski *et al.* 1991, Alkmim e Marshak 1998). O contato com a unidade subjacente, qual seja, o Supergrupo Rio das Velhas, é estruturalmente discordante (Dorr 1969).

Sua organização estratigráfica, em essência, permanece a mesma desde a definição original de Derby (1906) e é constituída por xistos, quartzitos, dolomitos e formação ferrífera. Uma subdivisão em unidades foi proposta por Harder e Chamberlin (1915), na qual, da base para o topo, consistia-se de: quartzito Caraça (*Caraça Quartzite*), xisto Batatal (*Batatal schist*), formação ferrífera (*Itabira formation*), xisto e quartzito Piracicaba (*Piracicaba formation*).

A coluna estratigráfica para o Supergrupo Minas, proposta por Dorr (1969), é resultado de sucessivos aprimoramentos, sobretudo com as contribuições de Barbosa (1954) e Guild (1957). Com a

incorporação de resultados alcançados pelos estudos de Renger *et al.* (1994), Almeida *et al.* (2002 e 2005), propõe-se que estratigrafia do Supergrupo Minas seja formada por cinco grandes unidades. Da base para o topo, encontram-se sedimentos clásticos do Grupo Tamanduá, sedimentos clásticos do Grupo Caraça, sedimentos químicos do Grupo Itabira, sedimentos clásticos e químicos do Grupo Piracicaba e sedimentos do tipo *flysh* do Grupo Sabará (*e.g.* Barbosa 1968, Dorr 1969, Renger *et al.* 1994, Almeida 2004).

Dorr (1969) subdividiu o Grupo Tamanduá em duas unidades: a Formação Cambotas (basal), formada por quartzitos com camadas de conglomerados com seixos de formação ferrífera e a formação sem nome que Endo *et al.* (2004a) designou de Formação Morro Grande, sendo esta constituída por xistos diversos, filitos e formações ferríferas subordinadas. O Grupo Tamanduá ainda gera discussões no âmbito de sua posição estratigráfica. Para Schorscher e Guimarães (1976), Schorscher *et al.* (1982), Machado *et al.* (1996), a Formação Cambotas corresponde a quartzitos e conglomerados do Supergrupo Espinhaço. Por sua vez, a Formação Morro Grande constitui um pacote de milonito-xistos de protólitos diversos do Grupo Nova Lima, arrastados em zona de falha de baixo ângulo sobre as rochas do Supergrupo Espinhaço (Schorscher *et al.* 1982, Schorscher 1992, Rossi 2010).

O Grupo Caraça (Dorr *et al.* 1957) é constituído por rochas clásticas que repousam discordantemente sobre as unidades vulcanosedimentares do Supergrupo Rios das Velhas. É dividido em duas formações: Moeda e Batatal. A formação quartzítica basal, definida por *Quartzito Caraça* por Harder e Chamberlin (1915) e renomeada de Formação Moeda por Wallace (1958), ocupa a base do Grupo Caraça. É composta predominantemente por litologias de composição quartzítica, que incluem metaconglomerados, filitos, quartzitos de grão fino a grosso com conteúdos variáveis de sericita (Dorr 1969). A Formação Batatal (Maxwell 1958) é constituída por filitos sericíticos, filitos grafitosos, formação ferrífera e, subordinadamente por metacherts (Dorr 1969).

O Grupo Itabira (Dorr *et al.* 1957), composto predominantemente por sedimentos químicos, é dividido em duas unidades intergradacionais, as formações Cauê na base e Gandarela no topo (Dorr 1969). A Formação Cauê, compreende itabiritos, itabiritos dolomíticos e anfíbolíticos, além de lentes de filito e marga (Dorr 1969). O contato com a Formação Batatal é gradacional. Sobreposta gradacionalmente à Formação Cauê, a Formação Gandarela é formada essencialmente por itabiritos dolomíticos, dolomitos e mármore (Dorr 1969).

O Grupo Piracicaba (Dorr *et al.* 1957) é a sequência clástica de topo, dividido da base para o topo nas formações Cercadinho, Fecho do Funil, Tabões e Barreiro. A Formação Cercadinho (Pomerene 1958a) é composta por quartzito, quartzito ferruginoso, filito ferruginoso, filito dolomítico, filito prateado e dolomito (Dorr 1969). A Formação Fecho do Funil (Simmons 1968) é formada por

filito dolomítico, filito e dolomito. A Formação Taboões (Pomerene 1958a) consiste, essencialmente, de ortoquartzitos finos e equigranulares. A Formação Barreiro (Pomerene 1958b) é formada, predominantemente, por xisto, filito e filito grafitoso.

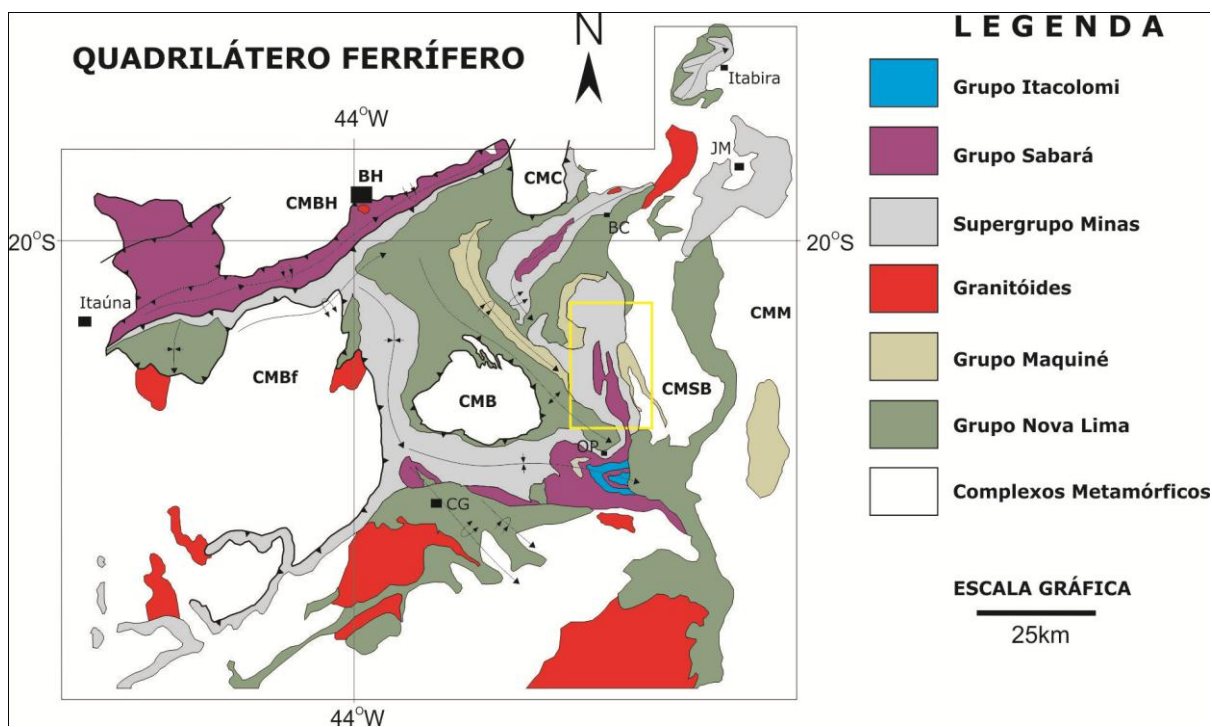


Figura 2.02 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Dorr 1969, Endo et al. 2005). Complexo Metamórficos do Bação - CMB, Bonfim - CMBf, Belo Horizonte - CMBH, Caeté - CMC, Santa Bárbara - CMSB, Mantiqueira - CMM. JM - João Monlevade, BC - Barão de Cocais, OP - Ouro Preto, BH - Belo Horizonte, CG - Congonhas.

No topo do Supergrupo Minas ocorre uma sequência de rochas imaturas com contribuição vulcanogênica (Renger *et al.* 1994), que constitui o Grupo Sabará. Esta sequência tem uma espessura de 3 - 3,5 Km e é composta por xistos, filitos, metarenitos, metavulcanoclásticas, metaconglomerados e metadiamicititos. O contato inferior e superior do Grupo Sabará com as unidades do Grupo Piracicaba e com o Grupo Itacolomi, respectivamente, dá-se por meio de uma discordância erosiva (Dorr 1969).

Almeida (2004), em estudos realizados nas proximidades de Chapada-Lavras Novas, ao sul da cidade de Ouro Preto no Sinclinal Dom Bosco, individualizou e caracterizou duas unidades litoestratigráficas integradas ao Grupo Sabará: a inferior, Formação Saramenha, anteriormente definida por Barbosa (1968), e a superior, Formação Estrada Real.

A Formação Saramenha é caracterizada por intercalações de metadiamicritos, metapelitos, metarritmitos, metarenitos, xistos e filitos negros. As maiores espessuras são alcançadas pelos xistos, metadiamicritos e metapelitos, respectivamente (Almeida 2004).

A Formação Estrada Real encontra-se estratigraficamente sobreposta à Formação Saramenha, em contato inferior normal e abrupto (Almeida 2004). Litologicamente é composta predominantemente por metarenitos sericíticos, que gradam para metaconglomerados polimíticos, intercalados com camadas métricas a decamétricas de metadiamicritos.

2.2.4 - Grupo Itacolomi

O Grupo Itacolomi (Dorr 1969), unidade encontrada no topo da sequência, é constituído, essencialmente, por quartzitos e, subordinadamente, de metaconglomerados de origem continental. Na localidade tipo, que é a Serra do Itacolomi, as rochas deste grupo sobrepõem as unidades Sabará, Barreiro e Fecho do Funil, em discordância angular erosiva.

Guimarães (1931) definiu duas facies: uma de quartzitos e metaconglomerados, sendo o Itacolomi típico; e a segunda, predominantemente filítica a xistosa, denominada de fácies Santo Antônio (Barbosa 1949, Costa e Romano 1976). A fácies Santo Antônio, descrita por Barbosa (1949) na região de Congonhas, é composta por filitos, filitos quartzíticos, metaconglomerados, quartzitos e quartzito ferruginosos.

2.2.5 - Rochas Intrusivas Pós-Minas

Rochas intrusivas pós-Minas foram mapeadas cortando as rochas do Supergrupo Minas e embasamento (Herz 1970). Constituem diques máficos de direção N-NW. Silva *et al.* (1992) datou um destes diques fornecendo a elas uma idade de 1,714 Ga.

Dorr (1969) atribui às rochas metaultramáficas (*greenschists*), que afloram a leste da Serra do Caraça, uma idade pós-Minas, as quais, posteriormente, foram interpretadas por Schorscher (1978) como corpos pertencentes ao *greenstone* Rio das Velhas e denominadas de Grupo Quebra Osso.

2.2.6 - Sedimentos Cenozóicos

Ocorrem na porção leste do QFe rochas de idade Cenozóica, as quais têm espessura média de 85 metros e, em geral, são recobertas por canga dura ou laterita ferruginosa. Estas rochas correspondem a siltitos arenosos, arenitos grossos e brechas da Formação Fonseca, arenitos avermelhados e diamicritos da Formação Cata Preta (Castro *et al.* 1998a e 1998b) e paleodépósitos estratificados, laterizados, compostos por seixos polimíticos, arredondados e de vários tamanhos, denominados de Formação Chapada de Canga (San'tanna 1994).

<i>Idade</i>	<i>Supergrupo</i>	<i>Grupo</i>	<i>Formação</i>	<i>Litologia</i>	
				Sedimentos cenozóicos Discordância angular	
Paleo-proterozóico		Itacolomi	Indiviso	Ortoquartzitos, quartzitos (matriz ferruginosa), filitos quartzosos, filitos e conglomerados com seixos de itabirito Discordância erosiva	
		Sabará	Indiviso	Clorita-xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados, quartzitos, diamictitos, turbiditos e itabiritos	
	Supergrupo Minas	Piracicaba	Barreiro		Filitos e filitos grafitosos
			Taboões		Ortoquartzitos
			Fecho do Funil		Filitos, filito dolomítico e dolomitos silicoso
			Cercadinho		Quartzito ferruginoso, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos
		Itabira	Gandarela		Dolomitos, filitos dolomíticos e calcário
			Cauê		Itabiritos, itabirito dolomítico, hematita, lentes de xistos e filitos
		Caraça	Batatal		Filitos e filitos grafitosos
			Moeda		Metaconglomerados, quartzito sercítico e filitos Discordância erosiva e angular
Arqueano	Supergrupo Rio das Velhas	Maquiné	Indiviso	Quartzitos, conglomerados, xistos e filitos	
		Nova Lima	Indiviso	Filitos, xistos, formações ferríferas, quartzitos, dolomitos, metacherts, rochas máficas e ultramáficas	
		Quebra Ossos	Indiviso	Komatiitos, formações ferríferas e metacherts Discordância erosiva e angular	
	Complexos Metamórficos	Indiviso	Indiviso	Gnaisses bandados, gnaisses migmatíticos, augen gnaisses e granitos	

Figura 2.03 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Dorr 1969, Schorscher 1978, Ladeira 1980, Renger *et al.* 1994).

2.3 – METAMORFISMO

A estrutura regional do Quadrilátero Ferrífero é o resultado da superposição de dois eventos deformacionais principais (Chemale Jr. *et al.* 1994), quais sejam, as orogêneses Transamazônica (2,1 - 2,0 Ga) e Brasileira (0,8 - 0,6 Ga). O primeiro evento produziu a nucleação de sinclinais regionais nas supracrustais e soergimento dos corpos granito-gnáissicos e o segundo provocou a inversão, a amplificação, a translação e a rotação dos sinclinais em torno das estruturas dômicas. Herz (1978) associa à evolução tectônica do QFe um zoneamento metamórfico traduzido pela transição de

temperaturas baixas a altas, com crescimento para leste, que variam, aproximadamente, entre 300 e 600 °C. Este zoneamento metamórfico é acompanhado por um gradiente deformacional possibilitando separar o QFe em dois domínios principais: domínio ocidental de baixa deformação e domínio oriental de alta deformação (Rosière *et al.* 2001a).

Um evento anterior, com idade U/Pb de 2,7 Ga, teria alcançado condições metamórficas no limite de fácies anfíbolito-granulito (Gomes 1986). Este evento foi responsável pela geração da maior parte das rochas que constituem os complexos metamórficos, dos terrenos *greenstone belts*, intrusões graníticas e estaria relacionado à orogênese Rio das Velhas (Carneiro 1992).

Em geral, as rochas dos complexos metamórficos foram submetidas às condições metamórficas de fácies anfíbolito médio a alto, atingindo fácies granulito (Carneiro *et al.* 1995). Nesses complexos, os eventos tectono-metamórficos posteriores deram origem a várias intrusões graníticas, básicas e ultrabásicas e causaram transformações metamórficas retrógradas em condições de fácies xisto-verde.

Em quase toda extensão do QFe, os supergrupos Rio das Velhas e Minas têm paragêneses metamórficas da fácies xisto-verde alto a anfíbolito. Este comportamento metamórfico polifásico é decorrente do intenso tectonismo sofrido por estas rochas. Um incremento do grau metamórfico de oeste para leste resultou em uma paragênese metamórfica da fácies xisto-verde alto a anfíbolito na porção oriental do QFe.

2.4 - ARCABOUÇO ESTRUTURAL E EVOLUÇÃO TECTÔNICA

Devido à alta complexidade da estruturação do QFe, diversos autores têm dedicado esforços na compreensão de sua evolução estrutural. Desde o trabalho de cartografia sistemática de detalhe, realizado através do convênio USGS-DNPM e sintetizado em Dorr (1969), os estudos estruturais têm ganhado mais crédito. Este autor sugere que três eventos tectônicos foram responsáveis pela atual arquitetura do QFe.

Para Chemale *et al.* (1991) ocorreram dois grandes eventos deformacionais após a deposição do Supergrupo Minas: o primeiro de caráter extensional, com idade entre 2.1 a 1.7 Ga e o segundo compressional com idade entre 0.6 a 0.5 Ga. O evento extensional (transamazônico) seria responsável pela geração de estruturas NE-SW, a exemplo o Sinclinal Gandarela, através de um movimento geral de WNW para ESSE. Para os autores, evento compressional (brasiliano) apresenta um campo de encurtamento E-W, formando um cinturão de dobramentos e empurrões (*fold and thrust belt*).

Endo (1997) sugere uma evolução tectônica do QFe, a qual foi iniciada em um evento de deformação conhecido como evento tectono-termal pré-Rio das Velhas, caracterizado por um regime

de deformação dúctil transcorrente sinistral com registros apenas nos complexos metamórficos Bonfim e Bação. Este evento é datado no intervalo de 2.780 e 2.555 Ma (Endo e Carneiro 1996; Endo 1997) e representa uma sucessão de eventos do Neo-arqueano, sendo estes responsáveis pela geração da maior parte das rochas que constituem os complexos metamórficos, os terrenos vulcanossedimentares, intrusões graníticas e pelo retrabalhamento da crosta continental (Carneiro *et al.* 1998; Teixeira *et al.* 2000).

A reativação tectônica resultante de grandes extensões crustais, denominada de orogênese Transamazônica, ocorreu no Paleoproterozóico. Esta orogênese, datada entre 2.250 e 1.900 Ma (Endo e Machado 1997), é constituída de dois megaeventos tectônicos progressivos caracterizados por dois eventos compressionais e dois extensionais alternados entre si (Endo 1997). O primeiro megaevento, conhecido como orogênese Minas (2.250 a 2.059 Ma), foi responsável pela inversão da bacia, estruturação dos sinformes Vargem do Lima e Santo Antônio, geração das calhas sinclinais de primeira e segunda ordem, formação dos domos gnáissicos e deposição dos sedimentos Itacolomi. O segundo megaevento, denominado orogênese Itacolomi (2.059 a 1.900 Ma), foi responsável pela inversão da bacia Itacolomi e implantação do sistema de falhas do Itacolomi, inversão da aba sudeste da serra do Curral e empurrões com vergência para NW.

A orogênese Brasileira, de acordo com Endo (1997), está representada por dois eventos compressionais sucessivos: o primeiro evento (600 Ma) foi responsável pela geração de dobramentos e cavalgamentos com vergência para NW, na porção norte, e para W, na porção sul, inversão do sinclinal Moeda e geração de falhas de empurrão locais; por sua vez, o segundo evento (500 Ma) foi responsável pela formação de dobras suaves e clivagens de crenulação de direção E-W.

Além destes eventos, pode ser observado na região do QFe o evento Sul-Atlântico, no qual são reconhecidos apenas seus efeitos de caráter frágil, representado por falhamentos diversos (Endo 1997).

Diferentemente, Alkmim e Marshak (1998) propõem um modelo de evolução para o QFe no Transamazônico, representado por dois eventos de natureza distinta: o primeiro compressional e o segundo extensional. O primeiro evento, fruto do fechamento de uma bacia de margem passiva, foi responsável pela geração de dobramentos e empurrões com vergência para NW. A deposição dos sedimentos Sabará e a formação dos sinclinais e anticlinais também são associados a este evento. O segundo evento representou o colapso das rochas continentais de idade 2.095 Ga e foi responsável pela estruturação em domos e calhas do QFe, sendo os domos representados pelos complexos metamórficos e as calhas pelos megasinclinais de primeira ordem, preenchidas pelas unidades supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi.

Em contraposição, Almeida *et al.* (2001, 2002, 2003, 2004 e 2005), e Endo *et al.* (2005) sugerem que o arcabouço estrutural do QFe seja constituído por dobras de várias gerações associadas às diferentes fases e eventos tectônicos que atuaram na região. Estas dobras, de escala regional, são divididas em três gerações relacionadas a grau hierárquico e período de formação.

- DA GERAÇÃO 1 COM VERGÊNCIA PARA N-NE
Nappe Curral e dobras de segunda ordem associadas;
- DA GERAÇÃO 2 COM VERGÊNCIA PARA S-SW
Nappe Ouro Preto e dobras de segunda ordem associadas;
- DA GERAÇÃO 3: AMPLIFICAÇÃO/REDOBRAMENTO

A nappe Curral constitui uma megadobra alóctone vergente para norte, que domina o cenário estrutural do QFe (Endo *et al.* 2005, Fig. 2.04). O flanco inverso desta dobra é representado pelas unidades do Supergrupo Minas que se dispõem na Serra do Curral. O flanco normal da nappe, que se encontra redobrado formando o sinclinal Moeda, estende-se continuamente desde Capão Xavier, na serra do Curral, até as proximidades de Fábrica em Congonhas. A zona da charneira da nappe Curral compreende a região da junção serra do Curral-sinclinal Moeda, cuja atitude axial é 120/30. De Fábrica, o segmento correspondente ao flanco oriental do sinclinal Moeda irá infletir para leste indo constituir a aba sul da anticlinal de Mariana e o flanco oeste irá infletir para sudoeste, estendendo-se até as imediações de Lavras.

As principais dobras de segunda ordem desta geração são os anticlinais Bonfim, Curral, dos Fechos e Catarina e os sinclinais Moeda, da Mutuca, das Gaiivotas e Mangabeiras.

Duas importantes falhas se associam à nappe Curral: falha Curral e a falha Mário Campos. A falha Curral representa a porção frontal da superfície de descolamento basal da nappe Curral e localiza-se na interface entre os grupos Piracicaba e Sabará. A falha Mário Campos marca o cavalgamento do Grupo Sabará sobre o Gnaiss Belo Horizonte, com forte componente reverso-dextral para NNW.

A nappe Ouro Preto, sobreposta à nappe Curral, é representada pelo seu flanco inverso no interior dos sinclinais Moeda e Dom Bosco (Fig. 2.04). A sucessão estratigráfica invertida desta nappe engloba as unidades dos grupos Itabira, Piracicaba e Sabará (Endo 1997; Almeida *et al.* 2001, Almeida *et al.* 2002, Endo 2003, Almeida 2004, Almeida *et al.* 2005).

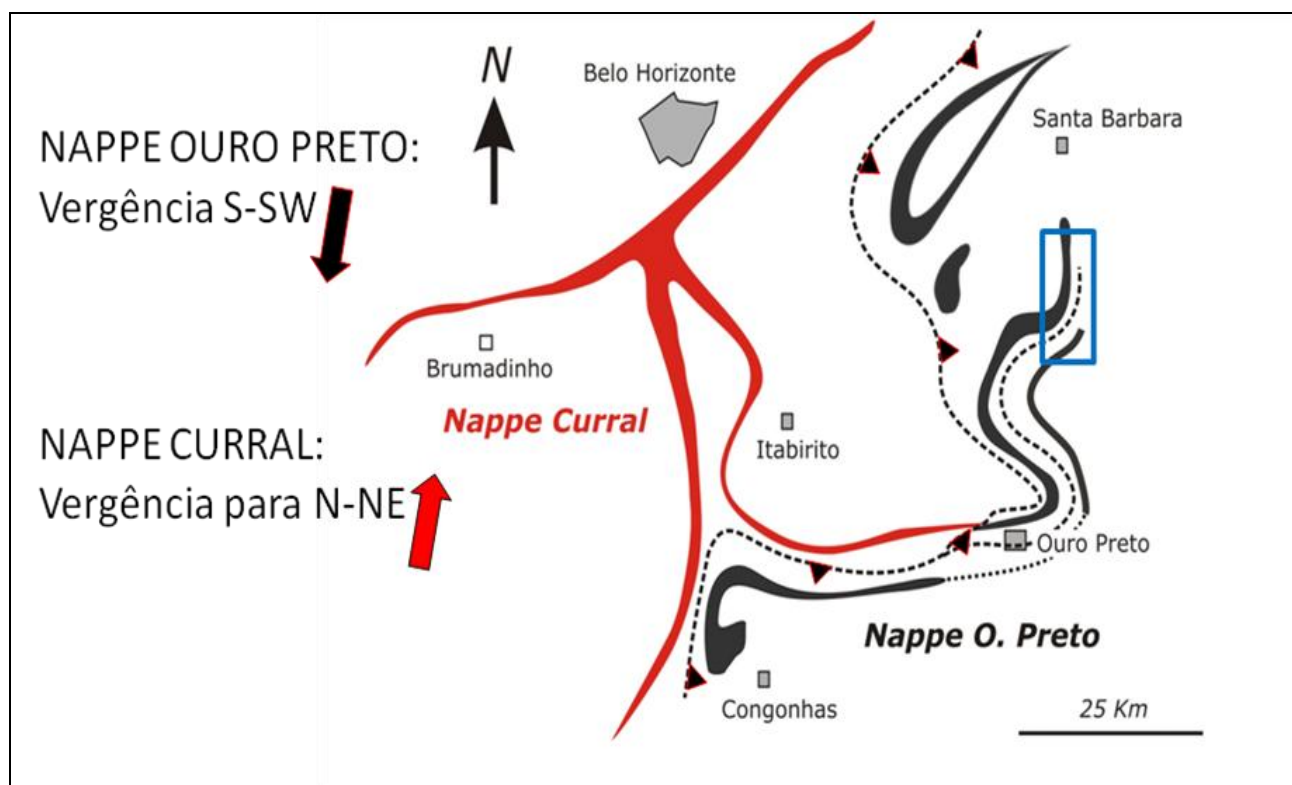


Figura 2.04 - Articulação das nappes Curral e Ouro Preto (Endo *et al.* 2005).

As principais dobras de segunda ordem desta geração são os sinclinais Gandarela, Ouro Fino, Santa Rita e Dom Bosco e as anticlinais Conceição, Santo Antônio e Mariana.

As estruturas da terceira geração são relacionadas a redobramentos e amplificações originados de encurtamentos tectônicos de direções EW e NS. A estes encurtamentos destacam-se a amplificação do Sinclinal Moeda, estrutura de direção NS, situado na borda oeste do QFe e o redobrimento do Sinclinal Ouro Fino, ambos resultantes do encurtamento tectônico superimposto nas direções EW e NS, respectivamente (Franco e Endo 2004).

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA DA REGIÃO DE FÁBRICA NOVA

3.1 - INTRODUÇÃO

O sinclinal Santa Rita (Fig. 3.01) constitui uma das estruturas do QFe cuja geometria ainda continua incerta. Diversos estudos (Dorr 1969, Maxwell 1960 e 1972, Endo 1997, Ferreira Filho e Fonseca 2001) já foram realizados para o entendimento desta estrutura, no entanto, os resultados alcançados suscitam, ainda, algumas dúvidas acerca da sua geometria, principalmente no que diz respeito ao seu fechamento estrutural.

Neste sentido, esse trabalho tem por objetivo esclarecer, também, as incertezas acerca da geometria da porção centro-leste do sinclinal Santa Rita e, com isto, contribuir para uma melhor compreensão do arcabouço estrutural e estratigráfico desta área.

A região estudada localiza-se na porção centro-leste do sinclinal Santa Rita, tendo a mina de Fábrica Nova como uma referência central (Fig. 3.02). Esta porção caracteriza-se por encerrar a sequência do Supergrupo Minas em sucessão estratigráfica invertida. Uma dobra de escala sub-regional de direção axial NW-SE se superimpõe no flanco leste do sinclinal Santa Rita, a qual é seccionada pela falha de Água Quente, justapondo-se ao embasamento adjacente denominado Complexo Santa Bárbara. O contorno do traço do acamamento das unidades do Supergrupo Minas da região de Fábrica Nova indica uma geometria de dobra em estilo “Z” (Fig. 3.17). Estando esta hipótese correta o fechamento do sinclinal se daria no setor meridional do mesmo.

Nesse quadro, este capítulo apresenta um histórico do sinclinal Santa Rita e a litoestratigrafia da região de Fábrica Nova, obtida através do mapeamento geológico.

3.2 - TRABALHOS ANTERIORES

Os primeiros estudos geológicos realizados no sinclinal Santa Rita datam do final do século XIX, época em que havia a exploração de ouro na região. Na localidade do Inficcionado, atual Santa Rita Durão, Henwood (1871) descreveu as mineralizações auríferas em itabiritos, conhecidas como jacutinga.

O trabalho pioneiro, feito no início do século XX, coube a Harder e Chamberlin (1915). Estes autores realizaram algumas seções geológicas, as quais tinham como principal interesse os corpos de minério de ferro bordejantes ao maciço do Caraça. Em esboço geológico, da borda leste da Serra do Caraça, os autores caracterizaram uma falha reversa, que coloca em contato o embasamento cristalino com as rochas supracrustais.

Dorr (1969) classificou o sinclinal Santa Rita como possivelmente a mais complexa estrutura na região do Quadrilátero Ferrífero. Para este autor, esta estrutura de direção N-S foi a primeira a se formar e, posteriormente, foi redobrada ao longo do contato entre os quartzitos da Formação Cambotas e as rochas mais jovens situadas a sul da Serra do Caraça, as quais rumam para noroeste. No extremo norte, o sinclinal encontra-se apertado pelos quartzitos do Grupo Caraça e é desmembrado por falhas normais e reversas de alto ângulo.

Contudo, deve-se a Maxwell (1960) o principal trabalho geológico de cunho regional. Neste, o referido autor mapeou na escala 1:25.000 as quadrículas de Santa Rita Durão, Capanema e Catas Altas (Fig. 3.01), caracterizando, de forma pioneira, a estrutura do sinclinal Santa Rita e, essencialmente, boa parte do complexo arcabouço geológico da borda leste do Quadrilátero Ferrífero.

O sinclinal Santa Rita, na concepção Maxwell (1960 e 1972), é caracterizado como um sinforme assimétrico com eixo de rumo norte-nordeste e norte-sul com caimento sub-horizontal, aberto no setor sul e fortemente estrangulado na porção setentrional. É seccionado por inúmeras falhas de empurrão, sin tectônico à formação do maciço da Serra do Caraça (Fig. 3.01). Os flancos são subparalelos e o flanco inverso é seccionado pela falha de Água Quente, a qual possui traço submeridiano.

Maxwell (1972) caracterizou na porção oriental do Sinclinal Santa Rita, entre os municípios de Mariana e Santa Bárbara (Fig. 1.01), a presença de gnaisses constituintes do Complexo Santa Bárbara. Este complexo é formado por ortognaisses finamente bandados, com foliação N-S, em geral de alto ângulo e concordante com as supracrustais. O Supergrupo Rio das Velhas, nesta região do QFe, é representado por quartzitos e metaconglomerados do Grupo Maquiné, e pelas rochas metassedimentares e metavulcanoclásticas do Grupo Nova Lima (Maxwell 1972). Segundo o autor, as unidades dos grupos Caraça e Itabira definem o contorno do Sinclinal Santa Rita, tendo no seu núcleo xistos, filitos, quartzitos ferruginosos e xistos cloríticos pertencentes aos grupos Piracicaba e Sabará, os quais se adelgaçam para o norte (Fig. 3.01).

Ferreira Filho (1999) caracterizou o Sistema de Falhas de Água Quente como sendo composto por inúmeras falhas de empurrão, relacionadas a uma tectônica contracional de forte expressão, que ocorrem na borda leste do Quadrilátero Ferrífero. Esta arquitetura foi desenvolvida pela superposição de fases deformacionais correlacionados às orogêneses Transamazônica e Brasileira. O Sistema Falhas de Água Quente tem como característica sobrepôr o embasamento, a leste, às rochas supracrustais, a oeste (Dorr 1969; Maxwell 1972).

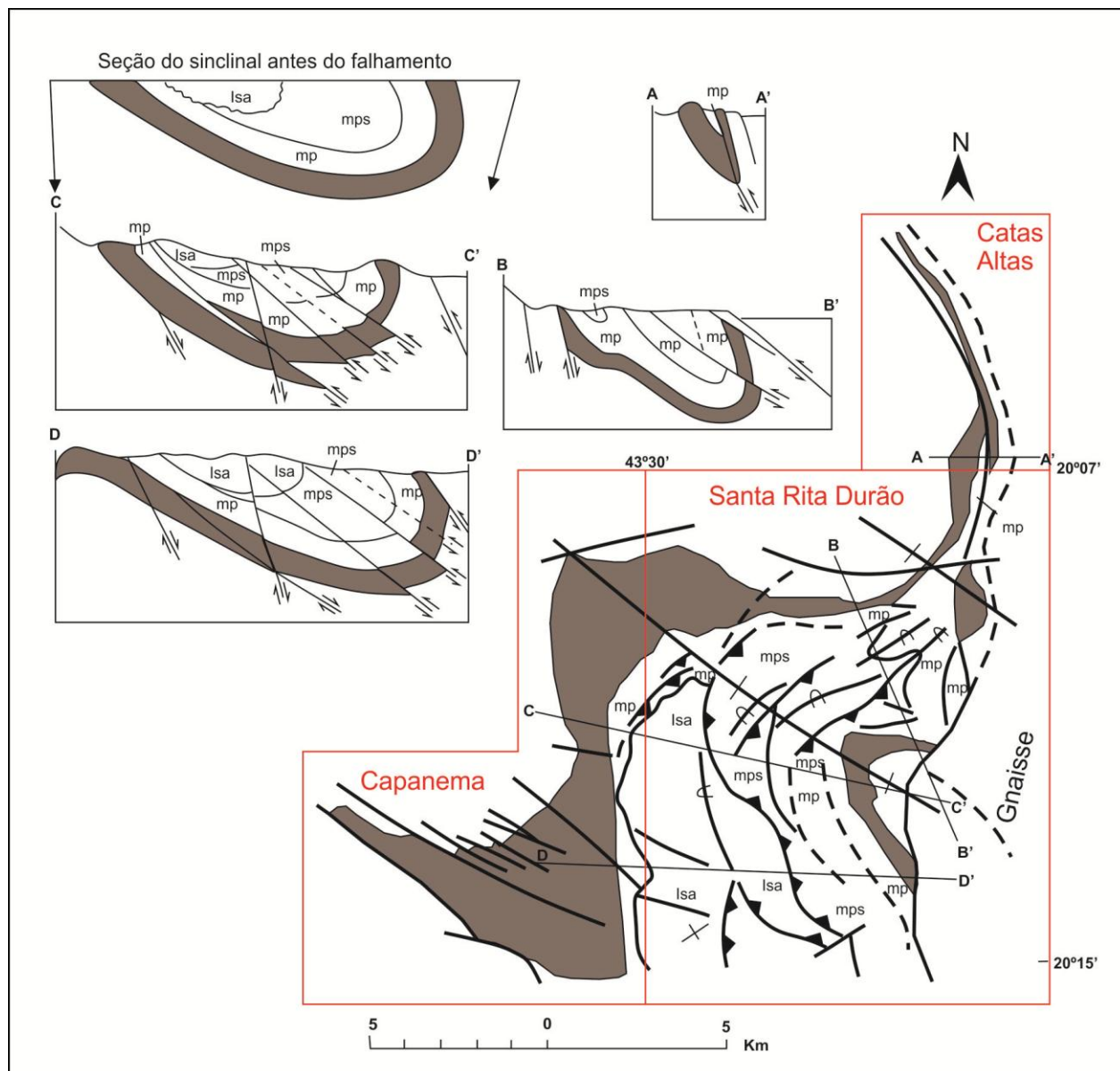


Figura 3.01 – Mapa geológico esquemático do Sinclinal Santa Rita proposto por Maxwell (1972) mostrando a relação das falhas e o traço axial da dobra. Em vermelho a articulação de domínios das quadrículas Capanema, Santa Rita Durão e Catas Altas, de escala 1:25.000. Os perfis A, B, C e D indicam a posição do eixo N-S e a geometria do sinclinal sugerida pelo autor. A área colorida em marrom representa o Grupo Itabira e as outras unidades são, mp - Grupo Piracicaba indiviso; mps - Grupo Sabará; Isa - Grupo Itacolomi, Facies Santo Antônio.

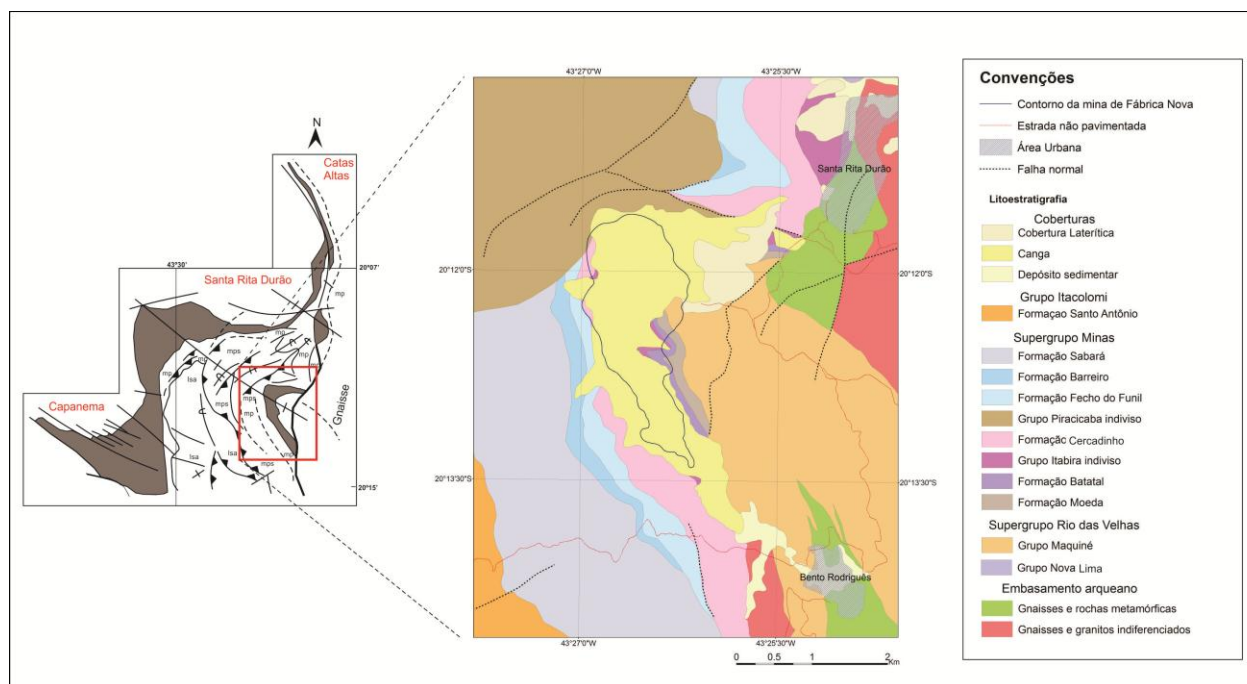


Figura 3.02 - Limite da área estudada com a geologia proposta por Maxwell (1960) e a localização da mina de Fábrica Nova.

3.3 - ESTRATIGRAFIA DA REGIÃO DE FÁBRICA NOVA

As principais unidades litológicas da porção centro-leste do sinclinal Santa Rita foram mapeadas na escala 1:5.000. A área a que se refere esta pesquisa abrange os distritos de Santa Rita Durão e Bento Rodrigues, ambos pertencentes ao município de Mariana (Figs. 3.02 e 3.17).

Os passos que conduziram a elaboração do mapa geológico para a área estudada foram:

- mapeamento geológico-estrutural em escala 1:5.000;
- revisão, redefinição e reinterpretação dos contatos entre as unidades presentes na área, sobretudo da formação ferrífera e encaixantes;
- amostragem de todos os litotipos aflorantes;
- análises petrográficas e caracterização mineralógica das amostras coletadas;

Os litotipos que afloram na porção centro-leste do sinclinal Santa Rita são definidos por rochas pertencentes ao Complexo Santa Bárbara, Grupo Maquiné do Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi. O Supergrupo Minas é definido pelas formações Moeda, Batatal, Cauê, Gandarela, Cercadinho, Barreiro e Grupo Sabará em seção estratigráfica invertida.

Idade	Supergrupo	Grupo	Formação	Fácies	Litologia	
Cenozóico			Cata Preta		Sedimentos argilosos a arenosos mal selecionados de coloração avermelhada com seixos de quartzo, quartzito, filito e formação ferrífera	
Paleo-Proterozóico					Intrusão máfica e ultramáfica	
		Itacolomi	Indiviso	Santo Antônio	Quartzitos e conglomerados	
					<i>Discordância angular</i>	
		Supergrupo Minas	Sabará	Saramenha		Xistos e filitos multicoloridos e formação ferrífera
						<i>Discordância erosiva</i>
			Piracicaba	Barreiro	Indiviso	Filitos grafitosos
						<i>Discordância erosiva</i>
				Cercadinho	Indiviso	Quartzitos ferruginosos e filitos sericíticos prateados
						<i>Discordância erosiva</i>
			Itabira	Gandarela	Indiviso	Itabiritos e filitos manganésíferos
					Cauê	Indiviso
	Caraça	Batatal	Indiviso	Filitos sericíticos multicoloridos		
			Moeda	Indiviso	Quartzitos pouco sericíticos com intercalações de níveis pelíticos de coloração esverdeada	
					<i>Discordância erosiva e angular</i>	
Arqueano	Supergrupo Rio das Velhas	Maquiné	Indiviso		Quartzitos sericíticos e metaconglomerados, quartzo-clorita-xistos, clorita xistos	
					<i>Discordância erosiva e angular</i>	
	Complexo Santa Bárbara	Indiviso	Indiviso	Indiviso	Gnaisses bastante alterados	

Figura 3.03 - Coluna estratigráfica proposta por Maxwell (1972) para região de Fábrica Nova.

3.3.1 - Complexo Santa Bárbara

As rochas do Complexo Santa Bárbara ocorrem a leste da Falha de Água Quente (Maxwell 1972) entre as cidades de Mariana e Santa Bárbara. Estas rochas, que compõem o embasamento da área, afloram de forma restrita ao sul da área na localidade de Bento Rodrigues e estendem-se mais ao sul. No entanto, seu domínio de ocorrência constitui toda a porção leste do mapa (Fig. 3.17). Além disso, formam relevos de morros arredondados e suavemente alongados. Em geral, estas rochas encontram-se bastante alteradas, formando um solo de coloração rosa esbranquiçado caolínico-quartzoso (Fig. 3.04). Petrograficamente, os litotipos típicos desta unidade são leucognaisses, biotita-xistos e pegmatóides.



Figura 3.04 – Estrutura interna e estado intemperizado do gnaiss do Complexo Santa Bárbara comumente observado na região. Estação FN-133. E: 666580, N: 7762925. Elevação: 826m (Anexo 2).

3.3.2 - Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas é representado na área pelo Grupo Maquiné indiviso (*e.g.* Maxwell 1972).

O Grupo Maquiné é caracterizado por um conjunto de rochas de composição predominantemente quartzítica de direção, em geral, NW-SE, que afloram entre as localidades de Santa Rita Durão e Bento Rodrigues no vale do córrego Ouro Fino. Estas rochas apresentam uma extensão transversal máxima, com aproximadamente 2700 metros a leste da mina de Fábrica Nova e um adelgaçamento na porção setentrional próximo a Santa Rita Durão.

De sul para norte, os xistos cloríticos e quartzitos do Grupo Maquiné se justapõem com os quartzitos da Formação Moeda em contato abrupto por meio de falha. Mais a norte, na região central da área mapeada, as rochas do Grupo Maquiné se sobrepõem às formações ferríferas da Formação Cauê por meio de falha e, na região norte, os xistos cloríticos voltam a sobrepor a Formação Moeda em contato normal e abrupto (Fig. 3.17).

Esta unidade compreende litotipos diversos, tais como: quartzo-clorita-xistos, clorita-xistos, quartzitos sericíticos ferruginosos, formações ferríferas e metaconglomerados, com seixos de formação ferrífera e quartzo extremamente estirados.

Os quartzo-clorita-xistos apresentam uma granulação muito fina, em geral friáveis, o que torna difícil sua amostragem e confecção de lâminas (Fig. 3.05a, b). Apresentam um bandamento com tonalidades claras e escuras intercaladas, com uma tonalidade amarelada a arroxeada predominante. A alteração arroxeada da rocha é interpretada como sendo a presença de clorita.

Os quartzitos sericíticos ferruginosos (Fig. 3.05c, d) são mapeados em toda a porção sudeste da área investigada. Estes quartzitos apresentam granulação que varia de fina a média e uma coloração esbranquiçada a levemente esverdeada. O acamamento é bem definido pela variação granulométrica dos grãos de quartzo e, localmente, observa-se estratificação cruzada acanalada de médio porte, sendo os estratos, na maioria das vezes salientados pela presença de material ferruginoso (Fig. 3.05f). A norte de Bento Rodrigues, seguindo a montante do córrego Ouro Fino, no antigo centro de pesquisa da BRAMOC (Anexo 2), os quartzitos encontram-se milonitizados, sendo esta estrutura observada sempre próxima ao contato com a falha a oeste dos quartzitos (Fig. 3.05e).

Petrograficamente, estes quartzitos são compostos por quartzo (60-80% em vol.), sericita (20-30% em vol.), opacos, em geral magnetita (5-10% em vol.) (Fig. 3.06a) e minerais acessórios (2% em vol.) zircão, titanita, epidoto. Os grãos de quartzo encontram-se recristalizados, com a comum presença de sombras de pressão (Fig. 3.06b). A textura é grano-lepdoblástica.

Localmente, encontram-se intercalados, com os quartzitos sericíticos, pacotes ou lentes de até 10 metros de espessura de metaconglomerados (Fig. 3.06c). Estes metaconglomerados são polimíticos, com seixos de quartzo e formação ferrífera mal selecionados e fortemente estirados em uma matriz predominantemente quartzosa sericítica com granulometria variando de fina a grossa.

Os clorita-xistos encontram-se em toda a porção leste da área em contato com o Complexo Santa Bárbara a leste e com o Supergrupo Minas através da falha Bento Rodrigues (Fig. 3.17) na região central da área mapeada. Apresentam-se em elevado grau de alteração, o que resulta em afloramentos de coloração avermelhada, variando para tons róseos a arroxeados (Fig. 3.06d). O elevado grau de alteração das rochas impossibilitou a obtenção de amostras para avaliação microscópica.

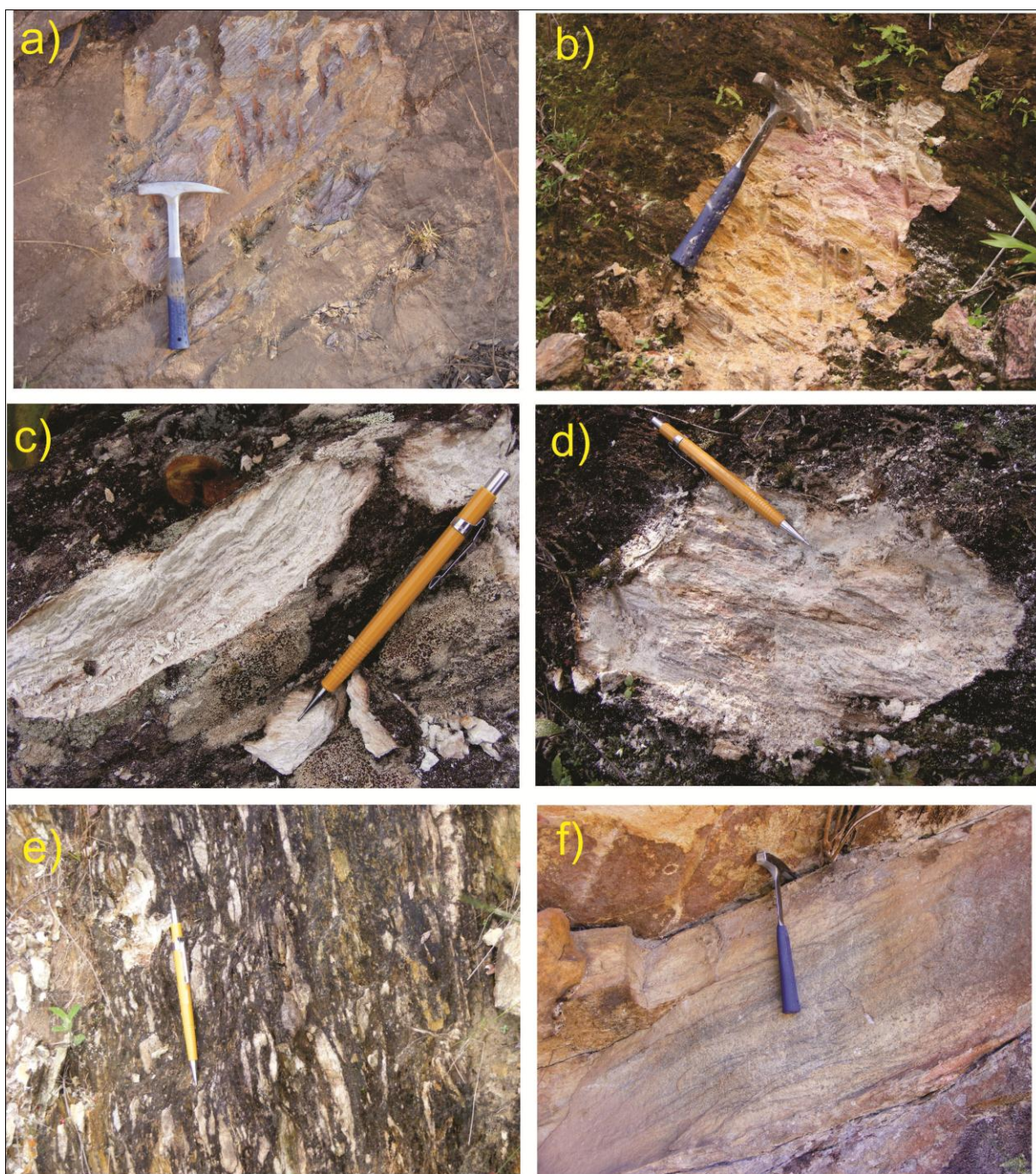


Figura 3.05 - a) Tonalidade arroxeada predominante dos quartzo-clorita-xistos. Estação FN-15. E: 665903, N: 7761771. Elevação: 770m. b) Aspecto friável dos quartzo-clorita-xistos. Estação FN-64 E: 664589, N: 7762952. Elevação: 760m. c) e d) Quartzito sericítico com contribuição de minerais de óxido ferro. Estação FN-242. E: 664054, N: 7763935. Elevação: 828m. e) Quartzito sericítico milonitizado encontrado a norte de Bento Rodrigues, no córrego Ouro Fino. Estação FN-63. E: 664054, N: 7763935. Elevação: 828m. f) Estratificação cruzada acanalada em posição invertida encontrada nos quartzitos. FN-02. E: 665486, N: 7759286. Elevação: 712m.

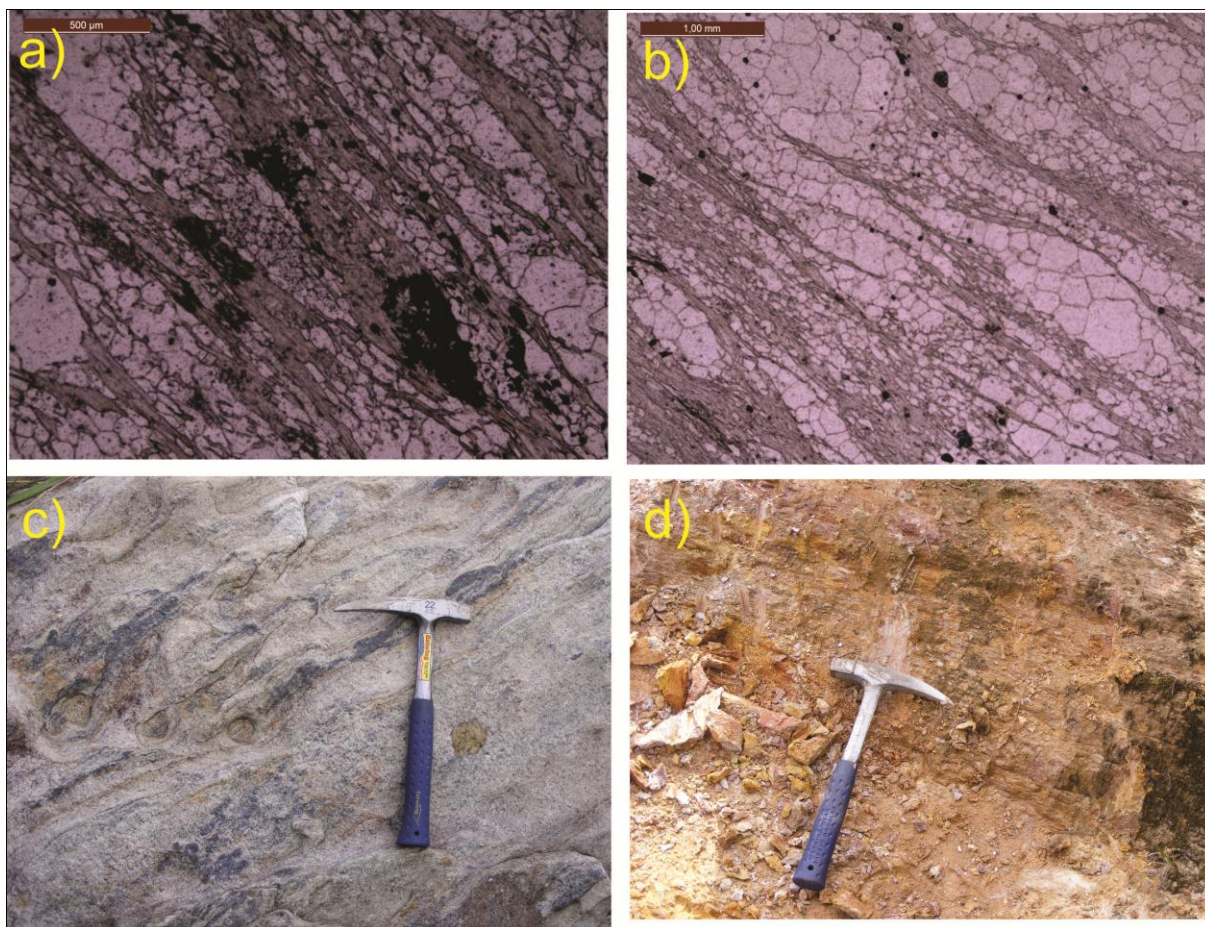


Figura 3.06 - a) Quartzo com recristalização dinâmica e textura milonítica encontrado nos quartzitos sericíticos. Amostra FN-63A, luz refletida, polarizadores paralelos b) Quartzo com sombra de pressão envolto a palhetas de sericita e opacos . Amostra FN-63B. luz refletida, polarizadores paralelos. c) Metaconglomerado com seixos de formação ferrífera extremamente estirados. Estação FN-119. E: 664054, N: 7763935. Elevação: 828m. d) Clorita xistos bastante alterado. Estação FN-95 E: 664107, N: 7761676. Elevação: 705.

3.3.3 - Supergrupo Minas

As rochas supracrustais pertencentes ao Supergrupo Minas estão representadas pelas formações Moeda, Batatal, Cauê, Gandarela, Cercadinho e Barreiro e Grupo Sabará em posição estratigráfica invertida.

3.3.3.1 - Grupo Caraça

Os metassedimentos da Formação Moeda afloram em duas ocorrências, uma ao sul da área mapeada (Fig. 3.17), próximo ao Córrego do Fraga na localidade de Bento Rodrigues, estendendo-se até a parede leste da cava sul da mina de Fábrica Nova e a outra a norte da área, próximo à Santa Rita Durão.

Na porção sul, esta unidade aflora em uma faixa de até 450 metros de espessura, com uma direção NNW e mergulho para ENE e estende-se até a mina de Fábrica Nova, na região central da área mapeada. Nesta região, esta unidade sofre um adelgaçamento tectônico associado à Falha Bento Rodrigues. Em Santa Rita Durão os quartzitos (Fig. 3.07a) voltam a aflorar em uma estreita faixa que não ultrapassa 100 metros espessura e são orientados segundo a direção NNE (Fig. 3.17).

Os afloramentos que caracterizam a Formação Moeda são essencialmente formados por quartzitos, cuja granulação varia de fina a média, com enriquecimento de sericita de sul para norte. Foi observado que o conteúdo em sericita adquire proporções elevadas nos afloramentos em que a camada de quartzito é seccionada pela Falha Bento Rodrigues. O acamamento aparece em bancos centimétricos a decimétricos, composicionalmente e texturalmente homogêneos. Localmente, observa-se estratificação cruzada acanalada e intercalações de níveis pelíticos de coloração esverdeada.

Em lâmina, os quartzitos da Formação Moeda são formados, basicamente, por quartzo e palhetas de biotita e muscovita em uma textura grano-lepidoblástica. Os cristais de quartzo apresentam uma recristalização dinâmica (Fig. 3.07c, d). A composição mineralógica engloba quartzo (80% em vol.) com quantidades subordinadas de biotita (13% em vol.) e muscovita (4% em vol.) e 3% de minerais acessórios como apatita, zircão. São observados resquícios de argilo-minerais, possivelmente caulinita.

A Formação Batatal acompanha as rochas da Formação Moeda em toda a área, o que implica no rompimento da unidade junto à mina de Fábrica Nova. Esta formação ocorre junto ao topo da Formação Moeda em contato normal e abrupto.

A espessura da Formação Batatal não ultrapassa 50 metros. É representada por filitos sericíticos, cinza claro a escuro, por vezes com uma coloração amarelada (Fig. 3.07b) a arroxeadada quando alterados. Apresenta uma foliação típica dos filitos e, por vezes, um aspecto ardosiado, sendo bem exposta nas estações FN-260 e FN-274 (Anexo 2), a sudeste da cava sul da mina de Fábrica Nova.

A assembléia mineral desse litotipo engloba principalmente muscovita (80 % em vol.), com quartzo de granulometria muito fina (15% em vol.) e minerais opacos como limonita e goethita (5% em vol.). Palhetas bem desenvolvidas de mineral micáceo encontram-se orientadas e parcialmente substituídas por limonita, argilo-minerais e ou material carbonoso (Fig. 3.07e, f). A textura é lepidoblástica a localmente granoblástica.

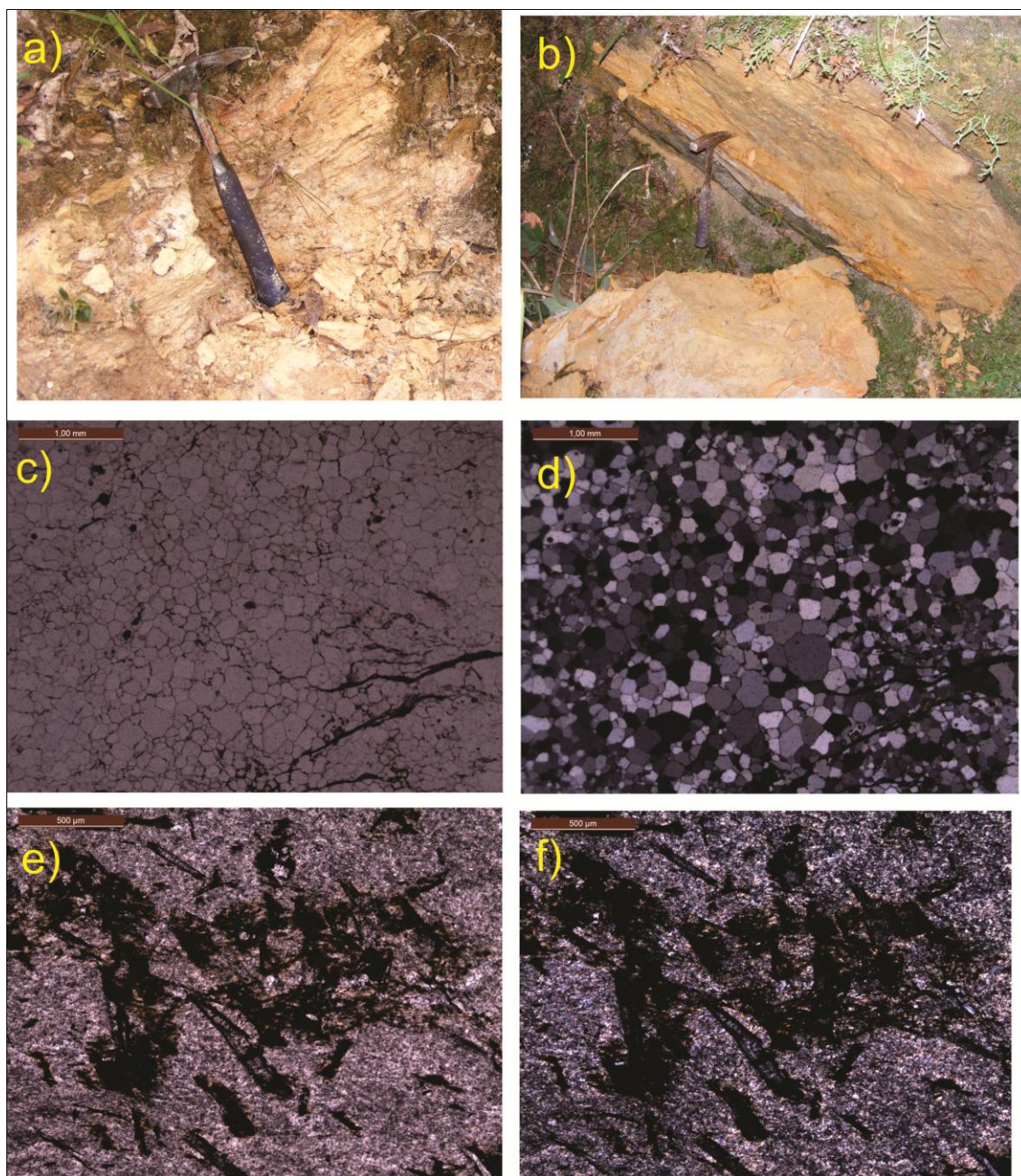


Figura 3.07 - a) Estado alterado do quartzito da Formação Moeda. Estação FN-133. E: 666580, N: 7762925. Elevação: 826m. b) Filito de coloração cinza amarelado da Formação Batatal. Estação FN-261. E: 663728, N: 7763315. Elevação: 819m. c) Quartzito da Formação Moeda. O quartzo é o mineral abundante e constitui agregados com forma subarredondada. Amostra FN-91, luz refletida, polarizadores paralelos. d) Amostra FN-91, luz refletida, polarizadores cruzados e) Palhetas bem desenvolvidas de mineral micáceo, parcialmente substituídas por limonita, argilo-minerais e ou material carbonoso. Amostra FN-261, luz refletida, polarizadores paralelos. f) Amostra FN-261, luz refletida, polarizadores cruzados (Anexo 2).

3.3.3.2 - Grupo Itabira

O Grupo Itabira é representado na área pelas formações Cauê e Gandarela.

A Formação Cauê ocorre desde a porção sul, onde aflora na estrada Bento Rodrigues/Barragem Santarém (Anexo 2, Fig. 3.17), até a região central da área mapeada, em uma faixa com aproximadamente 250 metros de espessura. Nesta porção do mapa, esta unidade apresenta uma direção NW-SE com mergulho para NE. Na região da mina de Fábrica Nova, a Formação Cauê tem um espessamento e uma inflexão para leste. Este espessamento, que é gerado a partir de dobramentos de sucessivas fases deformacionais, apresenta, em planta, uma geometria em *boomerangue* ao estilo de uma dobra assimétrica em padrão “Z” (Fig. 3.17). Nestes domínios, a Formação Cauê atinge espessuras da ordem de 1.500 metros. Ao sul de Santa Rita Durão, na porção setentrional da área mapeada, voltam a aflorar itabiritos com uma direção NE-SW, segundo orientação geral submeridiana (Fig. 3.17).

A Formação Cauê compreende itabiritos (Fig. 3.08a) diferenciados composicionalmente em itabiritos goethíticos, manganésíferos e, mais raramente, em itabiritos anfíbolíticos, além de corpos de hematitos.

Os itabiritos compactos da Formação Cauê apresentam, em lâmina, cristais de goethita (10 a 30% em vol.) substituindo a hematita (30 a 60% em vol.), nas quais prevalece a forma original das hematitas (Fig. 3.08b,c). Contém, também, magnetita (10 a 20% em vol.) e cristais de quartzo (20 a 50% em vol.) com recristalização dinâmica e junção tríplice. Além disso, a sua textura é granoblástica. O itabirito anfíbolítico contém quartzo acicular, orientados segundo uma foliação e textura grano-lebidoblástica (Fig. 3.08c).

Filitos e xistos manganésíferos da Formação Gandarela afloram em toda porção oeste da mina de Fábrica Nova em contato gradacional com os itabiritos da Formação Cauê (Fig. 3.17, 3.08d). Nesta porção da área mapeada, as rochas que compõem esta unidade apresentam uma orientação N-S e mergulho para E. A Formação Gandarela apresenta uma espessura máxima de 350 metros, o que indica o não espessamento da mesma.

Na estrada que liga Bento Rodrigues à Barragem Santarém (Anexo 1), são observados solos de coloração negra associados à metapelitos de coloração palha, que podem ser resultados da alteração de dolomitos da Formação Gandarela. Itabiritos manganésíferos e rochas carbonáticas fortemente intemperizadas voltam a aparecer em Santa Rita Durão, rumando para NNE.

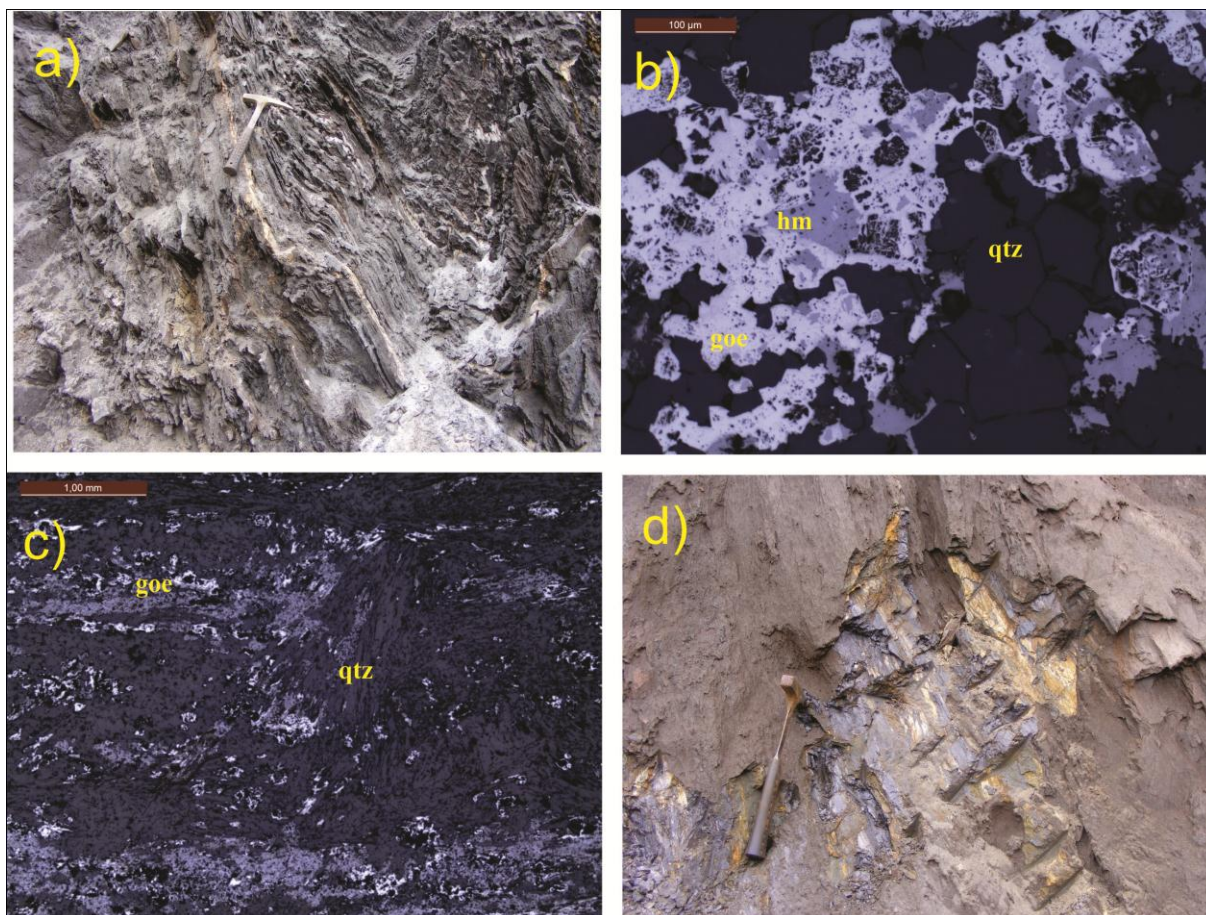


Figura 3.08 - a) Itabirito mapeado no interior da cava norte da mina de Fábrica Nova. Estação MF-193. E: 662899, N: 7765591. Elevação: 908m. Visada para leste. b) Cristais de goethita substituindo as hematitas nos itabiritos. Amostra MF-46, luz analisada. c) Quartzo acicular orientado e filmes de goethita e hematita encontrados no itabirito anfibolítico. Amostra MF-14, luz analisada. d) Xisto manganêsífero da Formação Gandarela mapeado no setor oeste da cava norte da mina de Fábrica Nova. Estação MF-347. E: 662382, N: 7765219. Elevação: 901m (Anexo 3). hm - hematita, qtz - quartzo e goe - goethita.

3.3.3.3 - Grupo Piracicaba

O Grupo Piracicaba é composto de duas de suas formações na área mapeada, Cercadinho e Barreiro. As formações Fecho do Funil e Taboões não afloram na área, porém, mármore descritos em furos de sonda na mina de Fábrica Nova podem ser correlacionados à Formação Fecho do Funil.

A Formação Cercadinho é mapeada em toda extensão da área estudada. Da porção meridional até a central, esta unidade apresenta uma espessura homogênea que não ultrapassa 500 metros e uma direção NW-SE com mergulho para NE. Na porção central, a norte da mina de Fábrica Nova, a unidade inflete para leste, seguindo a mesma geometria do Grupo Itabira e rumando para NE próximo à Santa Rita Durão (Fig. 3.17).

A Formação Cercadinho é constituída por quartzitos ferruginosos com uma granulação que varia de média à grossa. A coloração é acinzentada e é possível observar níveis ferruginosos com trilha de magnetita (Fig. 3.09a). Quartzitos finos, com intercalação de filitos sericíticos prateados (Fig. 3.09b), também são correlacionados a esta formação. Por vezes, são encontrados níveis centimétricos a métricos de filitos manganésíferos, de coloração marrom claro a escuro, entre as camadas de quartzitos.

Os quartzitos ferruginosos são formados principalmente por quartzo (40 a 80% em vol.) e opacos (10 a 15% em vol.), em geral hematita e magnetita, sericita (10 a 40% em vol.) e cloritóide (5 a 30% em vol.). Zircão ocorre como mineral acessório. As palhetas de sericita e de hematita especular encontram-se orientadas. Porfiroblastos de cianita (10 a 20% em vol.) encontram-se fracamente orientados (Fig. 3.09c, d). O quartzo apresenta extinção ondulante fraca e localmente sombra de pressão (Fig. 3.09e, f). A textura da rocha é granolepidoblástica.

Os filitos prateados ocorrem tanto associados aos quartzitos, quanto em pacotes contínuos. Macroscopicamente, apresentam uma coloração cinza clara e são formados de sericita, palhetas de cianita (Fig. 3.09b) e quartzo.

As principais paragêneses observadas foram: cianita-hematita-cloritóide-quartzo e quartzo-cianita-hematita. Estas paragêneses indicam metamorfismo em facies xisto verde médio a anfibolito baixo.

Sotopostos aos quartzitos da Formação Cercadinho, encontram-se filitos pretos e carbonosos da Formação Barreiro (Fig. 3.10) em posição estratigráfica invertida. Esta formação acompanha a Formação Cercadinho em toda a extensão da área mapeada. Boas exposições desta unidade podem ser observadas nos cortes de estradas que dão acesso à mina de Fábrica Nova na porção noroeste da área cartografada.

As rochas que compõem esta unidade apresentam uma espessura que varia de 50 a 600 metros. Esta variação é observada na zona de charneira de uma dobra de segunda ordem presente na região nordeste da área.

Em geral, a Formação Barreiro encontra-se bastante intemperizada, constituindo um material terroso de coloração que varia de tons marrons a negro.

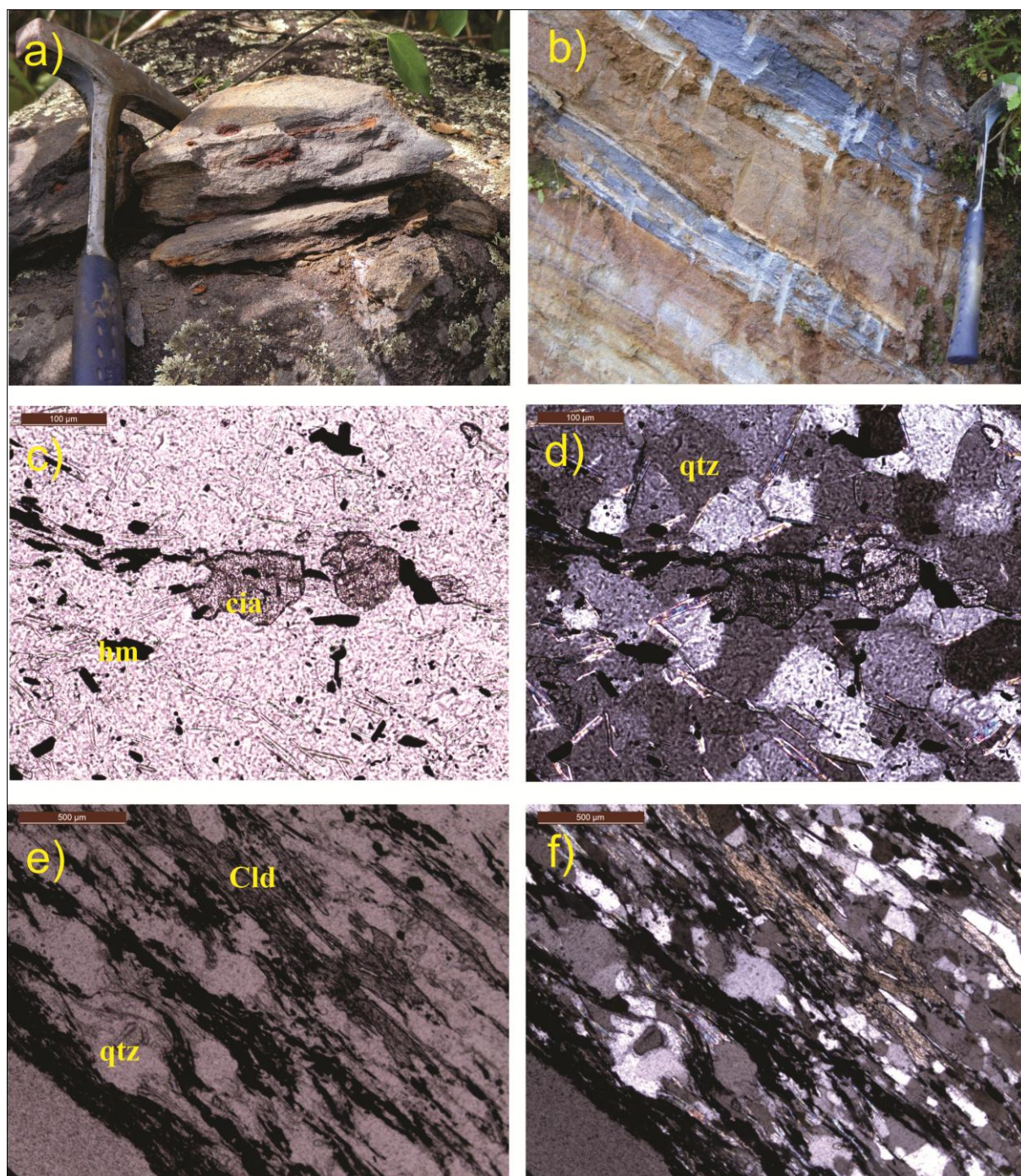


Figura 3.09 - a) Quartzito ferruginoso da Formação Cercadinho. Estação FN-100. E: 663559, N: 7761252. Elevação: 782m. b) Níveis de filito prateado intercalados no quartzito fino. Estes níveis representam o plano do acamamento com orientação 75/30. Estação FN-29. E:663483, N: 7762142. elevação: 751m. c) Porfiroblastos de cianita numa matriz quartzosa. Amostra FN-29, luz refletida, polarizadores paralelos. d) Amostra FN-29, luz refletida, polarizadores cruzados. e) Quartzito com sombra de pressão encontrado na Formação Cercadinho. Amostra FN-29, luz refletida, polarizadores paralelos. f) Amostra FN-29, luz refletida, polarizadores cruzados. hm - hematita, qtz - quartzo, Clid - cloritóide e cia - cianita.



Figura 3.10 - Filito preto da Formação Barreiro. Estação FN-26. E: 663230, N: 7762169. Elevação: 765m (Anexo 2).

3.3.4 - Grupo Sabará

O Grupo Sabará constitui a unidade de maior distribuição na área, e foi mapeado em toda a porção oeste. Este grupo apresenta uma direção NW-SE com mergulhos moderados para NE em quase toda sua extensão, acompanhando a mesma inflexão para leste que as outras unidades do Supergrupo Minas apresentam. O contato a leste com a Formação Barreiro é gradacional. Em um contexto regional, representa o núcleo do sinclinal Santa Rita.

A litologia predominante do Grupo Sabará é clorita xisto, em geral, em elevado grau de alteração e colorações variadas (arroxeadado, cinza, prateado, róseo e cores palhas), sendo a cor arroxeadada a mais característica (Fig. 3.11a, b). Ocorrem, ainda, filitos de coloração escura, próxima do negro, (Fig. 3.11c) que se intercalam aos xistos.

No extremo sudoeste da área aflora um pacote de pouco mais de 100 metros de espessura, de direção N-S com mergulho para E de formação ferrífera. O contato da formação ferrífera com os xistos é abrupto e normal. Petrograficamente, são itabiritos silicosos formados por bandas centimétricas de hematita e especularita, alternadas com sílica.

Pelas características estratigráficas associadas às observações macroscópicas, por exemplo, as laminações pouco definidas desta formação ferrífera, sugere-se que estas sejam de origem sedimentar do tipo GIF (Granular Iron Formation) (Fig. 3.11d).



Figura 3.11 - a) Xistos de coloração variada do Grupo Sabará. Estação FN-179. E: 664054, N: 7763935. Elevação: 828m. b) Xisto de coloração arroxeada que aflora na região oeste da área mapeada. Estação FN-290. E: 663889, N: 7765208. Elevação: 919m. c) Filito escuro que intercala os xistos do Grupo Sabará. Estação FN-289. E: 664054, N: 7763935. Elevação: 828m. d) Corpo de formação ferrífera do tipo GIF que aflora entre os xistos na porção sudoeste da área mapeada. Estação FN-317. E: 664054, N: 7763935. Elevação: 828m.

3.3.5 - Grupo Itacolomi

No extremo sudoeste da área mapeada, na porção mais elevada da estrada que liga a MG-129 à Barragem de Santarém (Anexo 2, Fig. 3.17), encontram-se quartzitos conglomeráticos (Fig. 3.12) ferruginosos e quartzitos grossos correlacionados a Fácies Santo Antônio do Grupo Itacolomi. Estas rochas apresentam uma direção N-S e mergulho para E. Cabe mencionar que a sua espessura não foi definida neste mapeamento.

Os quartzitos ferruginosos apresentam uma variação granulométrica em grãos finos a grossos, os quais definem o acamamento. É possível observar, nestes horizontes, estratificação cruzada acanalada em posição invertida.

Petrograficamente são formados por quartzo, mica e minerais ferruginosos, possivelmente hematita.



Figura 3.12 - Variação granulométrica dos grãos de quartzo representando o acamamento. O quartzito é correlacionado a fácies Santo Antônio do Grupo Itacolomi. Estação FN-313. E: 660392, N: 7761788. Elevação: 1028m.

3.3.6 - Rochas Intrusivas

As rochas intrusivas presentes na área são divididas em duas classes: metamáficas e metaultramáficas.

As metaultramáficas foram mapeadas nas porções sudeste, leste e nordeste da área. Estas rochas encontram-se seccionando em uma direção NW-SE tanto os gnaisses do Complexo Santa Bárbara, quanto às unidades do Supergrupo Minas. Seus principais afloramentos foram mapeados a sudeste de Bento Rodrigues na estação FN 61 e, a leste de Santa Rita Durão, na estação FN 135 (Anexo 2). São corpos de até 10 metros de espessura caracterizados pela coloração esverdeada (Fig. 3.13a) e aspecto sedoso, característicos da ‘pedra sabão’.

Em lâmina, estas rochas são constituídas principalmente de clorita (80% em vol.) (Fig. 3.13b) e talco (15% em vol.) Encontram-se também opacos, representados por magnetitas, e leucoxênio como minerais acessórios. Tratam-se de clorita-talco xisto com uma xistosidade fortemente anastomótica com atitude média 85/65. Observa-se, também, crenulações, cujo o eixo apresenta um caimento suave para norte. O protólito dessa rocha deve ter sido, provavelmente, uma rocha de composição

ultramáfica, a qual, durante os processos tectono-metamórficos sofreu uma intensa talcificação e cloritização.

Corpos metamáficos, de direção E-W, encontram-se seccionando as rochas do Grupo Itabira e foram observados na cava norte da mina de Fábrica Nova. Estes corpos apresentam-se bastante alterados, o que resulta em uma coloração arroxeadada a amarelada (Fig. 3.13c, d). São formados, principalmente, de clorita e porfiroblastos de magnetita euédricos de caráter pós-cinemático que se distribuem por toda a matriz.

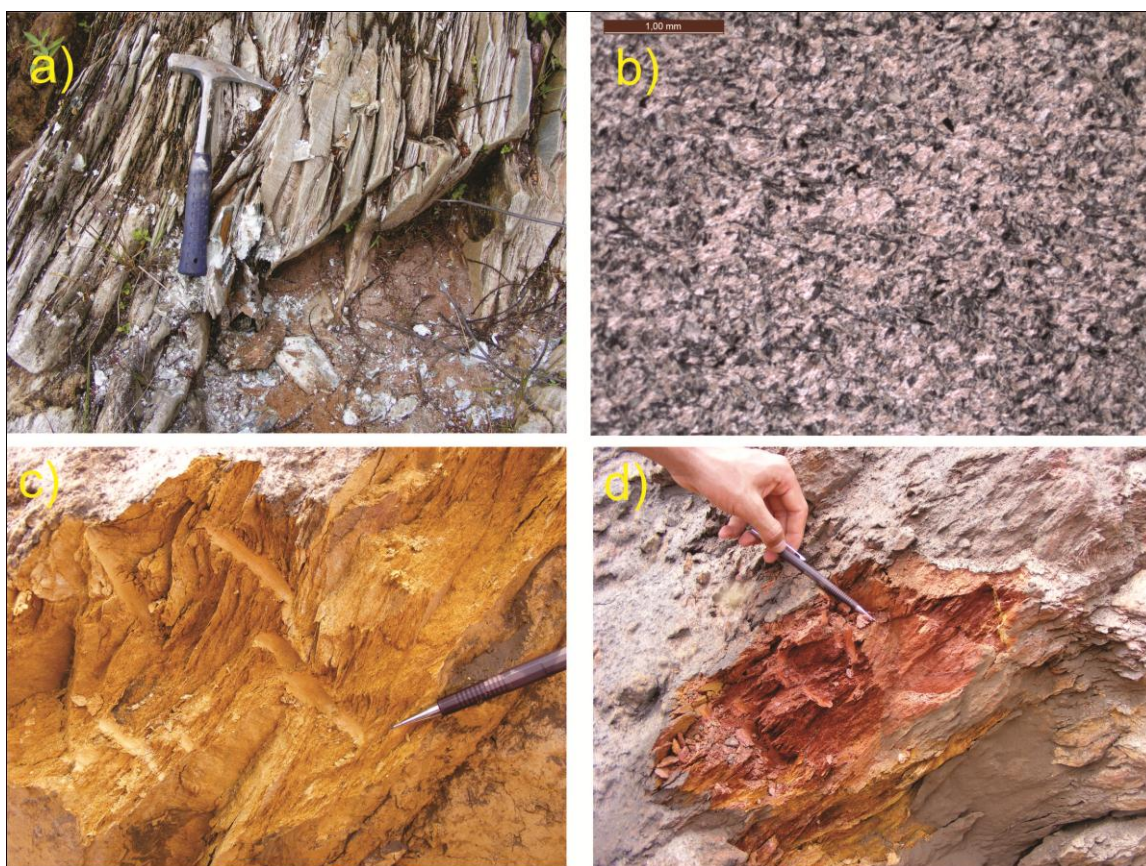


Figura 3.13 - a) Intrusão metaultramáfica próximo a localidade de Bento Rodrigues. Estação FN-61. E: 664957, N: 7762446. Elevação: 718m. b) Lâmina da metaultramáfica formada de clorita e talco. Amostra FN-08, luz refletida, polarizadores cruzados. c) e d) Coloração amarelado e arroxeadada respectivamente das intrusões metamáficas que ocorrem na cava norte da mina de Fábrica Nova.

3.3.7 - Depósitos Cenozóicos

Os depósitos cenozóicos são constituídos por *diamictons* de coloração avermelhada, matriz arenosa e clastos de quartzito e formação ferrífera, que afloram a oeste de Santa Rita Durão e em toda porção leste da cava norte da mina de Fábrica Nova. Em Santa Rita Durão, este depósito sedimentar

encontra-se no contato entre o quartzito ferruginoso da Formação Cercadinho e itabiritos da Formação Cauê. Esses sedimentos foram formalmente denominados de Formação Cata Preta por Castro *et al.* (1998).

Na mina de Fábrica Nova, mais precisamente na porção nor-nordeste da cava norte, estes depósitos são melhores expostos, tanto na sucessão estratigráfica, bem como na geometria do arcabouço estrutural. Ocorrem como sedimentos argilosos intercalados em camadas de sedimentos arenosos mal selecionados, de coloração avermelhada, com seixos de quartzo, quartzito, filito e formação ferrífera (Fig. 3.14).



Figura 3.14 - Sedimentos argilosos avermelhados contendo fragmentos de quartzo e formação ferrífera de variados tamanhos. Material típico da Formação Cata Preta. Afloramento encontrado na cava norte da mina de Fábrica Nova. MF-206. E: 662759, N: 7765891. Elevação: 934m.

Quando este depósito estava menos exposto na mina de Fábrica Nova, Lipski (2002) o dividiu em duas fácies. Na fácies basal predominam diamictitos, formados por seixos de hematita e itabiritos de variados tamanhos. A fácies superior é formada por sedimentos argilosos, de coloração marrom com fragmentos de quartzo e conglomerados com seixos angulosos de filito, xisto e itabirito suportados pela matriz argilosa de coloração marrom.

O mapeamento realizado na mina de Fábrica Nova possibilitou a elaboração de um perfil estratigráfico, individualizando seis fácies neste depósito sedimentar:

Fácies 1 - Esta fácies é formada por sedimentos argilo-arenosos de coloração amarelo avermelhado (Fig. 3.15a), formado por quartzo de granulação fina e argilo minerais. Sua espessura aparente é de 74 metros.

Fácies 2 - Sedimentos areno-argilosos de coloração amarronzada (Fig. 3.15b), com seixos de quartzo e presença de estratificação (Fig. 3.15c) constituem esta fácies. Sua espessura aparente é de 46 metros.

Fácies 3 - Esta fácies é formada por conglomerados suportados por uma matriz areno-argilosa de coloração amarelada, formada por grãos arredondados a sub-arredondados e blocos de filitos, quartzo e formação ferrífera que atingem até 20 centímetros de diâmetro. É possível observar planos estratificados mergulhando para sul. Sua espessura aparente de 60 metros.

Fácies 4 - Sedimentos arenosos de coloração marrom avermelhada, com seixos de quartzo e formação ferrífera. Não é observado nesta fácies estratificação. Sua espessura aparente é de 140 metros.

Fácies 5 - Sedimentos com uma matriz argilosa de coloração avermelhada. Nesta fácies são encontrados de seixos à matacões métricos de formação ferrífera (Fig. 3.15e). Sua espessura aparente é de 315 metros.

Fácies 6 - Esta fácies situa-se próxima ao contato com as encaixantes da Formação Cauê. Constitui *diamictons* suportados pelos seixos e uma matriz areno-argilosa de coloração amarronzada (Fig. 3.15f). Apresenta seixos e matacões angulosos de canga e formação ferríferas. Sua espessura aparente é de 40 metros.

As características observadas nas fácies 1, 2 e 3 podem classificá-las como a fácies superior descrita por Lipski (2002). Por sua vez, as fácies 3, 4 e 5 são similares à fácies basal observada pelo autor.

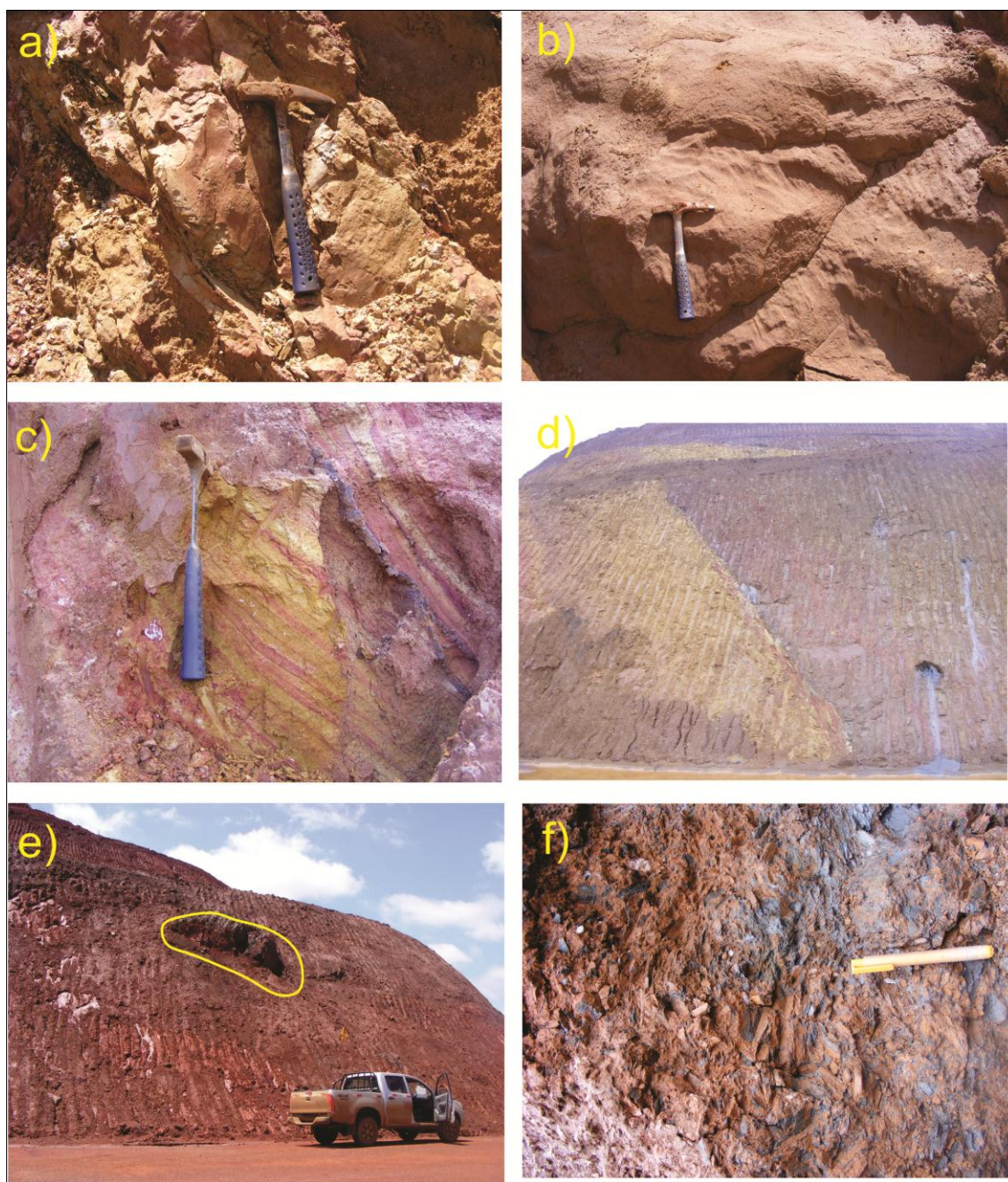


Figura 3.15 – Formação Cata Preta. a) Sedimentos argilo-arenosos de coloração amarelo avermelhado da fácies 1. b) Sedimentos arenosos de coloração amarronzada da fácies 2. c) Presença de bandas com estratificação na fácies 3. d) Contato entre a fácies 3 e a fácies 4. e) Em detalhe matacão métrico de formação ferrífera da fácies 5. f) Diamictito suportado pelos seixos da fácies 6.

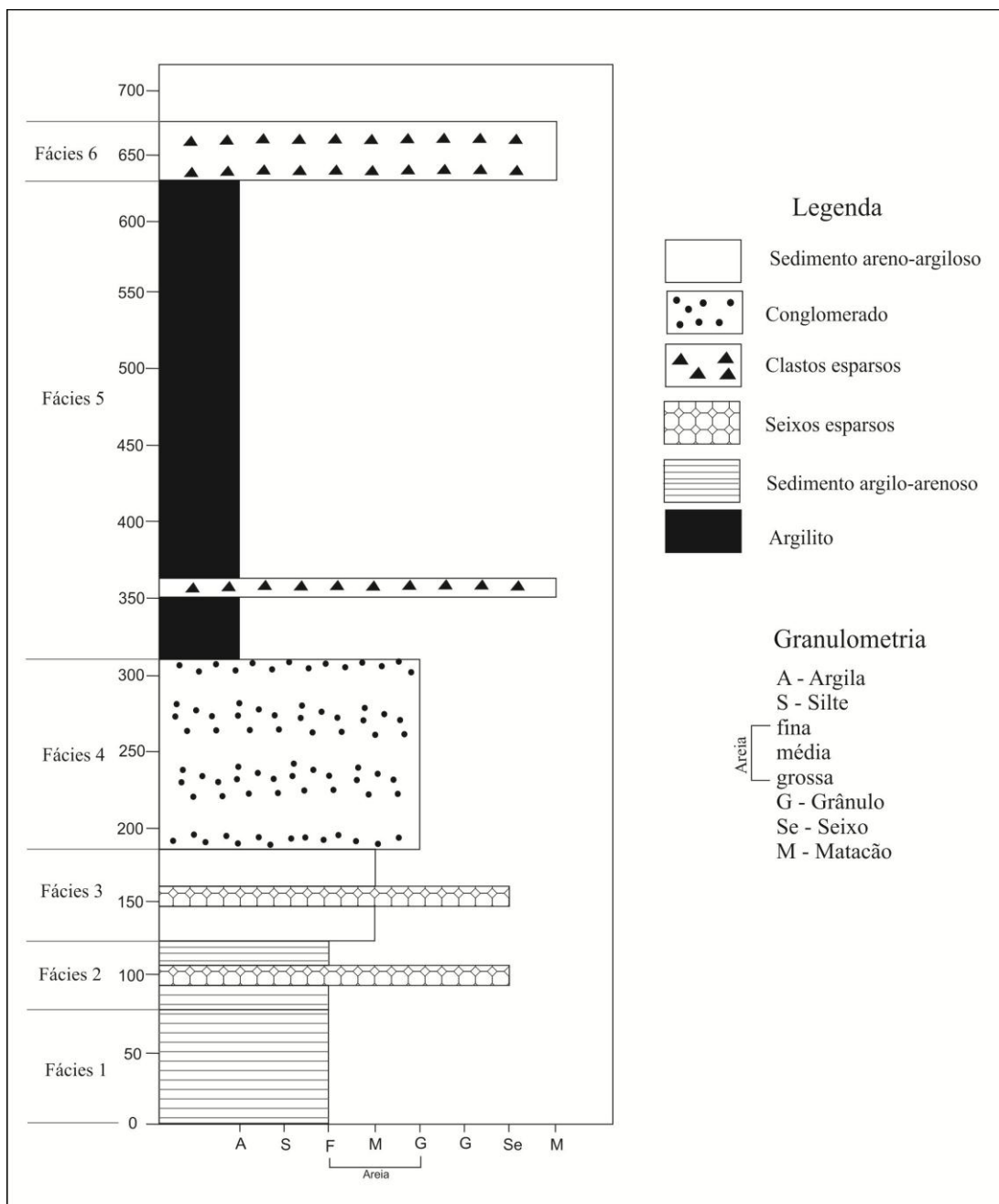


Figura 3.16 - Seção estratigráfica da Formação Cata Preta na mina de Fábrica Nova.

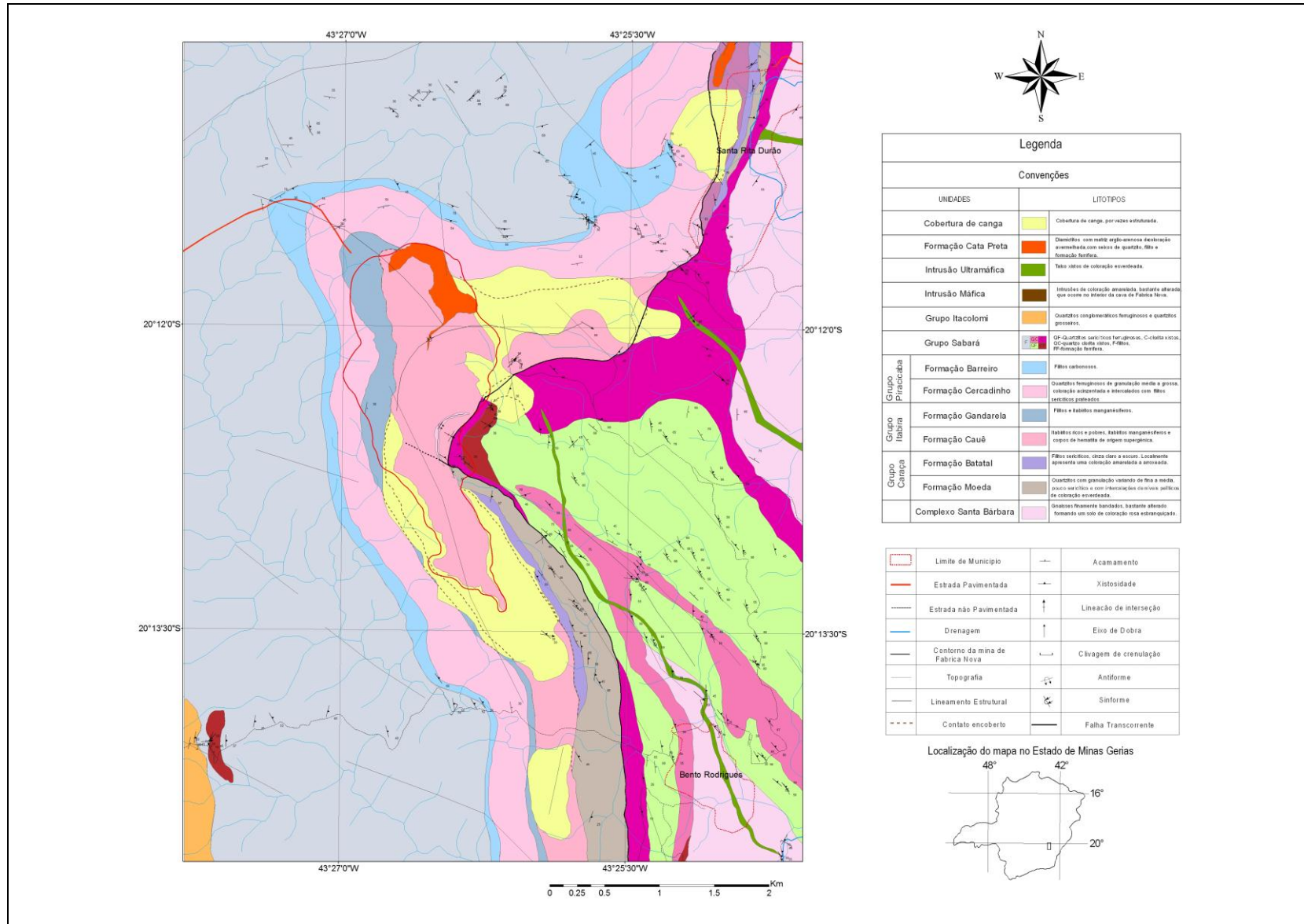


Figura 3.17 - Mapa geológico da área mapeada na porção centro-leste do sinclinal Santa Rita.

CAPÍTULO 4

REDEFINIÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA DA REGIÃO DE FÁBRICA NOVA

4.1 – INTRODUÇÃO

Quartzitos, xistos e metaconglomerados, que afloram entre Santa Rita Durão e Bento Rodrigues, são correlacionados por Dorr (1969) e Maxwell (1960 e 1972) ao Grupo Maquiné indiviso (Fig.3.02). No entanto, com base nos dados coligidos no mapeamento geológico realizado desta região propõe-se que estas rochas sejam correlacionadas à Formação Estrada Real (*e.g.* Almeida *et al.* 2005) do Grupo Sabará.

Assim sendo, este capítulo sugere uma redefinição da coluna estratigráfica da porção centro-leste do sinclinal Santa Rita, mais precisamente na região de Fábrica Nova. A redefinição, de acordo com o Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica, pode ser justificada, pois torna uma unidade estratigráfica mais útil ou fácil de ser entendida, mapeada ou estendida na sua área de ocorrência.

Esta redefinição suporta-se no mapeamento geológico, na escala 1: 5.000, o qual possibilitou o reconhecimento das características litológicas, bem como o entendimento das relações estruturais. Aliado às análises petrográficas e mineralógicas, aos estudos bibliográficos e ao contexto regional, o presente trabalho sugere uma redefinição em relação à proposta litoestratigráfica vigente para a área, sugerida por Maxwell (1960) (Fig. 3.02).

Para corroborar a proposta de redefinição da litoestratigrafia na região de Fábrica Nova, é apresentada a definição do Grupo Maquiné e a Formação Estrada Real em suas seções tipo.

4.2 - GRUPO MAQUINÉ

As rochas do Grupo Maquiné sobrepõem o Grupo Nova Lima em sua seção tipo, na porção leste do vale Rio das Velhas (Dorr 1969). O Grupo Maquiné é dividido em duas unidades: a Formação Palmital (O'Rourke 1958) na base, e a Formação Casa Forte (Gair 1962) no topo.

4.2.1 - Grupo Maquiné indiviso

O Grupo Maquiné indiviso é mapeado nas quadrículas Rio Acima, Capanema, São Bartolomeu, Catas Altas, Santa Rita Durão, Mariana e Antônio Pereira (Dorr 1969). É constituído principalmente de quartzitos, que podem ser cloritizado, piritoso, sericítico ou puro. Localmente, este grupo contém cloritóide. Todos estes tipos podem ser conglomeráticos. Quartzo-clorita-xistos, quartzo xisto e filito sericítico também ocorrem nesta unidade (Dorr 1969).

A natureza do contato destas rochas com o Grupo Nova Lima é, muitas vezes, obscurecida devido à falhas ou à exposições ruins. No entanto, o contato em alguns locais é por meio de falhas e, em outros, é estrutural e estratigraficamente concordante.

4.2.2 - Formação Palmital

A Formação Palmital é mapeada nas quadrículas Caéte, Gandarela, Rio Acima e Rio das Pedras (Dorr 1969). O'Rourke (1958) classificou a Formação Palmital como uma unidade formada, predominantemente, por quartzitos e filitos quartzosos e posicionada na base do Grupo Maquiné. Os quartzitos apresentam uma granulometria que varia de média à fina, com pequena porcentagem de sericita. Gair (1962) descreveu a petrografia da Formação Palmital mais detalhadamente e observou a presença de cloritóide e fuchcita nos quartzitos presentes no sinclinal Vargem do Lima. Lentes ou camadas de conglomerados também foram encontradas na Formação Palmital (O'Rourke 1958).

O contato entre a Formação Palmital com o subjacente Grupo Nova Lima é ocultado em muitos lugares por detritos derivados das camadas mais quartzosas da Formação Palmital (Dorr 1969). Na quadrícula Rio Acima, Gair (1958) observou um conglomerado basal ao longo do contato, considerado por ele, provavelmente, uma discordância com baixo ângulo.

4.2.3 - Formação Casa Forte

A Formação Casa Forte, definida por Gair (1962), é constituída por xistos, quartzitos sericíticos, metaconglomerados, clorita xistos e filitos. Os quartzitos podem ser xistosos ou compactos, brancos ou amarronzados dependendo do mineral acessório ou subordinado. Grãos de quartzos subangulosos e de dimensões centimétricas ocorrem esparsos em uma fina matriz quartzosa com aporte de sericita. Os metaconglomerados podem ocorrer tanto como lentes, quanto em camadas de extensão lateral quilométricas. São constituídos de seixos alongados de filito, formação ferrífera, quartzito e metachert, em uma matriz de quartzo ou material ferruginoso (Dorr 1969).

O contato da Formação Casa Forte com Formação Palmital é gradacional e marcado por uma camada conglomerática (Dorr 1969).

4.3 - GRUPO SABARÁ – FORMAÇÃO ESTRADA REAL

A Formação Estrada Real, definida por Almeida (2004), encontra-se estratigraficamente sobreposta à Formação Saramenha no topo do Grupo Sabará. Esta formação é constituída por um pacote de rochas metassedimentares que aflora nas regiões de Chapada e Lavras Novas, a sul da cidade de Ouro Preto (Almeida 2004).

Litologicamente, esta formação é composta predominantemente por metarenitos sericíticos, que gradam para metaconglomerados polimíticos, intercalados com camadas métricas à decamétricas de metadiamicititos (Almeida 2004).

Os metarenitos são formados por meta-quartzo-arenitos e sericita-quartzo xistos, de coloração esbranquiçada com variação para tonalidades esverdeadas e rosadas. Apresentam granulação variada de silte até areia grossa. Localmente, observam-se clastos e seixos de quartzo, filito, granito e seixos alongados de quartzito ferruginoso e itabirito (Almeida 2004). Ocorrem estratificações cruzadas de pequeno a médio porte, cujos estratos são salientados pela presença de material ferruginoso sedimentar.

Os metaconglomerados podem ocorrer em camadas centimétricas à métricas. São polimíticos, mal selecionados e com uma matriz formada predominantemente por quartzo e mica branca. Os seixos são compostos por quartzito puro ou ferruginoso, em geral, arredondados, e formação ferrífera e filito estirados (Almeida 2004).

4.4 – JUSTIFICATIVA

Em uma pequena área na porção sudeste da quadrícula Santa Rita Durão, aflora um pacote de rochas quartzíticas de coloração cinza. Este pacote foi correlacionado por Maxwell (1960), de forma indivisa, ao Grupo Maquiné, sobretudo pela similaridade litológica com os quartzitos do topo do Grupo Maquiné, expostos ao longo da estrada que passa a norte da Serra do Caraça (Dorr 1969). Estes quartzitos mapeados na Serra do Caraça, como Grupo Maquiné indiviso, são maciços com acamamento bem marcado e por vezes xistosos (Maxwell 1960). Localmente, contém cloritóide e pirita. Próximo à base da seção, afloram clorita xistos e quartzo-clorita xistos de coloração amarronzada, acinzentada ou esverdeada com seixos de veios de quartzo dispersos (Maxwell 1960). É importante salientar que o referido autor não determinou a espessura e a natureza do contato destas rochas.

A posição estratigráfica, provavelmente, é um fator que contribuiu para que Maxwell (1960) tenha correlacionado estas rochas quartzíticas ao Grupo Maquiné indiviso, uma vez que as mesmas posicionam-se no topo, em posição estratigráfica inversa, e em contato com as rochas do embasamento cristalino. Essa posição estratigráfica é, em geral, ocupada pelas unidades do Supergrupo Rios das Velhas.

Em contraposição a proposta de Maxwell (1960) e Dorr (1969), o presente estudo sugere que o pacote de rochas metassedimentares, que afloram entre Bento Rodrigues e Santa Rita Durão, seja correlacionável à Formação Estrada Real (Almeida 2004) do Grupo Sabará. Almeida (2004) descreve ao longo da rodovia MG-129, antiga Estrada Real, nas regiões de Chapada e Lavras Novas, ao sul da

cidade de Ouro Preto, um pacote de rochas metassedimentares definidos como Formação Estrada Real, topo do Grupo Sabará. Tanto a composição mineralógica, quanto os aspectos litológicos, texturais e estruturais destas rochas, corroboram a proposta da redefinição da coluna estratigráfica nesta porção do sinclinal Santa Rita.

Quanto à composição mineralógica, o fundamento que sustenta a proposta é o alto teor de minerais ferruginosos de origem sedimentar observados nos xistos e quartzitos que, de acordo com Dorr (1969) não são características do Grupo Maquiné. Por outro lado, esta contribuição ferruginosa é bem descrita por Almeida (2004) nos quartzitos da Formação Estrada Real.

Os quartzitos sericíticos ferruginosos, mapeados entre Bento Rodrigues e Santa Rita Durão (Fig. 4.01), apresentam uma granulometria que varia de fina à média, uma coloração esbranquiçada à levemente esverdeada e uma alta contribuição de minerais ferruginosos (Fig. 4.01). O seu acamamento é bem definido pela variação granulométrica dos grãos de quartzo e, localmente, observa-se estratificação cruzada acanalada de médio porte, sendo os estratos, na maioria das vezes, salientados pela presença de material ferruginoso (Fig. 4.02).



Figura 4.01 - Quartzito esbranquiçado de granulometria média e com alta contribuição de minerais ferruginosos de origem sedimentar.



Figura 4.02 - Estratificação cruzada acanalada de médio porte com os estratos salientados pela presença de material ferruginoso.

Adicionalmente, estudos geocronológicos realizados em quartzitos na região de Furquim, corroboram a proposta de redefinição estratigráfica. Estes quartzitos mapeados em Furquim, distrito de Mariana a leste de Camargo (Fig. 1.01), são um prolongamento a sudeste dos quartzitos mapeados na área estudada. Datações U/Pb em zircão por LA-ICP-MS no Departamento de Geologia da UFOP, mostram uma população com idades mínimas $207\text{Pb}/206\text{Pb}$ de $2035 \pm 21\text{MA}$, que é então a idade de deposição máxima do protólito dos quartzitos Furquim (Alvarenga 2013). Desta forma, estes quartzitos a leste do Qfe não podem ser correlacionados ao Grupo Maquiné.

Como interpretação para a posição destas rochas, sugere-se que, o movimento de cavalgamento de norte para sul, da falha de Água Quente, levou unidades do embasamento e lascas das porções superiores do Supergrupo Minas. Porções dessas supracrustais estão confinadas no anticlinal Bento Rodrigues formado pelas rochas quartzíticas da Formação Estrada Real, entre Santa Rita Durão e Bento Rodrigues.

O segmento de falha situado mais a leste do Sistema de Falhas Água Quente (Maxwell 1972) tem por característica sobrepor o embasamento, a leste, às rochas supracrustais, a oeste. Esta interpretação prevalece até recentemente sendo corroborada pelos estudos de Ferreira Filho (1999) e Ferreira Filho e Fonseca (2001).

Idade	Supergrupo	Grupo	Formação	Fácies	Litologia	
Cenozóico			Cata Preta		Sedimentos argilosos a arenosos mal selecionados de coloração avermelhada com seixos de quartzo, quartzito, filito e formação ferrífera	
Paleo-Proterozóico					Intrusão máfica e ultramáfica	
		Itacolomi	Indiviso	Santo Antônio	Quartzitos e conglomerados	
					<i>Discordância angular</i>	
		Supergrupo Minas	Sabará	Estrada Real	Indiviso	Quartzitos sericíticos e metaconglomerados, quartzo-clorita-xistos, clorita xistos e formação ferrífera
				Saramenha	Indiviso	Xistos e filitos multicoloridos
						<i>Discordância erosiva</i>
			Piracicaba	Barreiro	Indiviso	Filitos grafitosos
						<i>Discordância erosiva</i>
				Cercadinho	Indiviso	Quartzitos ferruginosos e filitos sericíticos prateados
						<i>Discordância erosiva</i>
			Itabira	Gandarela	Indiviso	Itabiritos e filitos manganésíferos
				Cauê	Indiviso	Itabiritos e hematitos
			Caraça	Batatal	Indiviso	Filitos sericíticos multicoloridos
		Moeda		Indiviso	Quartzitos pouco sericítico com intercalações de níveis pelíticos de coloração esverdeada	
					<i>Discordância erosiva e angular</i>	
Arqueano	Complexo Santa Bárbara	Indiviso	Indiviso	Indiviso	Gnaisses bastante alterados	

Figura 4.03 - Coluna estratigráfica proposta para a região de Fábrica Nova.

CAPÍTULO 5

ARCABOUÇO ESTRUTURAL

5.1 – GENERALIDADES

Para um melhor entendimento das grandes estruturas, bem como a interpretação de sua evolução, é necessária uma minuciosa avaliação do arcabouço estrutural nas diversas escalas de observação. A importância da compreensão de estruturas em escala mesoscópica já era reconhecida no final do século XIX por Pumpelly *et al.* (1894), que notou o paralelismo geral existente entre a meso estrutura e o arranjo estrutural regional.

A definição de estruturas menores, às vezes chamadas de estruturas de pequena escala, e o uso destas estruturas foi descrita por Wilson (1961, 1982) da seguinte forma:

"estruturas de pequena escala são as estruturas de origem tectônica que podem ser observadas a olho nu no campo. Sua escala varia amplamente. O reconhecimento dessas estruturas menores, a apreciação de sua origem e o significado, ajudam o geólogo de campo a elucidar a estrutura geológica em larga escala de sua área. Comumente, podem ser usados para decifrar sucessão stratigráfica em regiões fortemente dobradas, em terrenos que sofreram superposição de movimentos tectônicos, e desta forma, fornecer evidências das sucessivas fases ou eventos deformacionais na história tectônica"

A análise estrutural moderna e os seus princípios se fundamentam na idéia de que a simetria das estruturas presentes nas rochas reflete a simetria dos mecanismos de deformação responsáveis pelas mesmas.

Nesse contexto, a análise estrutural detalhada envolve três estratégias fundamentais (Turner e Wilson 1963), quais sejam: análise descritiva, análise cinemática e análise dinâmica. A análise descritiva está relacionada ao reconhecimento e à descrição dos elementos estruturais planares e lineares, bem como os indicadores cinemáticos e de vorticidade, com intuito de interpretar as fases de deformação. A análise cinemática busca compreender e reconstruir os movimentos deformacionais responsáveis pelo desenvolvimento destas estruturas. Por fim a análise dinâmica interpreta os movimentos deformativos em termos dos esforços aplicados.

O emprego desta metodologia no mapeamento regional e de detalhe possibilitou a caracterização de cinco fases de deformação. A estruturação de caráter dúctil é a mais importante, pois esta define a arquitetura de toda a região de Fábrica Nova.

5.2 – TERMINOLOGIA

De acordo com a terminologia proposta por Turner & Weiss (1963), Ramsay (1967), Hobbs *et al.* (1976), Bell & Hammond (1984), foi adotada a seguinte nomenclatura para a designação dos elementos estruturais e tectônicos:

- Evento Tectônico E_n
- Fase de deformação F_n
- Bandamento composicional S_b
- Foliação, xistosidade ou clivagem S_n
- Lineação mineral L_{min}
- Lineação de interseção L_n
- Eixo de dobra B_n

Para a orientação espacial de estruturas planares e lineares, foi adotada a notação *Clar* ou trama. O tratamento estatístico dos dados estruturais, planares e lineares, foi elaborado no programa GeOrient 3.0 para projeção estereográfica de igual-área, hemisfério inferior. A caracterização da vorticidade, se horária ou anti-horária ou pelos estilos de dobras em “Z” ou em “S”, respectivamente, foi realizada utilizando-se a convenção, internacionalmente aceita, *down plunge* em relação à lineação de interseção ou ao eixo de dobras mesoscópicas.

Para a montagem do banco de dados estruturais georeferenciados, foi tomada em cada estação geológica no mínimo uma atitude representativa de cada feição estrutural.

5.3 - DOMÍNIOS ESTRUTURAIS

Com base em critérios estruturais propostos por Harland (1956), Kent *et al.* (1969), Hansen (1971), Robertson (1994), Hsue (1995) e Xypolias (2010) baseado em estilos estruturais, geometria e propriedades da trama, a região de estudo foi dividida em dois domínios estruturais distintos: domínio oriental e domínio ocidental (Fig. 5.01). A assimetria estrutural e a vorticidade foram caracterizadas segundo a visada no sentido de caimento do eixo da dobra ou da lineação de interseção (Passchier & Williams 1996, Xypolias 2009 e 2010). As características de cada domínio são:

1. O domínio oriental engloba as unidades do Grupo Sabará (Almeida 2004, Almeida *et al.* 2005) e do Complexo Santa Bárbara (Dorr 1969). Os dados estruturais obtidos neste domínio sugerem que as rochas destas unidades encontram-se dobradas, formando um anticlinal F_2 com eixo apresentando caimento para ESE.

2. O domínio ocidental é representado pelas unidades do Supergrupo Minas (Dorr 1969) em posição estratigráfica invertida. O contorno destas unidades forma uma estrutura com uma geometria em *bumerangue* e um padrão de dobra em “Z”, associado a uma vorticidade horária. A falha Bento Rodrigues determina o limite entre os domínios estruturais,

As características estruturais do domínio ocidental permitem a divisão em dois subdomínios: IIa e IIb.(Fig. 5.02).

- O subdomínio IIa corresponde a um sinforme assimétrico, aberto com eixo apresentando caimento para SE. Feições típicas de zona de charneira são encontradas no extremo norte da cava de Fábrica Nova. A geração desse sinforme é atribuída à fase deformacional F_4 . Na parte interna do sinforme afloram itabiritos e filitos manganésíferos das formações Cauê e Gandarela respectivamente, filitos serícíticos da Formação Cercadinho, além de rochas intrusivas pós-Minas e coberturas cenozóicas.
- As feições estruturais do subdomínio IIb são típicas de um tectonito do tipo “S”. A orientação das superfícies do acamamento apresenta direção geral NNW-SSE e mergulhos moderados para ENE e, a relação entre o acamamento S_0 e a xistosidade S_2 , indica vorticidade anti-horária. Localmente, observam-se dobras apertadas F_2 com padrão tipo “S”.

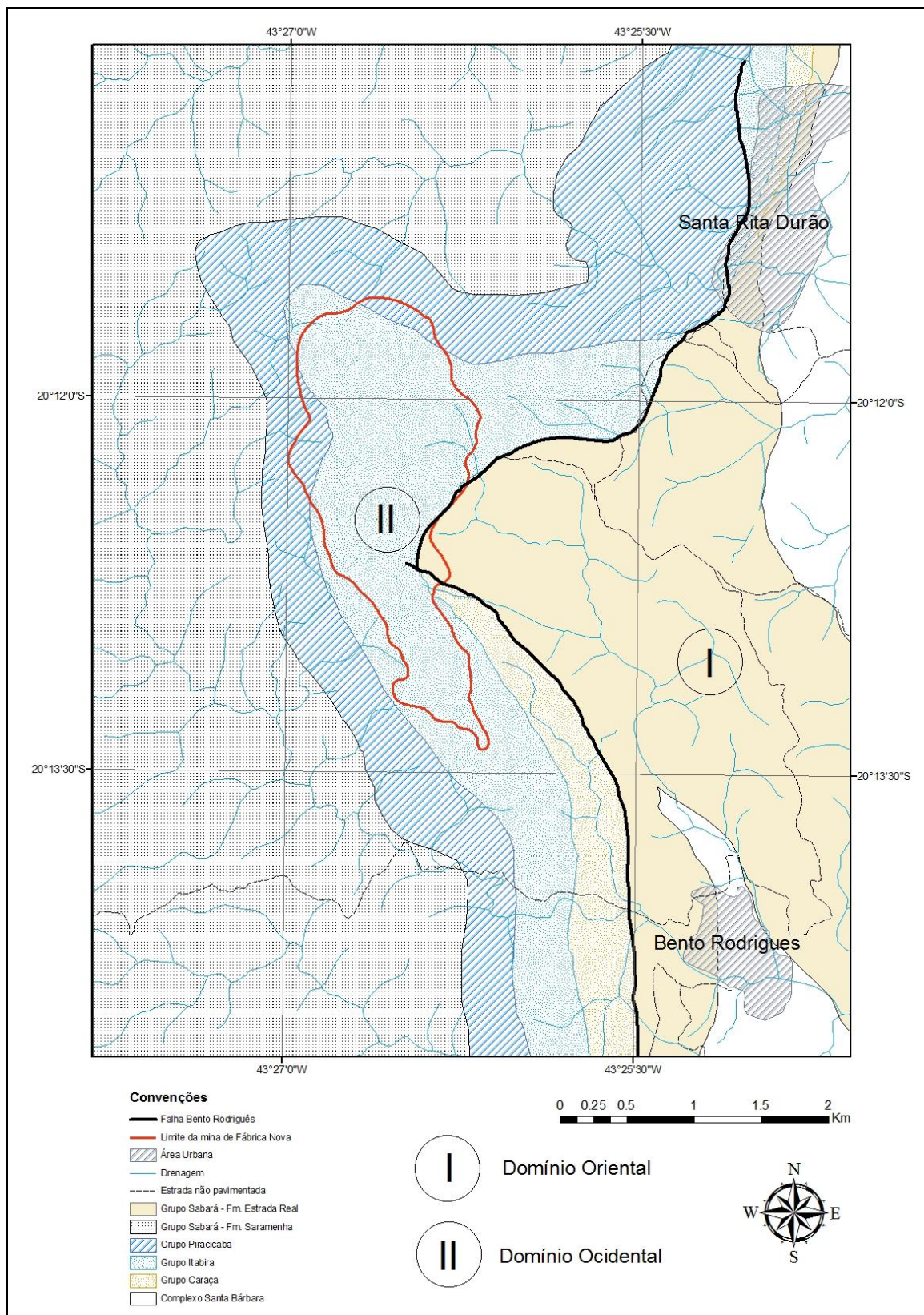


Figura 5.01 - Articulação dos domínios estruturais na região de Fábrica Nova.

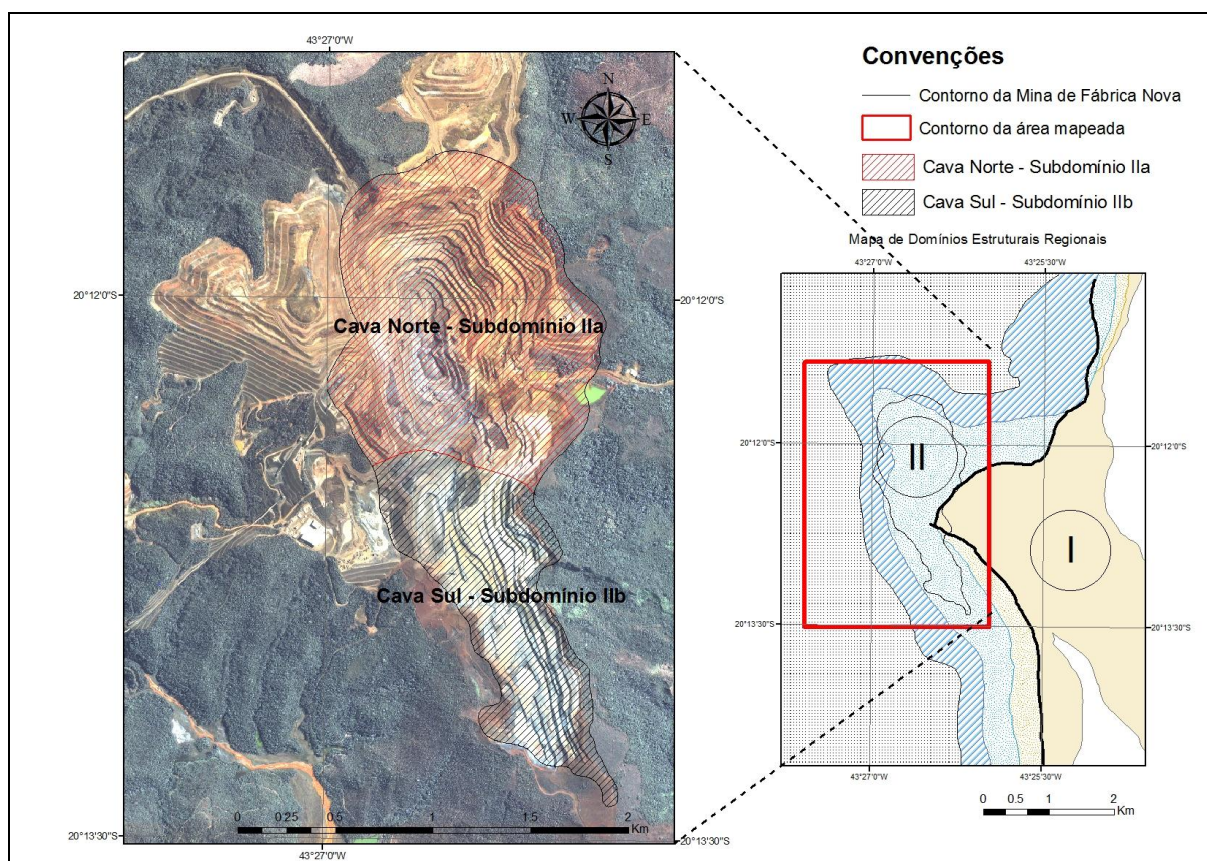


Figura 5.02 - Subdomínios estruturais: subdomínio IIa e IIb no contexto dos domínios em escala regional.

5.4 - ANÁLISE ESTRUTURAL DESCRITIVA

A análise estrutural foi realizada a partir do conjunto do acervo estrutural nas diferentes escalas de observação (*e.g.* Willians 1985, Xypolias (2010)). Assim, para ordenar melhor a descrição das estruturas, elas foram divididas em estruturas mesoscópicas e estruturas macroscópicas.

A identificação de estruturas mesoscópicas e sua relação espacial permitiu interpretar e ilustrar o arranjo estratigráfico e estrutural da área investigada. As estruturas mesoscópicas chaves são as estruturas S, que consistem em feições primárias S_0 e superfícies metamórficas S_n . A essas superfícies planares associam-se as lineações mineral e de interseção $S_0 \times S_n$, que contribuem para a compreensão do arcabouço estrutural. Nesse quadro, para a investigação em escala microscópica foram confeccionadas seções delgadas ou polidas para exame ao microscópico.

A correlação entre as estruturas analisadas microscopicamente com as estruturas mesoscópicas e macroscópicas é um dos objetivos da análise estrutural descritiva, que, desta forma, busca entender a estrutura regional e os eventos deformacionais que se sucederam.

5.4.1 – Estruturas Mesocópicas

5.4.1.1 – Acamamento

Nos quartzitos da Formação Moeda, o acamamento é definido pela variação granulométrica dos grãos de quartzo (Fig. 5.03a), e por vezes, pela intercalação de lentes enriquecidas em minerais micáceos.

Nos itabiritos, o bandamento composicional típico reflete os contornos de uma estrutura planar de natureza sedimentar, os quais definem o acamamento, e é caracterizado pela alternância de lâminas ricas em quartzo e em hematita+/-magnetita+/-goethita (Fig. 5.03b,c).

Os quartzitos da Formação Cercadinho registram o acamamento pela variação composicional, formando bandas alternadas com lâminas ou camadas metapelíticas (Fig. 5.03d).

Os quartzitos sericíticos do Grupo Sabará apresentam um nítido acamamento definido pela variação granulométrica dos grãos de quartzo (Fig. 5.03e). Laminações plano-paralelas e estratificações cruzadas também constituem elementos que facilitam a visualização desta estrutura.

Para melhor compreensão da análise estrutural, o acamamento foi analisado, tanto nos dois domínios estruturais regionais, quanto nos subdomínios, cujas características principais são:

1. No domínio oriental, o acamamento apresenta direção preferencial NW-SE com mergulho para NE, 056/54 (Fig. 5.04a) observado principalmente nos quartzitos do Grupo Sabará.
 2. No domínio ocidental, o acamamento encontra-se preservado em todas as unidades do Supergrupo Minas e apresenta uma direção preferencial NW-SE, a sul, que passa para E-W, à norte do domínio. O estereograma da figura 5.04b mostra esta dispersão com um máximo de 172/48. A dispersão, da orientação do acamamento, sugere uma guirlanda, que reflete a atuação da fase de dobramentos F_4 com eixo em torno de 117/33. Esta dobra, o sinforme Fábrica Nova, é caracterizada como uma dobra aberta, sub-cilíndrica e assimétrica com caimento.
- No subdomínio IIa, o acamamento apresenta direção preferencial NNE-SSW com mergulho para ESSE e atitude média de 107/36. A dispersão do conjunto de valores sugere uma guirlanda, que é resultado da atuação da fase de dobramentos F_4 com eixo em 122/34 (Fig. 5.04d).
 - No subdomínio IIb, o acamamento apresenta uma direção preferencial N-S com mergulho moderado para E e atitude média em torno de 080/20. O acamamento, nesse domínio, comporta-se como um homoclinal (Fig. 5.04e).

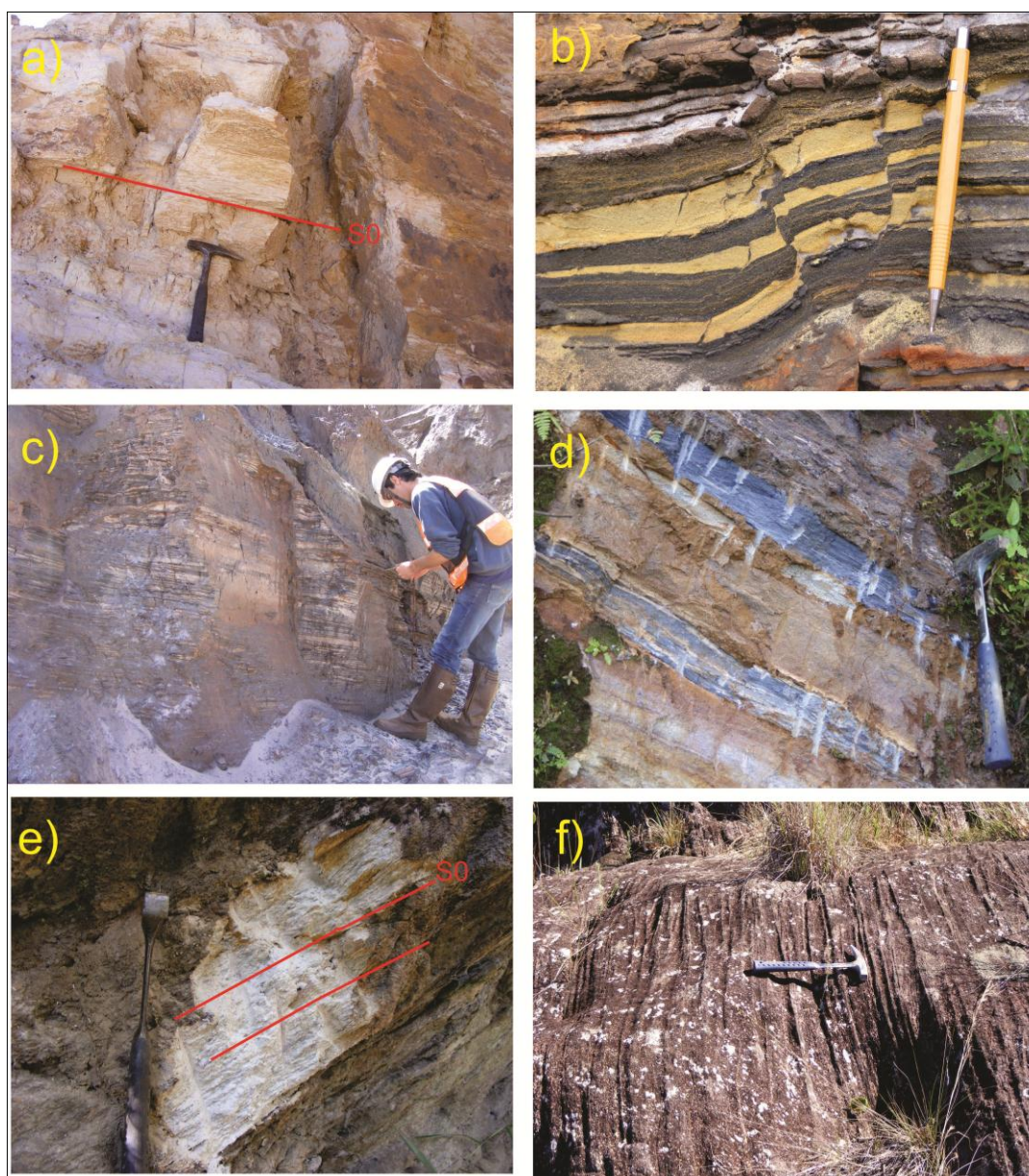


Figura 5.03 - a) Acamamento observado nos quartzitos da Formação Moeda caracterizado pela variação granulométrica dos grãos de quartzo. Estação FN-328. E: 662986, N: 7764337. Elevação: 947m. b) Bandamento composicional Sb marcado pela alternância de camadas de espessura centimétricas alternadas, ricas em quartzo e em hematita presente nos itabiritos da Formação Cauê. Estação MF-104. E: 662813, N: 7763771. Elevação: 893m. c) Bandamento composicional Sb marcado por lâminas alternadas de quartzo e hematita observado nos itabiritos. Estação MF-124. E: 662781, N: 7764123. Elevação: 884m. d) Camadas de filito intercalados no quartzito da Formação Cercadinho os quais definem o acamamento. Estação FN-29. E: 663483, N: 7762142. Elevação: 751m. e) Bandamento S_0 observado pela variação granulométrica nos quartzitos do Grupo Sabará. Estação FN-264. E: 663866, N: 7763382. Elevação: 859m. f) Aspecto do acamamento representado por estratificação plano-paralela e tangencial de baixo ângulo nos quartzitos do Grupo Sabará. Estação FN-77. E: 665150, N: 7763165. Elevação: 828m.

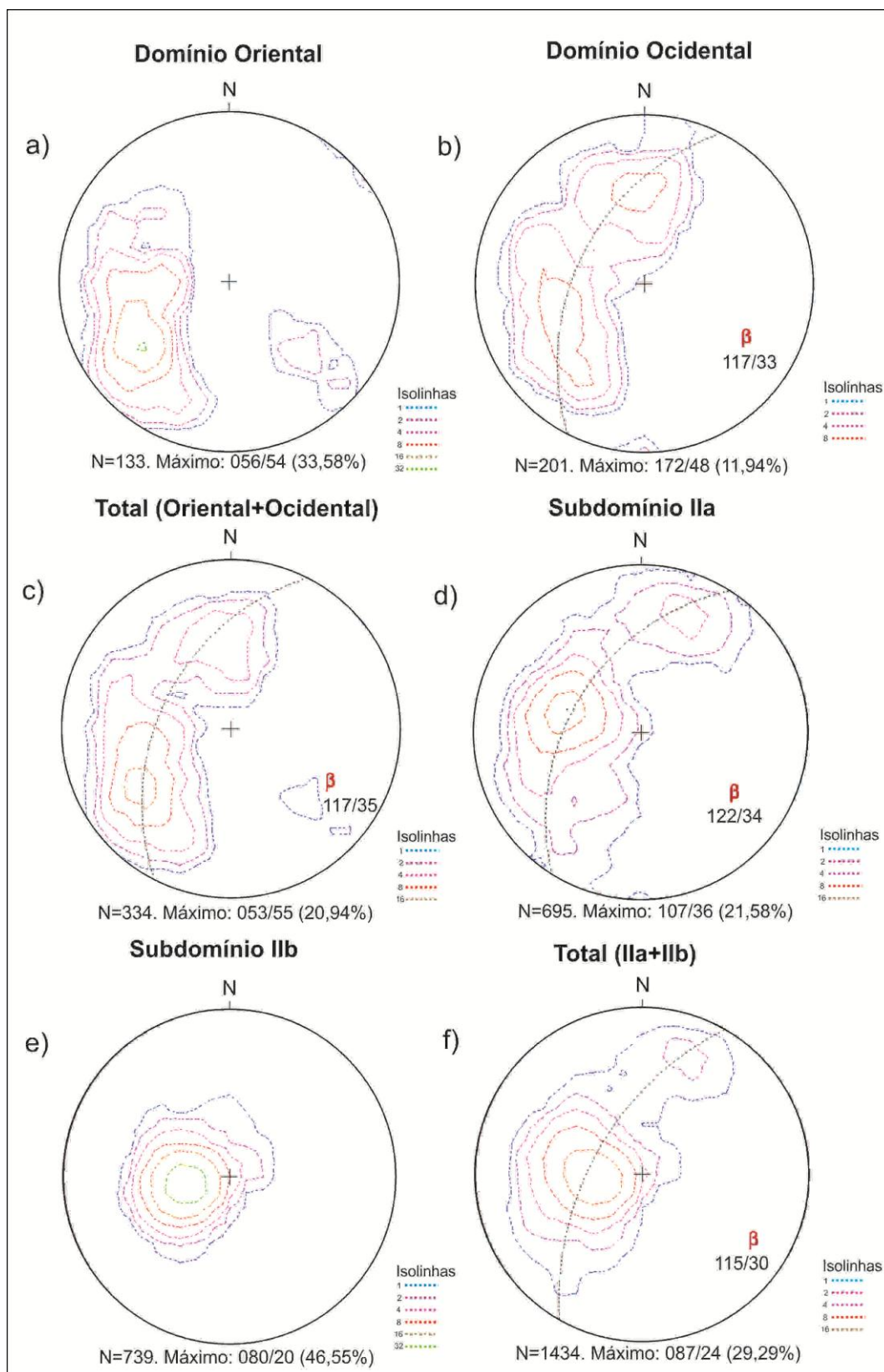


Figura 5.04 – Diagramas estereográficos com representação polar do acamamento S_0 .

5.4.1.2 - Estruturas da Primeira Fase de Deformação F_1

As estruturas que refletem esta fase estão representadas por mesodobras fechadas e assimétricas, quase isoclinais, associando-se, provavelmente, a uma xistosidade S_1 oblíqua ao acamamento. As raras dobras assimétricas, relictas desta fase, possuem padrão em estilo “Z”. Um dos poucos afloramentos, onde se encontram preservadas estruturas desta fase de deformação, é o do ponto FN 19 (Anexo 2). Neste local, observa-se a relação $S_0 \times S_1$, que apresenta vorticidade horária em estilo “Z” preservada no xisto sericítico e, no horizonte metapelítico, a relação $S_0 \times S_2$ é de vorticidade anti-horária. A relação de interferência é caracterizada pela superposição da xistosidade S_2 dobrando a xistosidade S_1 com o mesmo padrão de vorticidade da fase F_2 (Fig. 5.05).

No entanto, as características originais desta trama foram, em grande parte da região investigada, obliteradas pelas fases de deformação posteriores.

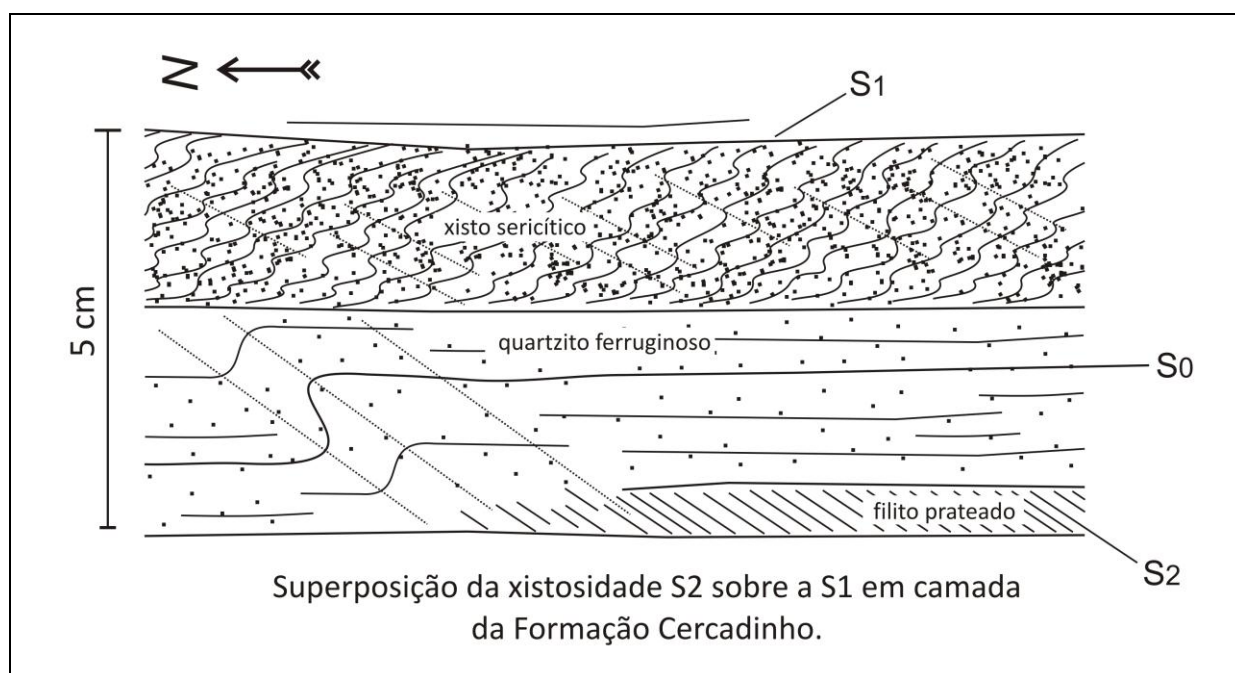


Figura 5.05 - Desenho esquemático de uma amostra da Formação Cercadinho, em escala mesoscópica, apresentando a superposição de duas fases de deformação indicadas pelas xistosidades S_1 e S_2 com vorticidades opostas.

5.4.1.3 - Estruturas da Segunda Fase de Deformação F_2

A xistosidade S_2 é uma trama planar penetrativa caracterizada pela orientação preferencial de minerais como sericita (Fig. 5.06), hematita e quartzo. No domínio oriental, a xistosidade S_2 possui atitude máxima de $066/55$ (Fig. 5.08a). No domínio ocidental, o arranjo das unidades cartografadas

expressa nitidamente um sistema dobrado. A xistosidade S_2 apresenta um plano preferencial com atitude máxima de 082/43. A atitude do eixo desta dobra (B_4) é 104/40 (Fig. 5.08b).

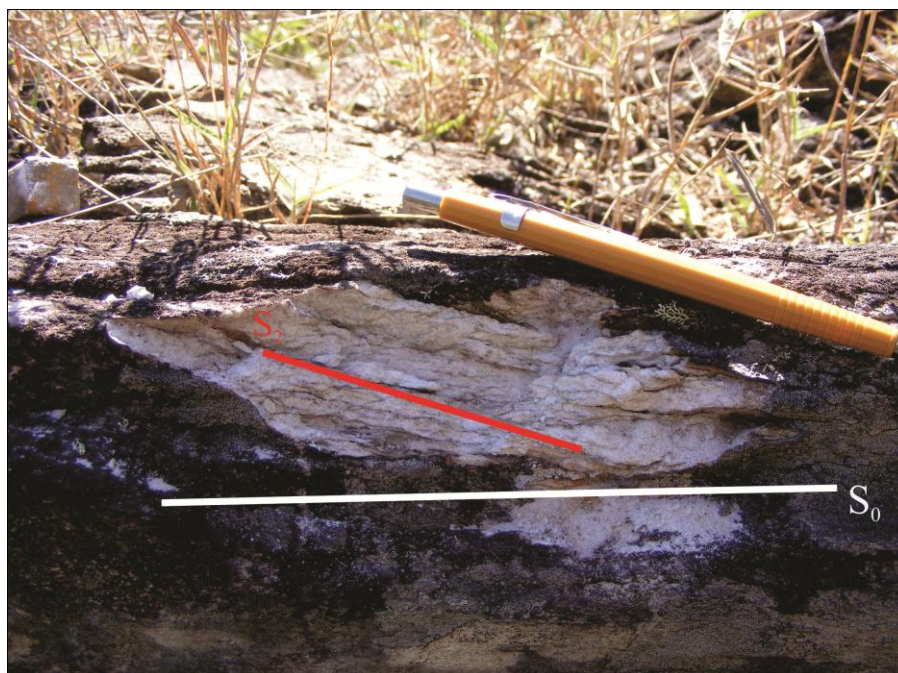


Figura 5.06 - Xistosidade S_2 oblíquo ao acamamento S_0 no quartzito do Grupo Sabará. Estação FN-303 (Anexo 2). E: 663559, N: 7761252. Elevação: 782m.

O padrão de dobras ao estilo de “dobra em caixa” (*box fold*) são observadas no subdomínio IIa (Fig. 5.07a,b) e são interpretadas como a manifestação da superposição de dobras F_2 sobre F_1 (Fig. 5.09). Observa-se que as dobras em “S”, neste sistema, encontram-se mais bem preservadas do que as dobras em “Z”, o que atesta a superposição de fases deformacionais.

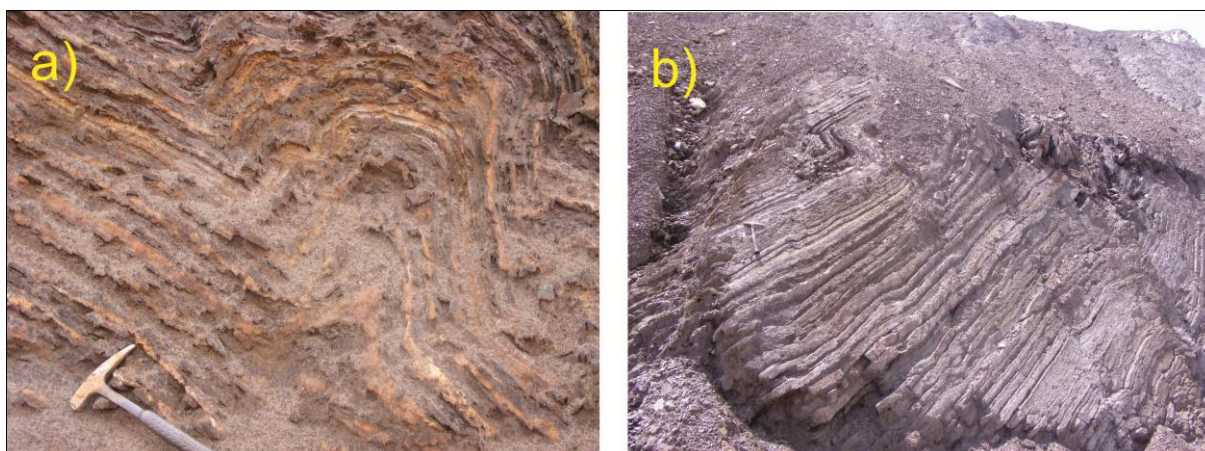


Figura 5.07 - a) Dobra do tipo ‘box fold’ encontrada na mina de Fábrica Nova. b) Superposição de dobra em estilo “S” - F_2 sobre dobras em estilo “Z” - F_1 em afloramentos de itabiritos em Fábrica Nova.

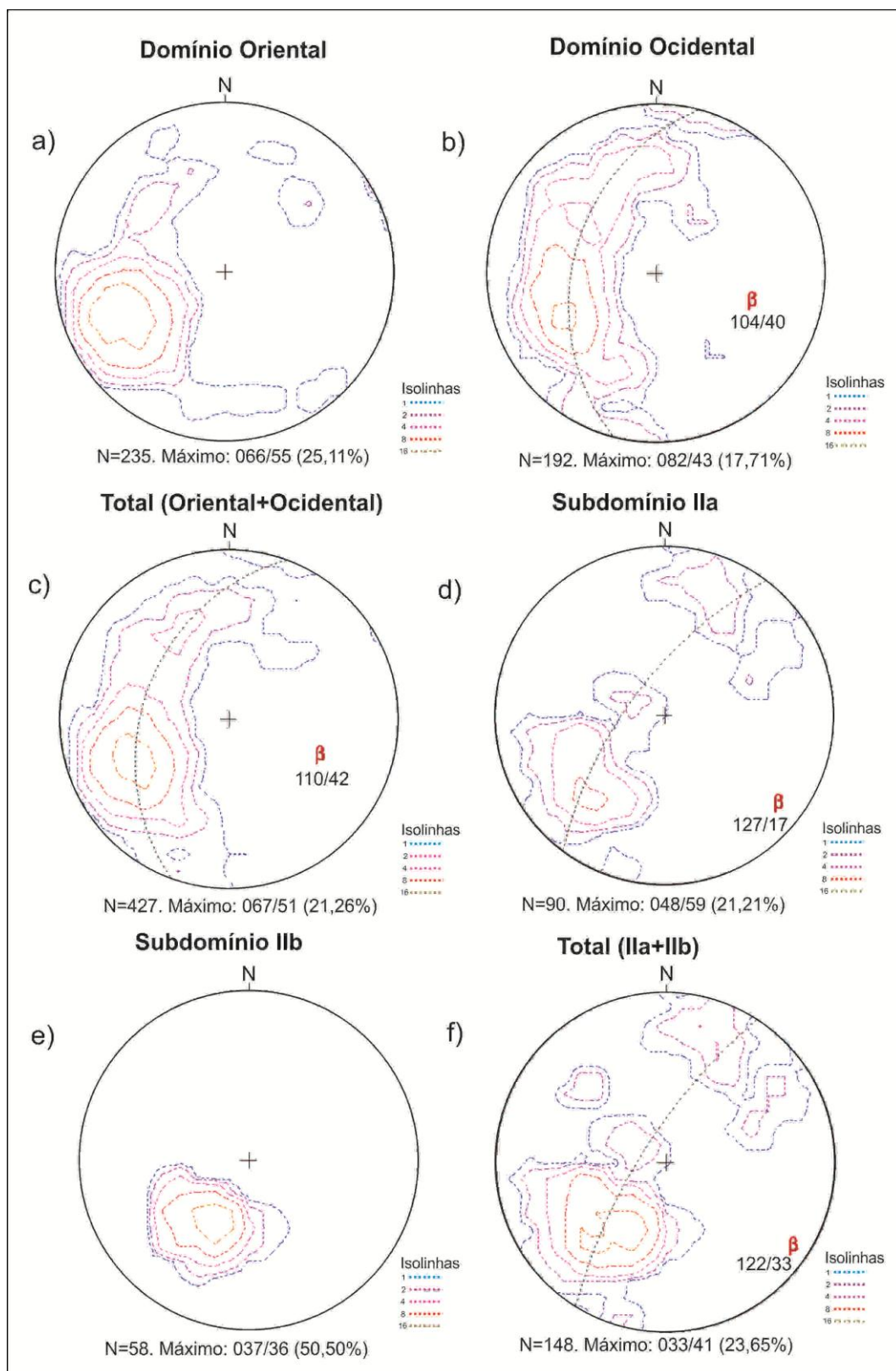


Figura 5.08 - Diagramas estereográficos com representação polar da xistosidade S_2 .

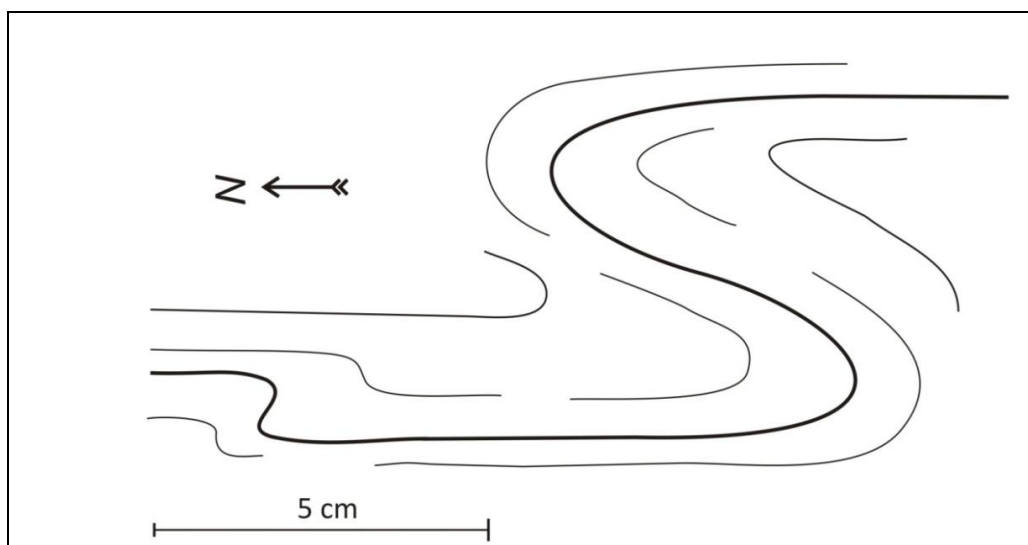


Figura 5.09 - Desenho esquemático de superposição de dobra em estilo “S” - F₂ sobre dobras em estilo “Z” - F₁ encontradas no subdomínio IIa.

As dobras F₂ que foram mapeadas, sobretudo na mina de Fábrica Nova, são dobras fechadas (Fig. 5.10a,b) com eixo apresentando caimento suave para ESE e atitude principal em torno de 119/21 no subdomínio IIa (Fig. 5.11b), 093/17 no subdomínio IIb (Fig. 5.11c) e máximo de 100/20 (Fig. 5.11d). Estas dobras são assimétricas em padrão “S” e possuem comprimentos de onda e amplitude que variam de centímetros a alguns poucos metros. Na região mapeada, a estrutura de escala mesoscópica que reflete esta fase de deformação é o antiforme Bento Rodrigues, uma dobra fechada com eixo apresentando caimento para E-SE. O comprimento de onda e amplitude desta dobra é da ordem de alguns quilômetros.

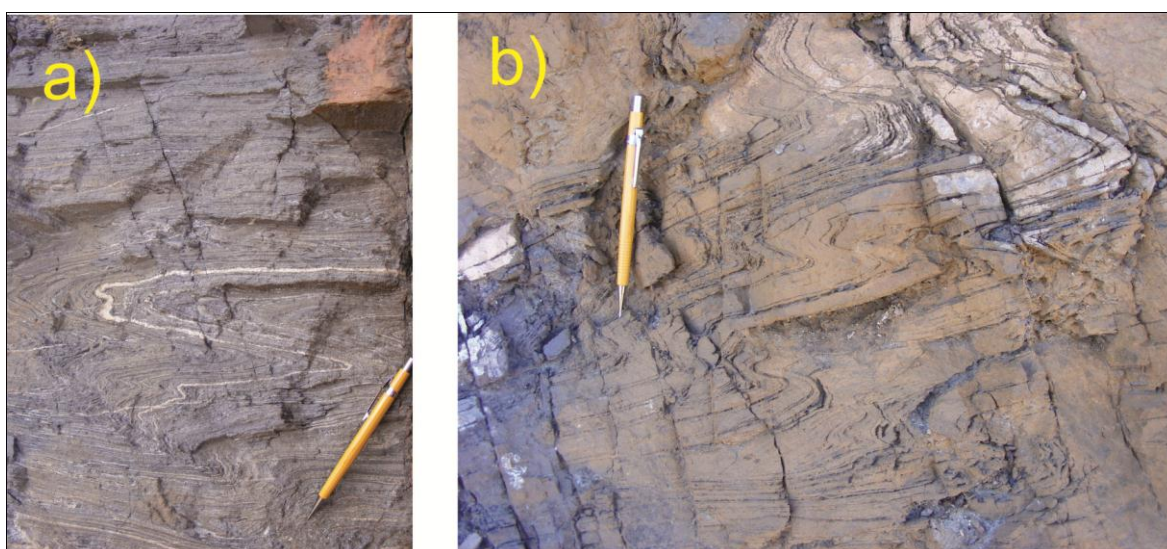


Figura 5.10 – Dobras fechadas em padrão ‘S’ da segunda fase de deformação mapeadas no subdomínio IIa.

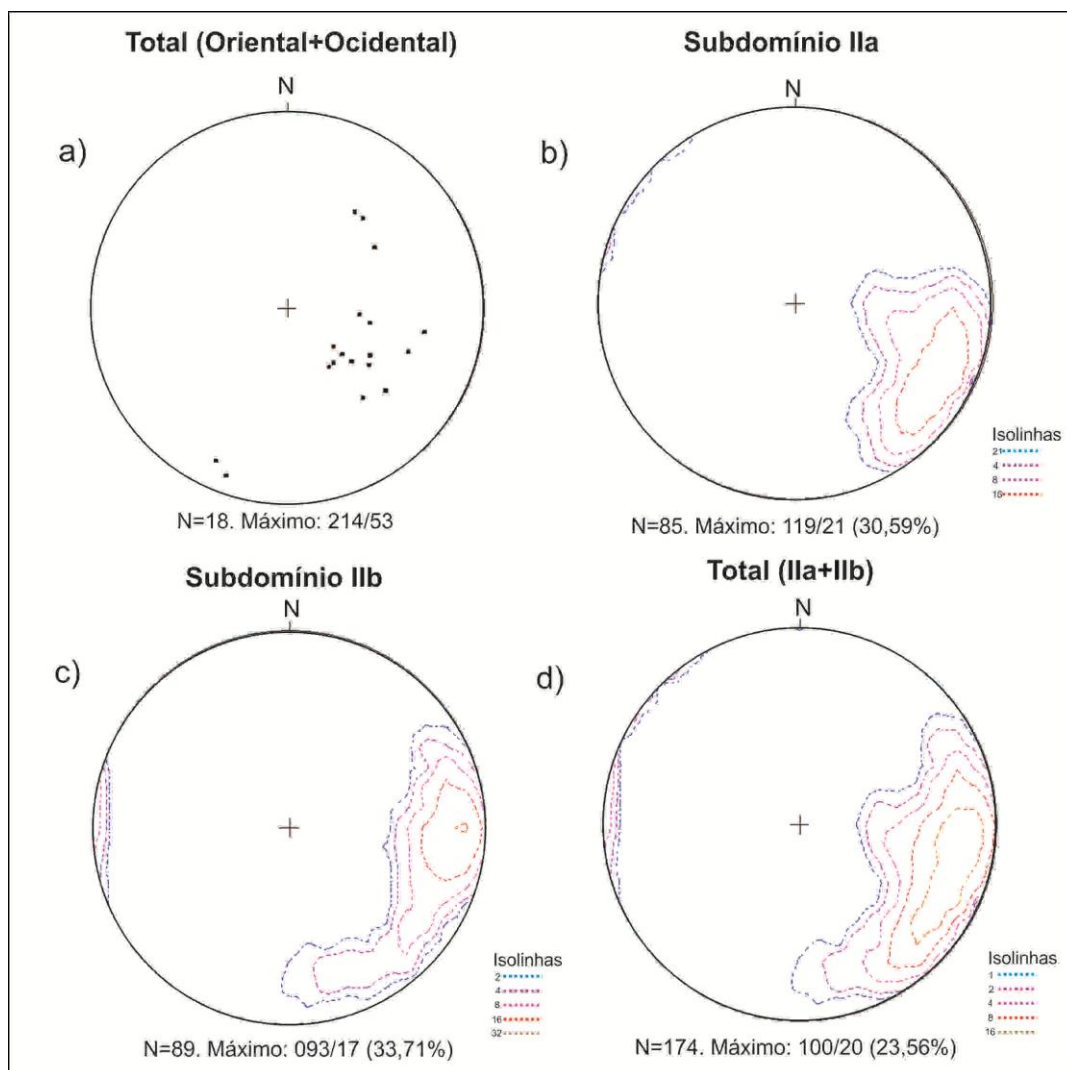


Figura 5.11 - Diagramas estereográficos com representação polar dos eixos de dobras B_2 .

Quando analisadas as medidas dos dois domínios regionais (Fig. 5.12a), a interseção entre os planos do acamamento S_0 e a xistosidade S_2 apresenta um caimento moderado para E-SE com atitudes com máximo de 095/23.

Quanto aos subdomínios, esta interseção segue a mesma orientação regional, com 098/24 no subdomínio IIa (Fig. 5.12b), 090/22 no subdomínio IIb (Fig. 5.12c) e 094/22 na mina de Fábrica Nova total (Fig. 5.12d). Esta trama é a trama proeminente nos itabiritos.

A lineação mineral, caracterizada pela orientação preferencial de micas e hematita (Fig. 5.14), encontra-se subparalela à lineação de interseção L_2 (S_0XS_2) e eixo de dobras B_2 , com caimentos moderados para E-NE de 80/25 (Fig. 5.13).

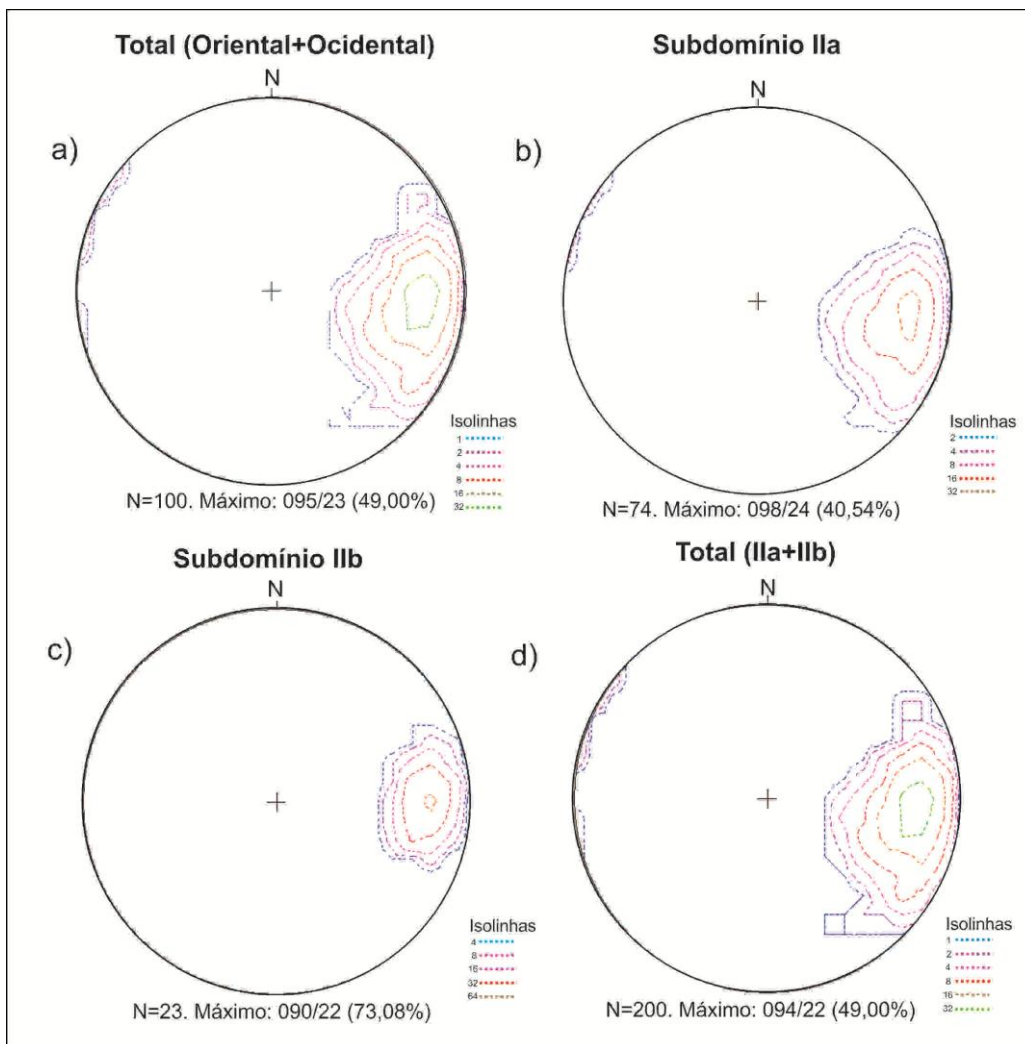


Figura 5.12 - Diagramas estereográficos com representação polar da lineação de interseção ($S_0 \times S_2$).

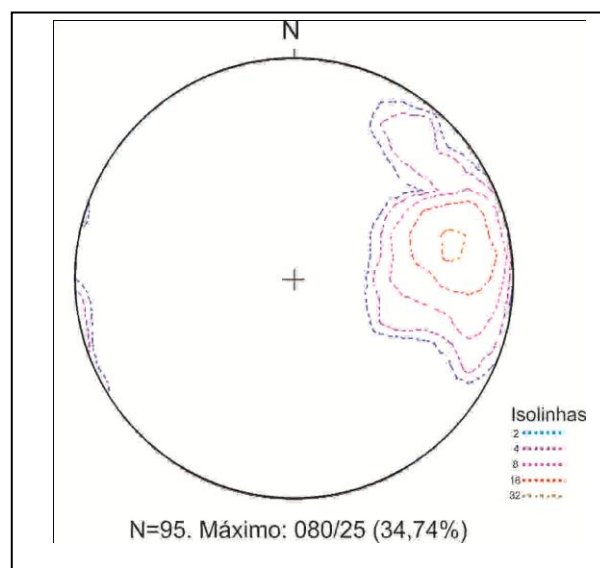


Figura 5.13 - Diagramas estereográficos com representação polar da lineação mineral.



Figura 5.14 - Lineação mineral da fase F_2 representada pela orientação preferencial de hematita, quartzo e sericita no quartzito do Grupo Sabará. Estação FN-246 (Anexo 2). E: 664048, N: 7764539. Elevação: 832m.

5.4.1.4 - Estruturas da Terceira Fase de Deformação F_3

O acervo estrutural da fase F_3 é constituído por dobras abertas com eixo E-W e com comprimentos de onda e amplitudes de dimensões decamétricas (Fig. 5.15a), que afloram principalmente na mina de Fábrica Nova.

Entre as estruturas desta fase destaca-se uma mesodobra que ocorre no setor oeste da cava norte de Fábrica Nova. Esta dobra corresponde a um antiforme aberto, de comprimento de onda de aproximadamente 200 metros e amplitude de algumas poucas dezenas de metros, cujo eixo apresenta uma atitude de 081/43 (Fig. 5.16a). O núcleo desta dobra é formado por filitos prateados da Formação Cercadinho.

São atribuídas à terceira fase de deformação as clivagens disjuntiva S_3 (Fig. 5.15b) de direção E-W e os mergulhos subverticais, caindo ora para N ora para S, com máximo de 018/80 (Fig. 5.16b). Também são atribuídas a esta fase mesodobras abertas F_3 ou ondulações do acamamento, as quais apresentam eixo com caimento moderado para ENE e dobras em estilo *kink* com plano axial mergulhando para sul.

Na região próxima a Bento Rodrigues, as rochas ultramáficas registram uma foliação milonítica de atitude NNW-SSE e mergulho elevado. A trama milonítica apresenta o registro de duas cinemáticas distintas a partir da análise da foliação S-C: a cinemática dextral, a mais antiga, deve-se à

fase F_3 e à cinemática sinistral à fase F_4 . No contato entre as formações Cercadinho e Gandarela, mapeado no setor oeste da mina de Fábrica Nova, observam-se camadas métricas de filito com uma foliação S-C indicando componente dextral, possivelmente associado a esta fase de deformação.

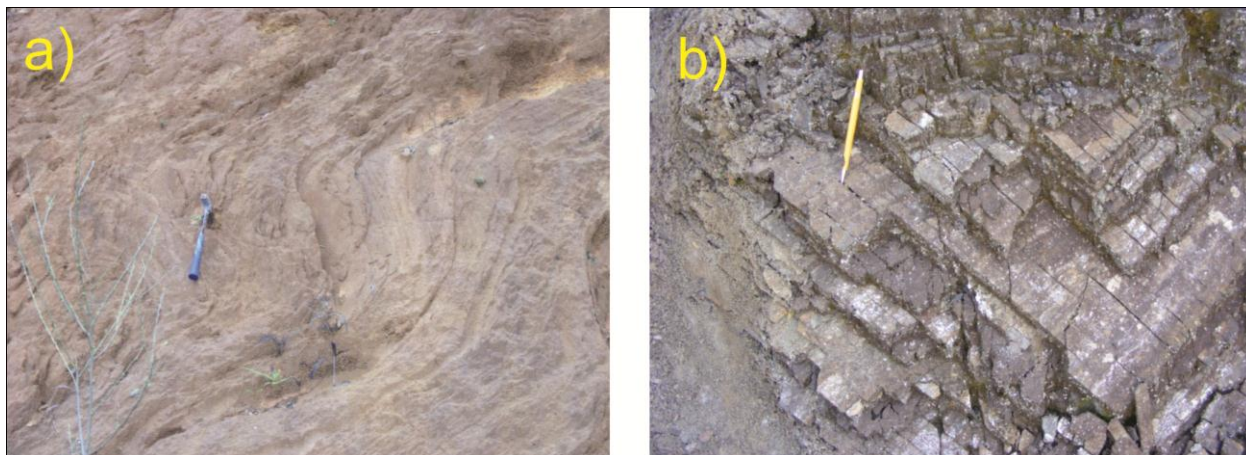


Figura 5.15 – a) Dobra aberta da terceira fase de deformação. b) Aspecto da clivagem disjuntiva S_3 em quartzitos ferruginosos da Formação Cercadinho. Estação FN-177 (Anexo 2). E: 664060, N: 7766790. Elevação: 886m.

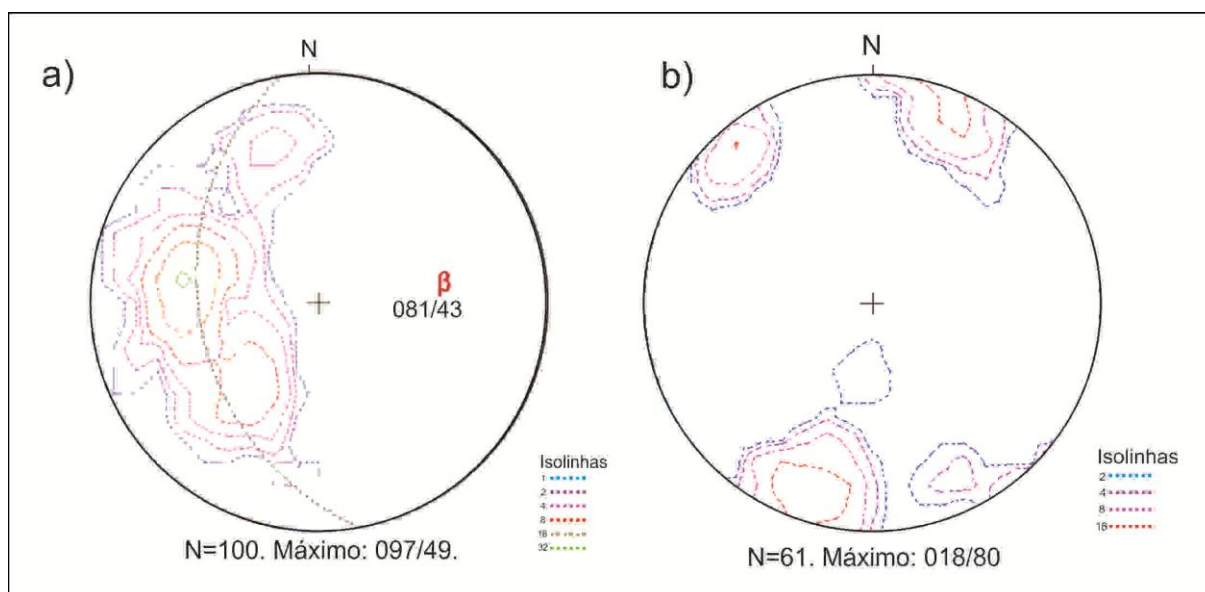


Figura 5.16 – a) Estereograma dos pólos do acamamento S_0 em torno de uma dobra F_3 na cava norte da mina de Fábrica Nova. b) Estereograma da clivagem disjuntiva S_3 . Fábrica Nova total.

5.4.1.5 - Estruturas da Quarta Fase de Deformação F_4

A fase de deformação F_4 foi responsável pelo arranjo final da região de Fábrica Nova, cuja manifestação está representada no sinforme Fábrica Nova, uma dobra com eixo de caimento para ESE e uma geometria em planta que se assemelha a um *bumerangue*.

As estruturas desta fase estão representadas principalmente por clivagens de crenulação S_4 , observadas nos itabiritos da Formação Cauê e nos xistos do Grupo Sabará (Fig. 517a). A direção geral da clivagem S_4 é N-S com mergulhos subverticais, ora para W ora para E, com atitude média em torno de 280/72 (Fig. 5.18). Dobras fechadas com eixo para N-S também são atribuídas a esta fase de deformação (Fig. 517b).

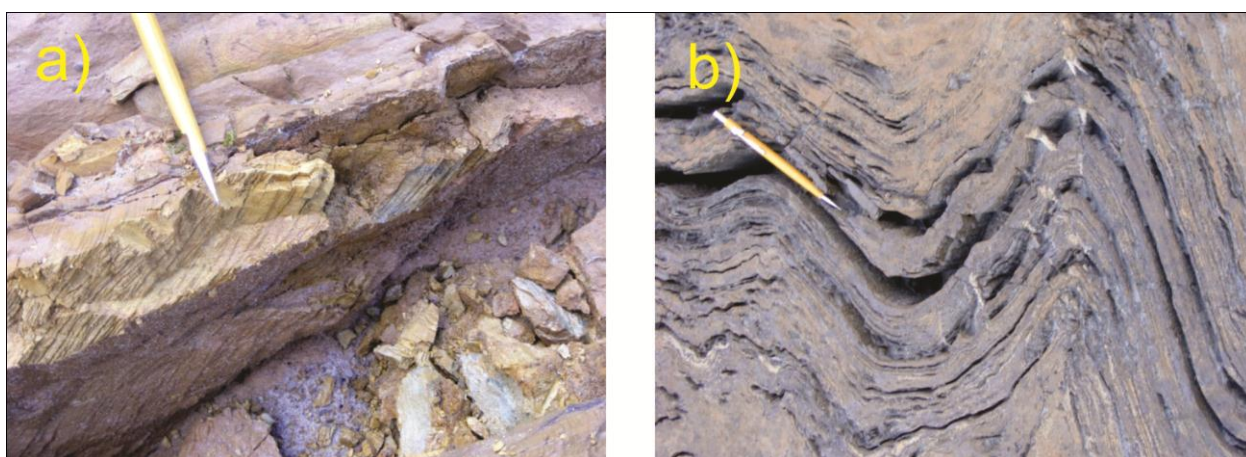


Figura 5.17 – a) Clivagem de crenulação S_4 em xistos do Grupo Sabará. Estação. b) Dobra fechada com eixo N-S da quarta fase de deformação.

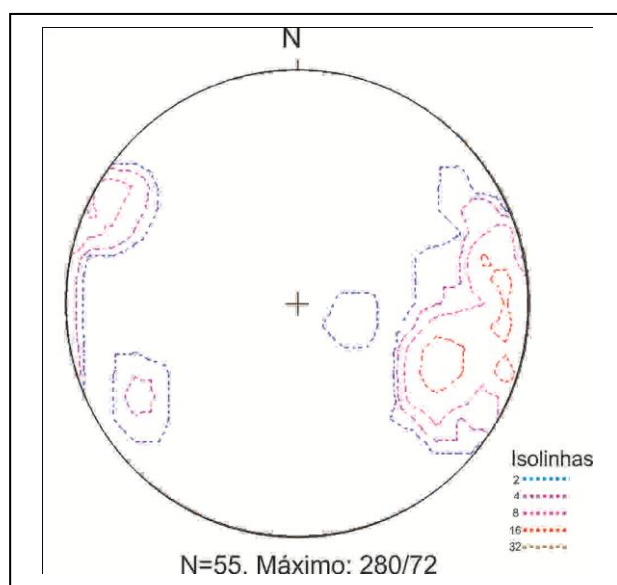


Figura 5.18 - Estereograma da clivagem de crenulação S_4 . Fábrica Nova total.

5.4.1.6 - Estruturas da Quinta Fase de Deformação F_5

O acervo do sistema de fraturas coletado nos domínios da mina de Fábrica Nova, representado nos diagrama (Fig. 5.19a), demonstra a ocorrência de duas direções preferenciais, que são ortogonais entre si. Estas direções são: N10-20E e N80-90E (Fig. 5.19b).

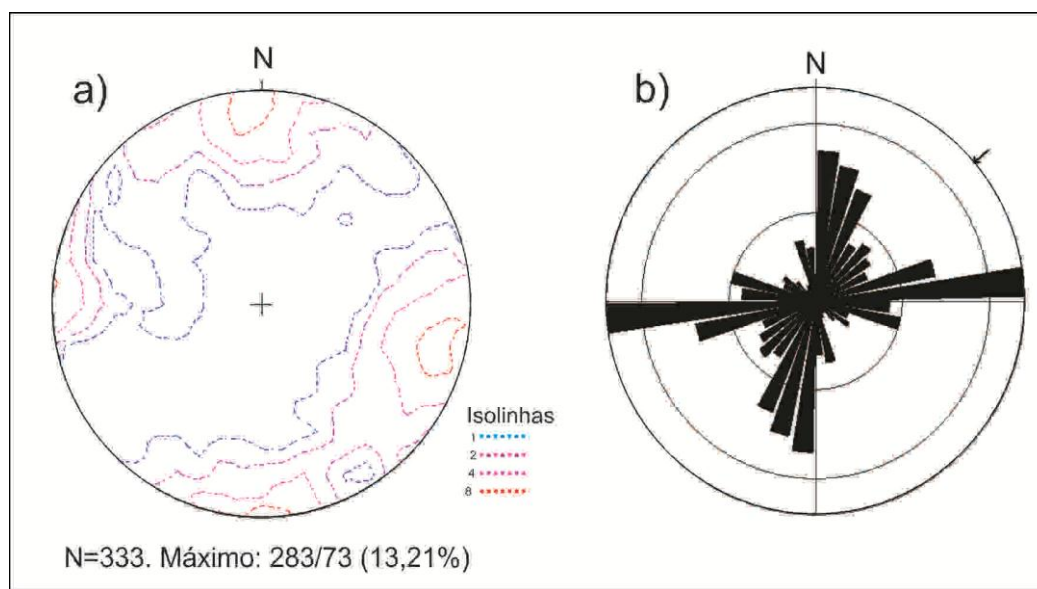


Figura 5.19 - a) Estereograma de mesofraturas na mina de Fábrica Nova. (b) Diagrama de Rosa das fraturas.

5.4.2 - Estruturas Macroscópicas

5.4.2.1 - Falha Bento Rodrigues: Generalidades e Cinemática

A borda leste do Quadrilátero Ferrífero é formada por um conjunto de falhas, denominado de Sistema de Falhas Água Quente, que pode ser cartografado desde Mariana até Santa Bárbara, passando por Camargos, Bento Rodrigues, Santa Rita Durão, Morro da Água Quente e Catas Altas, com direção geral norte-sul (*sensu* Ferreira Filho 1999). De acordo com Dorr (1969), a Falha da Água Quente se estende por mais de 60 km na direção norte-sul e possui muitas ramificações que se subdividem e conectam-se novamente à falha mestra. Para esses autores a cinemática do Sistema de Falhas Água Quente é reversa com transporte para oeste sobrepondo os gnaisses do Complexo Metamórfico Santa Bárbara às unidades do Supergrupo Minas.

Nos mapas geológicos de Dorr (1969) e Maxwell (1960), a região a norte de Santa Rita Durão é caracterizada como uma zona de convergência de falhas. Para Maxwell (1972), o segmento de falha

situado mais a leste do Sistema de Falhas Água Quente, entre Santa Bárbara e Mariana, tem por característica sobrepor o embasamento, a leste, às rochas supracrustais, a oeste.

De acordo com Ribeiro Rodrigues (1992), o Sistema de Falhas Água Quente é formado por falhas de estilos e escalas variadas, que incluem falhas reversas. Estas falhas reversas têm traços N-S sinuosos, que possuem continuidade pela serra do Caraça e, ainda, ao se aproximarem da serra, reorientam-se segundo a direção E-W.

Neste trabalho, a falha principal da região de Fábrica Nova, aqui denominada de falha Bento Rodrigues, secciona toda a região mapeada desde a sul de Bento Rodrigues, passando a leste da mina de Fábrica Nova indo, até ao norte de Santa Rita Durão. Na porção meridional do mapa, a oeste de Bento Rodrigues, o traço da falha apresenta direção NNW-SSE. Na porção central, próximo à mina de Fábrica Nova, o traço da falha reorienta para E-W, rumando para NNE-SSW na porção setentrional da área mapeada. Esta estrutura se relaciona à fase F_2 correspondente ao desenvolvimento da xistosidade S_2 e ao cavalgamento aparente dos gnaisses do Complexo Santa Bárbara sobre os metassedimentos do Supergrupo Minas. Diferentemente do que foi proposto por Dorr (1969), Maxwell (1972), Chemale Jr. *et al.*, (1991) e Ferreira Filho (1999), a falha apresenta cinemática aparente, essencialmente, de caráter transcorrente sinistral com uma pequena componente reversa. A trajetória da falha apresenta uma deflexão à esquerda, em relação ao traço do acamamento, proporcionando, desta forma, a extensão da camada, o que resulta na geração de uma estrutura ao estilo de um *megaboudin* com geometria extensional. Esta tectônica em escala de mina conduz ao adelgaçamento e ao desaparecimento das unidades das formações Moeda e Batatal no setor frontal da cava da mina de Fábrica Nova. Um exemplo deste mecanismo em escala mesoscópica pode ser observado no ponto FN-28, a oeste de Bento Rodrigues, na estrada para a barragem de Santarém. Neste afloramento ocorre uma falha de direção NW-SE e mergulho para NE (Fig. 5.20), interceptando camadas de quartzito ferruginoso da Formação Cercadinho com movimento sinistral. A lineação mineral apresenta suave caimento para SE (Fig. 5.21).

Próximo a Santa Rita Durão, na região setentrional da área mapeada, junto ao contato das rochas do Supergrupo Minas com os gnaisses do Complexo Santa Bárbara, foi observado foliações do tipo S-C. A interseção desta foliação apresenta caimento para leste com baixo ângulo. Esta interseção com caimento para leste, aliada a vorticidade horária da foliação S-C, indicam que o movimento da falha, que sobrepos o embasamento cristalino as rochas supracrustais, seja um movimento de norte para sul e não de oeste para leste como vem sendo interpretado (*e.g.* Dorr 1969, Chemale Jr. *et al.* 1991 e 1994, Alkmim e Marshak 1998, Ferreira Filho 1999).

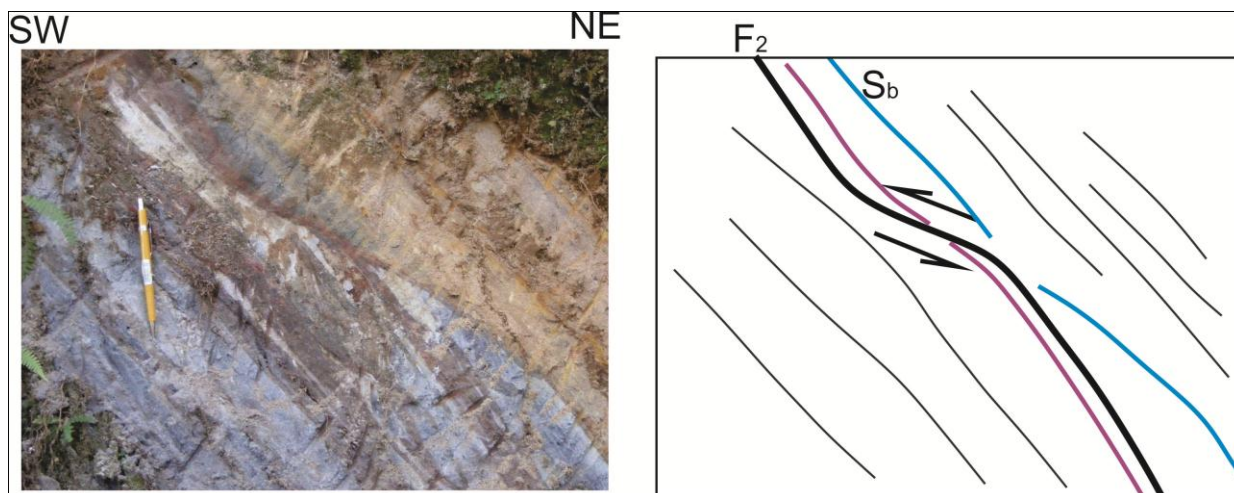


Figura 5.20 - Falha de escala mesoscópica no quartzito ferruginoso da Formação Cercadinho. A figura mostra a componente de cisalhamento sinistral resultando no deslocamento de camadas. Afloramento representa uma imagem fractal da falha Bento Rodrigues. Estação FN-28 (Anexo 2). E: 663373, N: 7762115. Elevação: 764m.

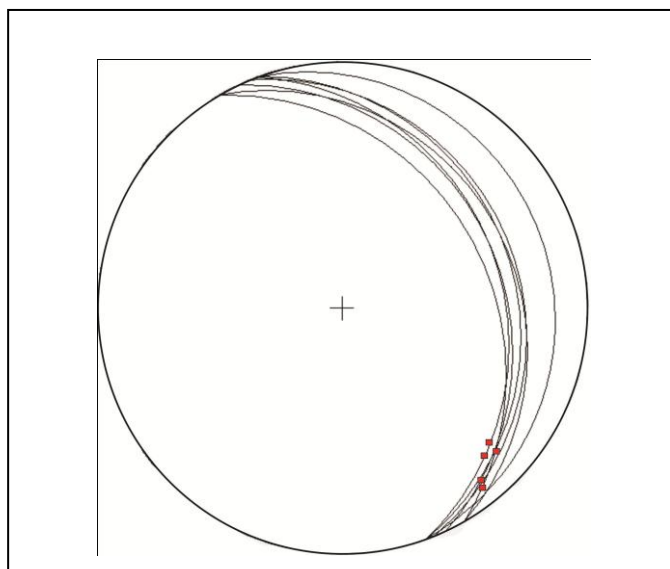


Figura 5.21 - Estereograma de igual-área, projeção do hemisfério inferior da lineação mineral sobre o plano de falha. Plano máximo: 66/32. Lineação mineral: 134/23.

5.4.2.2 - Dobras e Dobramentos: Geometria e Relações

Duas dobras de escala sub-regional ocorrem na região de Fábrica Nova: o sinforme de Fábrica Nova da fase F_4 e o anticlinal de Bento Rodrigues (Fig. 5.25). Subsidiariamente, observa-se um antifforme apertado no setor leste do domínio da cava norte da mina de Fábrica Nova, denominado de antifforme Alto Pai Miguel. Não se observa, de forma clara e contundente, foliações plano-axiais que pudessem ser geneticamente associadas à estas dobras.

O sinforme de Fábrica Nova (SFN) é uma dobra aberta de dimensões de alguns quilômetros e é caracterizado pela rotação das estruturas primárias - S_0 e da xistosidades S_2 , cujo lócus dessa manifestação abrange a cava norte da mina de Fábrica Nova (subdomínio IIa) e seu entorno. Apenas as unidades estratigráficas do Supergrupo Minas encontram-se envolvidas nessa dobra. O eixo desta dobra apresenta caimento moderado para ESE com valores variáveis, a depender da trama considerada para representar o desenho do sinforme. Apesar disso, os valores são bastante consistentes e situam-se em torno de 117/33 (Fig. 5.04b), 122/34 (Fig. 5.04d) dada pelas atitudes S_0 e 104/40 (Fig. 5.08b), 127/17 (Fig. 5.8d) pela atitude S_2 . A média destes valores é 118/31. O flanco oeste, no setor meridional, apresenta atitudes de acamamento em torno de 080/20 passando a 107/36 no setor oeste do domínio da cava norte e a 200/60 no setor setentrional.

O anticlinal Bento Rodrigues (ABR) é uma dobra reclinada de dimensões de alguns quilômetros sendo, nucleado pelos gnaisses do Complexo Metamórfico Santa Bárbara, seguido de quartzitos e xistos do Grupo Sabará. A atitude média do eixo da dobra dada pela lineação de interseção $S_0 \times S_2$ situa-se em torno de 095/23 (Fig. 5.12a). No flanco leste, de caráter normal, a relação $S_0 \times S_2$ apresenta vorticidade anti-horária e dobras com assimetria em padrão “S” e no flanco oeste, de caráter inverso, a vorticidade é horária com dobras em padrão “Z”.

A charneira dessa anticlinal localiza-se junto à porção interna da charneira do sinforme Fábrica Nova e é delimitada, a leste, pela falha Bento Rodrigues.

O antifforme Alto Pai Miguel (Figs. 5.23 e 5.25) é uma dobra invertida de escala hectométrica, localizada no setor oriental da mina de Fábrica Nova. O núcleo da estrutura é composto por rochas da Formação Cercadinho, as quais afloram neste setor. Originalmente, estas rochas eram interpretadas como sendo pertencentes à Formação Batatal, dispostas por meio de uma falha de empurrão. O modelamento correto dessa estrutura é de suma importância, uma vez que terá reflexos na modelagem da jazida.

Para a caracterização estratigráfica das unidades ali aflorantes, foram revisitados os furos de sondagem que atravessam essas unidades. Os furos examinados foram: FDFN048, FDFN041, FDFN206, FDFN205, FDFN019, FDFN337 e FDFN270 (Fig. 5.22). Inicialmente, os litotipos descritos nesses furos, constantes na modelagem da jazida, eram xistos arroxeados indivisos. Os resultados do exame desses furos são apresentados a seguir:

1. FDFN041: 50-112m: filito prateado com passagens amarelo ocre arroxeados (Fig. 5.24a) e na porção inferior aparece filito escuro; 73,25-74,25m quartzito ferruginoso; 74,25-112m filito prateado;
2. FDFN048: 70-102m: até 77,50m rocha máfica intemperizada de coloração ocre com foliação incipiente; 77,50-80,30m filito cinza prateado (Fig. 5.24b); 80,30-89,60m filito arroxeados; 89,60-97,55m filito prateado e junto ao topo torna-se quartzoso com filmes de manganês;
3. FDFN206: 0-64m: filito cinza prateado, filitos com bandas de alteração ocres e brancas, passagem de quartzito (Fig. 5.24c) fino branco entre 9,65 a 10,70m;
4. FDFN205: 240-271m: até 250,30m itabirito; 250,30-251,35m filito esverdeado em contato transicional para mármore impuro (Fig. 5.24d) com passagens manganésíferas;
5. FDFN019: 30-55m: 30,0-31,60m material terroso escuro; de 31,60-49,40m filito cinza prateado; a partir de 49,40m itabirito silicoso hidratado;
6. FDFN337: 50-90m e 179-190m: até 51,10m xisto verde sã e laminado; de 51,10-64,75m rocha máfica com faixas foliadas de coloração verde (Fig. 5.24e); 64,75-83,25m filitos esbranquiçados com passagens de filito róseo; e a partir de 83,25m em diante itabirito goethítico manganésífero. 179,65-190,65m quartzito ferruginoso com passagens de filito prateado de 185,35 a 186,35m;
7. FDFN270: 15-70m: 15-25,30m material terroso; 25,30-60,20m filito cinza prateado com alterações ocres, arroxeados e brancos; 64,20-70m quartzito ferruginoso (Fig. 5.24f) e filito prateado intercalado, no topo passagem para itabirito.

As características dos litotipos identificados nos furos acima, que incluem filitos prateados, quartzitos ferruginosos e mármore impuros, são típicas do Grupo Piracicaba e são correlacionadas às rochas das formações Cercadinho e Fecho do Funil.

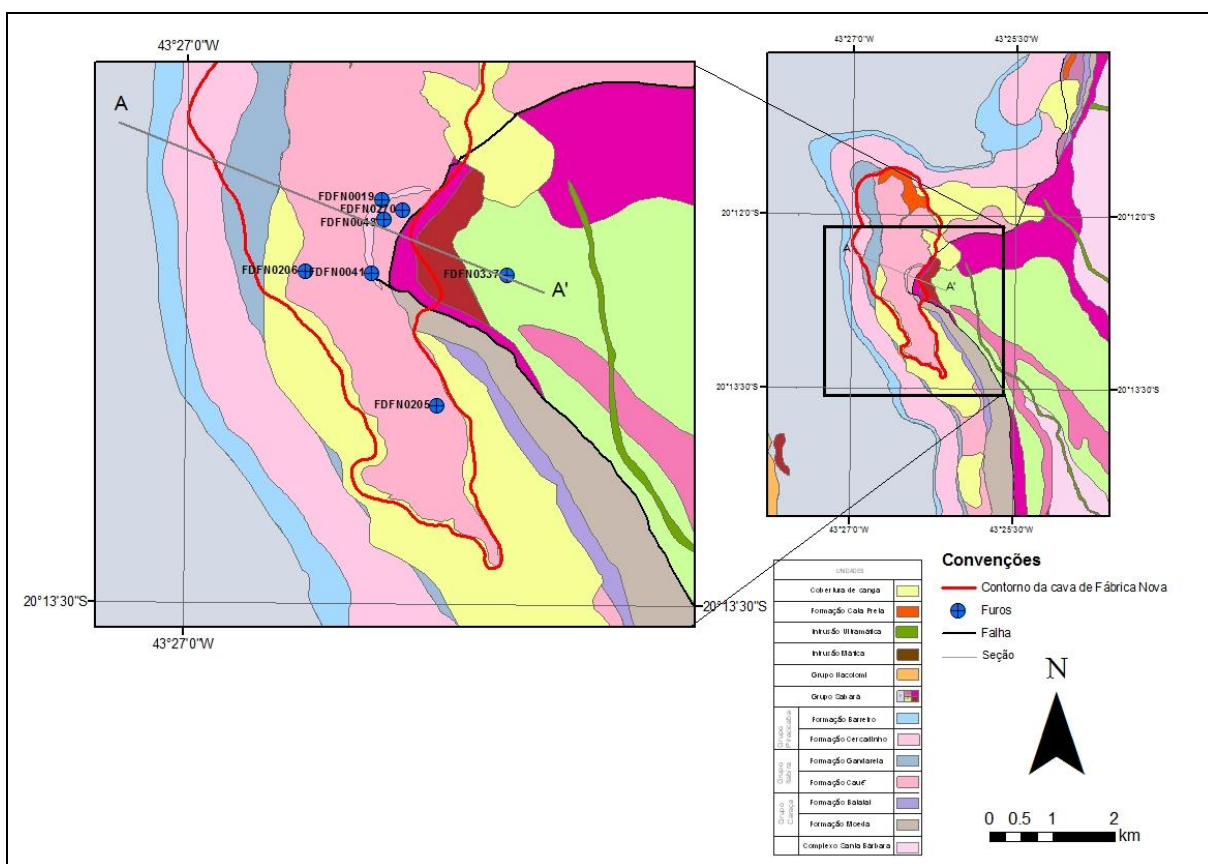


Figura 5.22 - Mapa geológico da região de Fábrika Nova com a localização dos furos e seção.

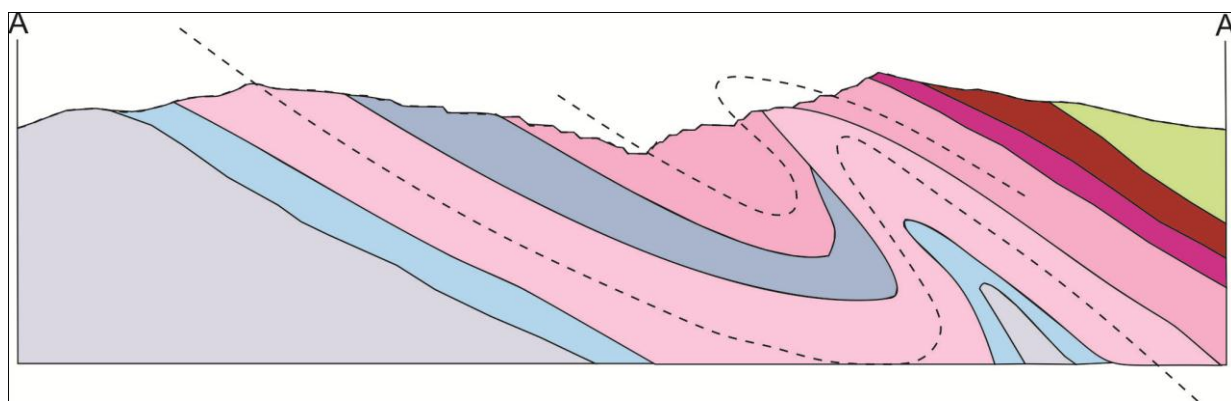


Figura 5.23 - Seção A-A' representando o sinforme Fábrika Nova e a antiforme Alto Pai Miguel.



Figura 5.24 - a) Filito prateado com passagens amarelo ocre arroxeadado encontrado no furo FDNF041. b) Filito cinza prateado observado no furo FDFN048. c) Passagem de quartzito fino branco do furo FDFN206. d) Mármore impuro do furo FDFN205. e) Xisto verde são transitando para uma rocha máfica com faixas foliadas de coloração verde encontrado no furo FDFN337. f) Quartzito ferruginoso observado no furo FDFN270.

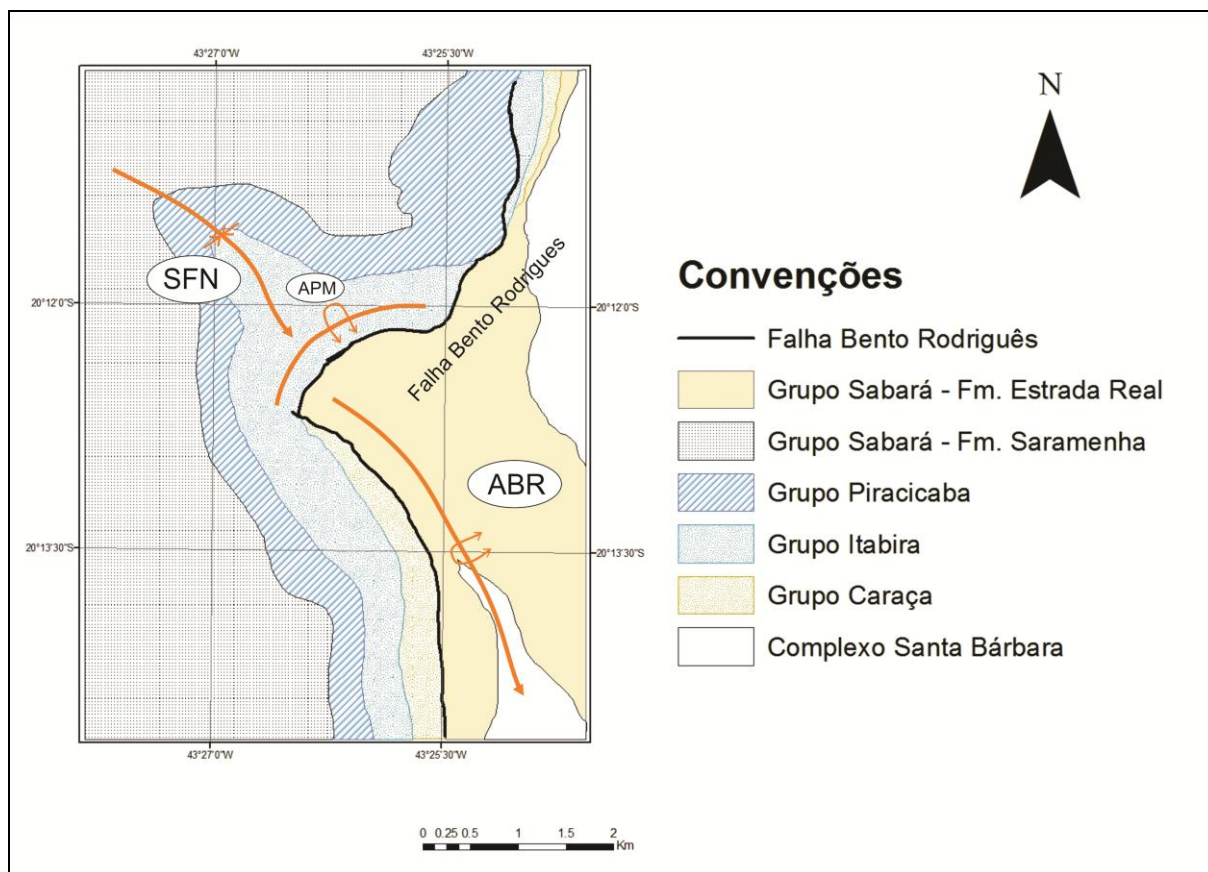


Figura 5.25 - Mapa geológico síntese da região de Fábrica Nova indicando a posição dos traços axiais da anticlinal Bento Rodrigues - ABR, sinforme Fábrica Nova - SFN e antiforme Alto Pai Miguel - APM.

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO E MODELO TECTÔNICO

6.1 – INTRODUÇÃO

As informações litoestratigráficas e estruturais, coletadas a partir de uma cartografia geológica de semi-detalhe, possibilitaram a proposição de um modelo geológico para o sinclinal Santa Rita, sobretudo para a geometria da região Fábrica Nova. O modelo e a conformação estrutural, aqui propostos, resultam da superposição de pelo menos 3 (três) fases de deformação sobre a nappe Ouro Preto.

A região da mina de Fábrica Nova é estruturalmente complexa devido à presença de um acervo megascópico variado em um espaço relativamente confinado, tornando objetivas o processo da competição entre as estruturas e, por consequência, obscurecendo as relações estruturais. O arcabouço estrutural de Fábrica Nova é impar e no detalhe não se replica lateralmente e nem regionalmente. Nestas condições, a análise estrutural se torna uma tarefa não-linear com múltiplas hipóteses para o ordenamento cronológico das estruturas e respectivos campos de tensão. Esse cenário é desastroso no modelamento geológico do depósito de Fábrica Nova.

6.2 - EVENTOS DE DEFORMAÇÃO

6.2.1 - Evento deformacional E_1

O evento E_1 é assinalado por uma tectônica compressiva e responsável pela nucleação do sinclinal Santa Rita e engloba as fases de deformação F_1 e F_2 , caracterizadas pela geração de dobras fechadas com eixos de direção ESE.

A nappe Ouro Preto, manifestação da fase de deformação F_1 , possui vergência dirigida para S-SW. A presença de dobras mesoscópicas com padrão de superposição indicam que esta fase de deformação foi responsável pela geração de dobras em diferentes escalas com vorticidade horária ou dobras em padrão “Z”. A trama relacionada à fase F_1 foi obliterada, quase em sua totalidade, pelas fases de deformação subsequentes.

A segunda fase de deformação F_2 consiste no redobramento coaxial do flanco normal da nappe que originou o sinclinal Santa Rita. A zona axial deste sinclinal compreende os domínios setentrionais para além da mina de Almas.

A borda leste do QFe constitui o *locus* de ocorrência da tectônica *thin-skinned* (tectônica epidérmica), caracterizada pelo descolamento e dobramento das rochas supracrustais, e da tectônica *thick-skinned* (tectônica do embasamento envolvido), definida pela sobreposição das rochas gnáissicas

do Complexo Metamórfico Santa Bárbara por falha de empurrão com movimento dirigido de N-NE para S-SW.

Durante a tectônica *thin-skinned* nucleou-se o sinclinal Santa Rita, o qual resulta do redobramento de um flanco da nappe Ouro Preto, com vorticidade em “Z”, sendo atestada pela presença de dobras mesoscópicas com padrão de superposição “S” sobre “Z” no flanco inverso e “Z” sobre “Z” no flanco normal. Progressivamente, a tectônica *thick-skinned* se instalou e neste período o embasamento gnáissico se justapôs às rochas metassedimentares do Supergrupo Minas com movimento dirigido de norte para sul. Por conseguinte, as atitudes dos planos do acamamento e das foliações tectono-metamórficas apresentam mergulhos para norte e as estruturas lineares como eixos de dobras e lineações de interseção se orientam segundo a direção WNW-ESE.

Na interface entre embasamento e rochas supracrustais instala-se a falha de Água Quente. Esta falha possui direção meridiana com mergulhos mais acentuados à norte em relação aos domínios meridionais. Na região de Fábrica Nova, os indicadores de movimento pertinentes à fase F_2 são em essência, de caráter direcional dextral, porém, é um movimento aparente devido às rotações impostas pelas fases de deformação subsequentes. Superimpõe-se, sobre esse movimento, uma fase tardia com movimento sinistral, interpretada aqui como o efeito do colapso orogênico do evento tectono-metamórfico paleotroterozóico - Transamazônico. Alternativamente, o movimento sinistral para norte pode ser o resultado da manifestação da fase F_3 .

A fase F_2 é representada por uma xistosidade S_2 penetrativa, com atitude média de 65-80/40-55, plano axial das dobras F_2 . A lineação de interseção entre os planos do acamamento S_0 e a xistosidade S_2 apresenta um caimento moderado para ESE, sendo paralela aos eixos de dobra B_2 e a lineação mineral.

6.2.2 - Evento deformacional E_2

Um evento magmático máfico-ultramáfico de caráter intrusivo ocorre após o dobramento das unidades do Supergrupo Minas. Estas rochas máfica-ultramáficas encontram-se deformadas e metamorfasadas pelo evento Brasileiro subsequente ao desenvolvimento de pronunciada xistosidade. Em termos regionais, as rochas de caráter máfico são correlacionadas ao evento de rifteamento Espinhaço ocorrido por volta de 1.700 Ma. Por sua vez, para as rochas ultramáficas, há duas interpretações na literatura: Dorr (1969) considera estas rochas de idade pós-Minas e Schorscher (1978) admite serem de idade Arqueana associada ao evento vulcano-sedimentar Rio das Velhas. O fato de estas rochas cortarem tanto o embasamento, quanto as supracrustais do Supergrupo Minas, corroboram a interpretação de Dorr (1969).

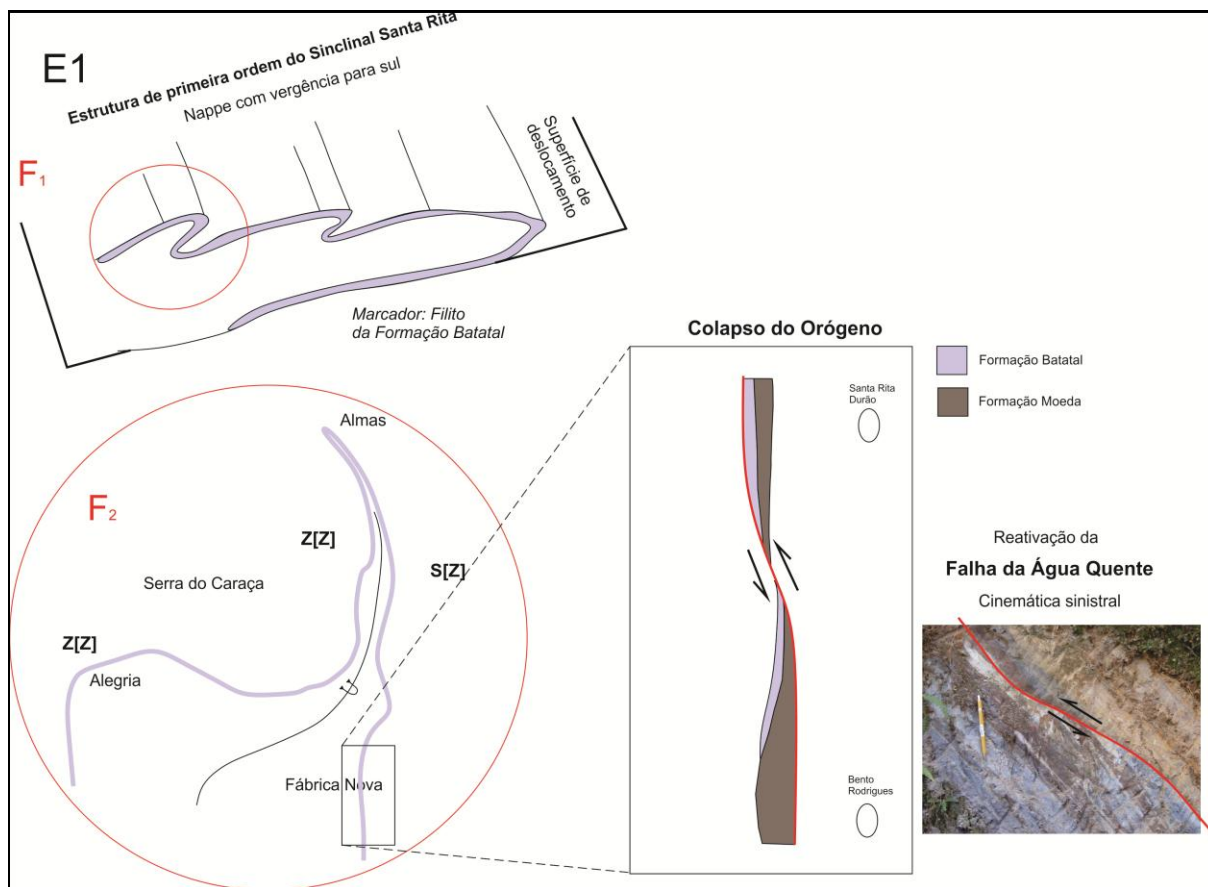


Figura 6.01 - Modelo esquemático representando as fases F₁ e F₂ do primeiro evento deformacional E₁.

6.2.3 - Evento deformacional E₃

O evento E₃ inclui as fases de deformação F₃ e F₄. A fase de deformação - F₃ corresponde a uma compressão N-S, que é caracterizada pela geração de dobras suaves a abertas com direções axiais E-W e reativação de discontinuidades de direção NW-SE com cinemática dextral, sendo posteriormente rotacionados pela fase F₄.

A quarta fase de deformação - F₄ manifesta-se por meio da amplificação das estruturas F₂, que incluem dobras e *boudins* e formação de dobras de caráter idiomórfico, de escala decamétrica, com eixos de orientação submeridiana, vergentes para W a exemplo do antiforme Alto Pai Miguel. Além disso, dobras do tipo kink, com planos axiais mergulhando para W em alto ângulo, fazem parte do acervo dessa fase. As discontinuidades mais significativas e profundas, relacionadas aos diques máficos e ultramáficos, sofreram processos de reativação, resultando em corpos máficos-ultramáficos milonitizados. O cavalgamento de E para W dos gnaisses do Complexo Metamórfico Santa Bárbara sobre as rochas do Supergrupo Minas, por meio da falha de Água Quente, não foi observado com tal

magnitude como descrito na literatura, pois a zona dessa falha mantém as linhas gerais da cinemática direcional das fases F_2 e F_3 .

A fase F_4 , caracterizada por um encurtamento crustal na direção EW, promoveu a rotação geral das estruturas planares e lineares, geradas nas fases anteriores, em especial à da fase F_2 , para E em torno de um eixo NS com magnitude aproximada de 50° .

6.2.4 - Evento deformacional E_4

As estruturas do quarto evento deformacional - E_4 decorrem de um período de intenso fraturamento crustal, provavelmente relacionado ao evento Sul-Atlântico, que proporcionou a formação de *grabens* e *horsts* para a sedimentação detrítica da Formação Cata Preta. As falhas frágeis possuem mergulhos elevados e direção submeridiana. Além disso, não apresentam uma expressão geomórfica significativa no relevo e o rejeito vertical não pode ser estimado.

A análise dos contatos entre a formação ferrífera e os sedimentos da Formação Cata Preta, bem como a descrição detalhada de cada fácies, possibilitou a proposição da origem destes depósitos. Foi possível observar duas gerações de *grabens*: a primeira geração, mais antiga, foi responsável pela deposição do depósito sedimentar principal que aflora na mina (Fig. 6.02). As falhas normais que delimitam este *graben* apresentam uma direção E-W e de acordo com Lipski (2002) esta fase de deformação ocorreu sob regime de tensão transtativo NNW-SSW.

A segunda geração de *grabens* está associada à falhamentos, predominantemente, normal de direção N-S (Fig. 6.03). Estes *grabens* afloram em toda a porção leste da mina e localmente na cava sul. São preenchidos por depósitos sedimentar argiloso de coloração avermelhada similares as fácies 5 e 6. No contato com as falhas observa-se matacões de canga e formação ferrífera.

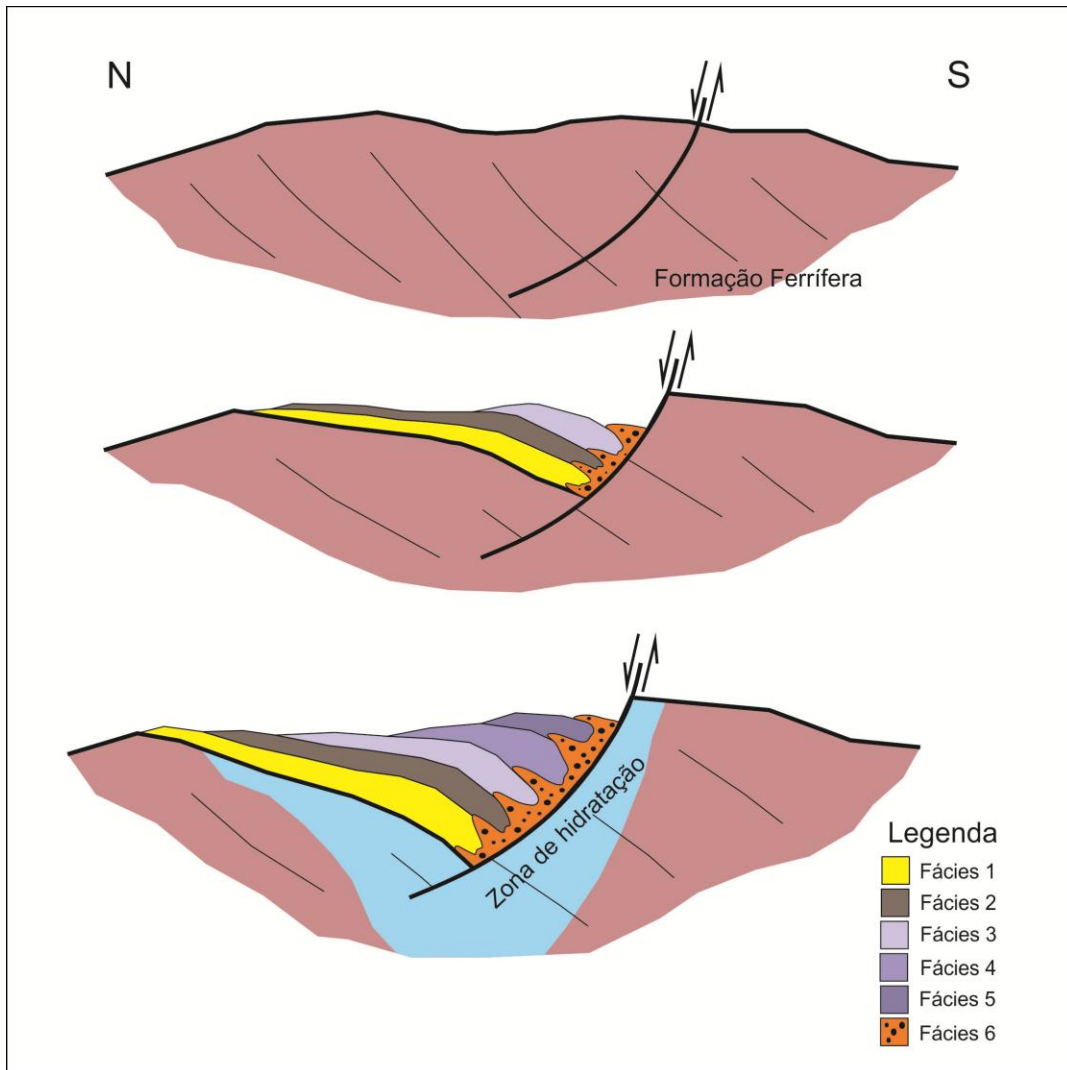


Figura 6.02 - Modelo proposto para deposição dos sedimentos da Formação Cata Preta na mina de Fábrica Nova.

A origem destes depósitos cenozóicos, presentes no Quadrilátero Ferrífero, está relacionado à geração de grabens, com eixo predominantemente segundo as direções WNW-ESSE e E-W (Lipski 2002). Este evento teria ocorrido entre o Oligoceno e o Eomioceno associado à sedimentação de alta energia em clima árido a semi-árido com chuvas torrenciais possibilitando a deposição dos sedimentos por fluxo de detritos.

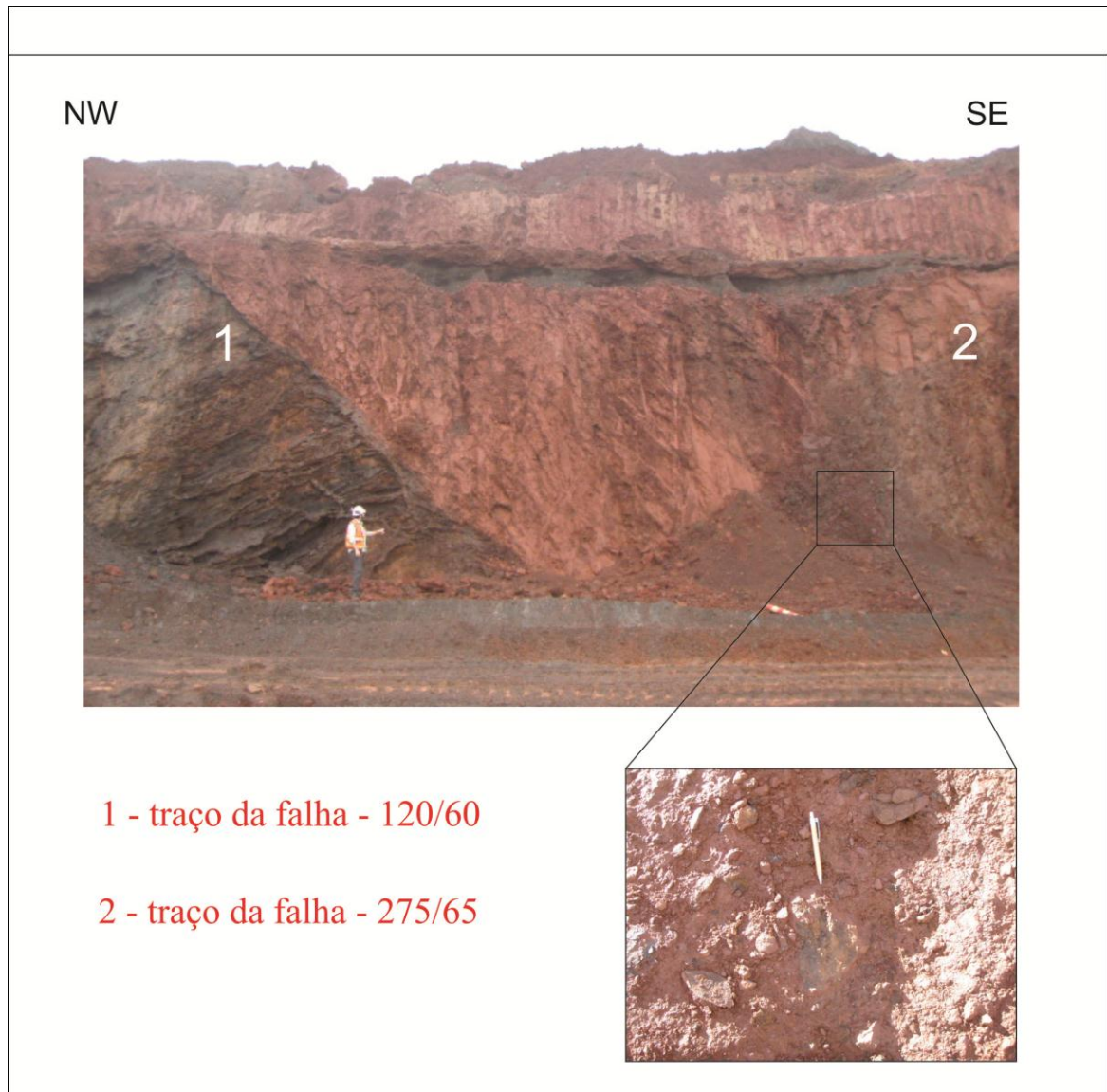


Figura 6.03 - Segunda geração de grabens com eixo N-S. Em detalhe os matacões de canga e formação ferrífera no contato com a falha.

6.3 - MODELO ESTRUTURAL – REGIÃO DE FÁBRICA NOVA

O sinclinal Santa Rita constitui uma dobra reclinada de escala sub-regional de direção axial NW-SE com raízes no embasamento adjacente do Complexo Santa Bárbara e seccionada pela falha de Água Quente. Esta dobra foi nucleada durante o evento Transamazônico por volta de 2.125 Ma e constitui uma dobra sinclinorial reclinada resultante do redobramento (F_2) do flanco normal da nappe Ouro Preto (F_1) (e.g. Almeida 2004). A zona da charneira situa-se na região de Tamanduá e Almas (Fig. 6.04 - b), com eixos apresentando caimentos moderado a alto para ESE. Os flancos são subparalelos e, no flanco inverso, as unidades estratigráficas são menos espessas do que a sua

contraparte do flanco normal situado a oeste. No núcleo ocorrem xistos, filitos e quartzitos ferruginosos pertencentes aos grupos Piracicaba e Sabará.

Sucedese a estes eventos tectono-metamórficos uma fase de magmatismo máfico e ultramáfico de idade pré-Brasileira.

A mina de Fábrica Nova está inserida em uma estrutural sinformal de eixo 100/20, o sinforme de Fábrica Nova. A direção do acamamento das unidades que compõem o flanco oeste comporta-se de forma constante e homogênea, como um homoclinal suavemente perturbado por ondulações da fase F_3 . Por sua vez, o acamamento do flanco leste é fortemente perturbado por dobramentos decorrentes de, pelo menos, dois campos de encurtamento, quais sejam, o de direção N-S da fase F_3 e o de direção E-W da fase F_4 . Adicionalmente, as estruturas frágeis da tectônica formadora da bacia sedimentar da Formação Cata Preta podem ter contribuído para rotacionar as estruturas do embasamento.

Uma pequena dobra antiformal, o antiforme Alto Pai Miguel, projeta os litotipos da Formação Cercadinho em meio aos itabiritos da Formação Cauê em forma de meia lua (Fig. 5.20). Outros elementos estruturais estão presentes nesse cenário, tais como: i) o deslocamento dextral do quartzito da Formação Moeda; ii) a rotação da direção do acamamento na posição N-S, numa faixa estreita do flanco oeste do sinclinal Fábrica Nova; iii) a dobra aberta F_3 de eixo 081/43 e iv) a inflexão dos diques rocha máfica para a direção E-W e das rochas ultramáficas para N-S (Fig. 3.17).

Em linhas gerais, o seguinte ordenamento estrutural parece ser compatível, com base nos campos de tensões definidos para o arcabouço sub-regional de Fábrica Nova:

- **Estruturas da fase F_2** : anticlinal Bento Rodrigues (Fig. 6.04); falha Bento Rodrigues (Sistema de Falhas Água Quente);
- **Estruturas da fase F_3** : dobras abertas de direção axial E-W; reativação dextral das descontinuidades NW-SE, preenchidas ou não;
- **Estruturas da fase F_4** : sinforme Fábrica Nova (Fig. 6.04); antiforme Alto Pai Miguel (Fig. 6.04); reativação sinistral das descontinuidades NW-SE, preenchidas ou não;
- **Estruturas da fase F_5** : formação da bacia de deposição da Formação Cata Preta; sistema de fraturas de Fábrica Nova.

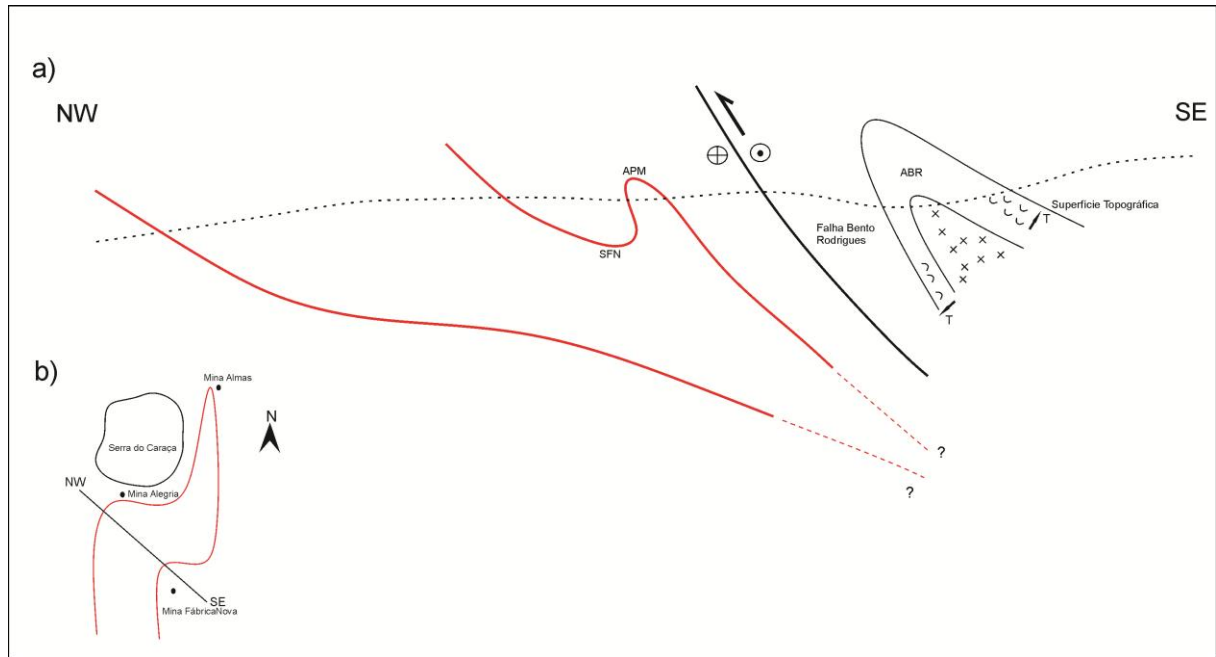


Figura 6.04 – a) Seção regional NW-SE entre as minas de Alegria e Fábrica Nova mostrando a relação das principais estruturas do arcabouço sub-regional. b) Disposição da seção no Sinclinal Santa Rita e localização das minas.

As relações entre as estruturas da fase F_4 são as mais complexas, pois elas não respondem diretamente ao campo de encurtamento regional E-W e não se replicam lateralmente e nem regionalmente. Mecanismos de deformação da cobertura induzidos por uma descontinuidade do embasamento podem atuar de modo ativo (Wilcox *et al.* 1973, Naylor *et al.* 1986, Brink *et al.* 1996, Erslev 1991, Narr e Suppe 1994, Erslev e Mayborn 1997, Tindall 2000) ou passivo (Passchier 2001, Grasemann e Stüwe 2001, Exner *et al.* 2004). Desta forma, pode-se aventar duas hipóteses para explicar o arcabouço estrutural da região de Fábrica Nova: a) falha transcorrente do embasamento e b) *flanking folds*.

A estruturação resultante da região de Fábrica Nova por meio da atuação de uma falha transcorrente do embasamento afetando as rochas da cobertura de maior plasticidade poderia constituir em um modelo plausível. O movimento ao longo de uma falha transcorrente (strike-slip) no embasamento e coberto por uma sequência de sedimentos resulta em um acervo estrutural típico incluindo dobras *en échelon* e um arranjo de fraturas *Riedel e anti-Riedel*, falhas normais e reversas (Prince & Cosgrove 1990). Dentro desta zona de cisalhamento formam-se juntas e falhas, nas quais as falhas formadas são conjugadas e denominadas de R e R'. Adicionalmente, observa-se a presença de um sistema P, obliquo a R e R' e com deslocamento no mesmo sentido da falha principal.

Em zonas de falhas transcorrentes no embasamento, o componente de movimento, faz com que os eixos das dobras da cobertura apresentem um ângulo com o traço de falha e um sistema

complementar de fraturas de cisalhamento. Esta relação angular do eixo da dobra com o traço da falha pode ser observadas na área em estudo.

Entretanto, a associação do movimento de uma falha transcorrente no embasamento com a formação do sinforme Fábrica Nova não pôde ser comprovada devido à não identificação do acervo de estruturas típicas associadas a este tipo de movimento. A não observação de fraturas do tipo R e R', assim como de falhas normais oblíquas ao traço da falha principal do embasamento, enfraquecem esta hipótese.

Assim, apresenta-se um outro mecanismo plausível para a evolução estrutural da fase F₄, com base no modelo de *flanking fold* descrito e estabelecido por Passchier (2001) (Fig.6.05). Os indicadores cinemáticos e a simetria das estruturas da fase F₄ são compatíveis com o mecanismo e partição de deformação relacionado ao modelo de *flanking fold*.

Flanking structures são defleções de uma trama planar ou linear em rochas ao longo de uma estrutura transversal, como um veio ou fratura. Estruturas como falhas ou veios, geralmente cortam tramas como acamamento, xistosidade ou mesmo um veio mais antigo. Se estas estruturas, chamadas de elemento transversal (ET) são sujeitas a mesma deformação que o elemento trama (S), a orientação de S, em muitos casos, é defletida ao longo do contato com ET (Fig.6.05).

No caso de Fábrica Nova, o elemento transversal à trama "S" regional é a descontinuidade crustal alimentadora dos diques de rocha máfica de direção NW-SE presentes neste segmento do Qfe. A partir deste mecanismo, as estruturas da fase F₄ podem ser entendidas como a manifestação do processo de partição de deformação em torno da descontinuidade principal e estruturas subsidiárias de segunda ordem. Neste ambiente, o campo de tensões locais varia continuamente com a progressão da deformação e o processo de competição entre estruturas entra em cena (*e.g.* Woodward 1999).

A considerar este mecanismo de deformação sub-regional por *flanking fold* como modelo para o entendimento do arcabouço estrutural de Fábrica Nova, pode-se determinar a magnitude de deformação específica - strain (Rf) considerando (*e.g.* Passchier 2001): i) a relação angular das direções das camadas nos flancos longo e curto e ii) a relação angular entre a direção da descontinuidade crustal - elemento transversal e a direção das camadas do flanco curto. O valor aproximado da magnitude de deformação específica Rf, calculado com base no diagrama de Mohr, apresentado na figura 6.06, é em torno de 18,7 (Fig. 6.07).

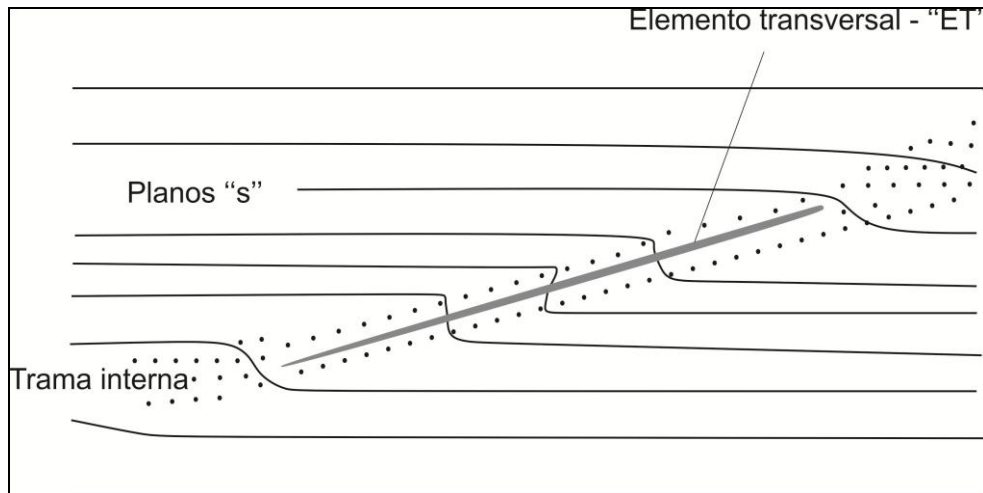


Figura 6.05 - Modelo de deflexão da trama planar ao longo e na zona em torno de um objeto discordante que pode ser uma fratura, veio e no caso de Fábrica Nova uma descontinuidade crustal preenchida ou não. O elemento transversal "ET" é o dique de rocha ultramáfica de Bento Rodrigues. (modificado de Passchier 2001).

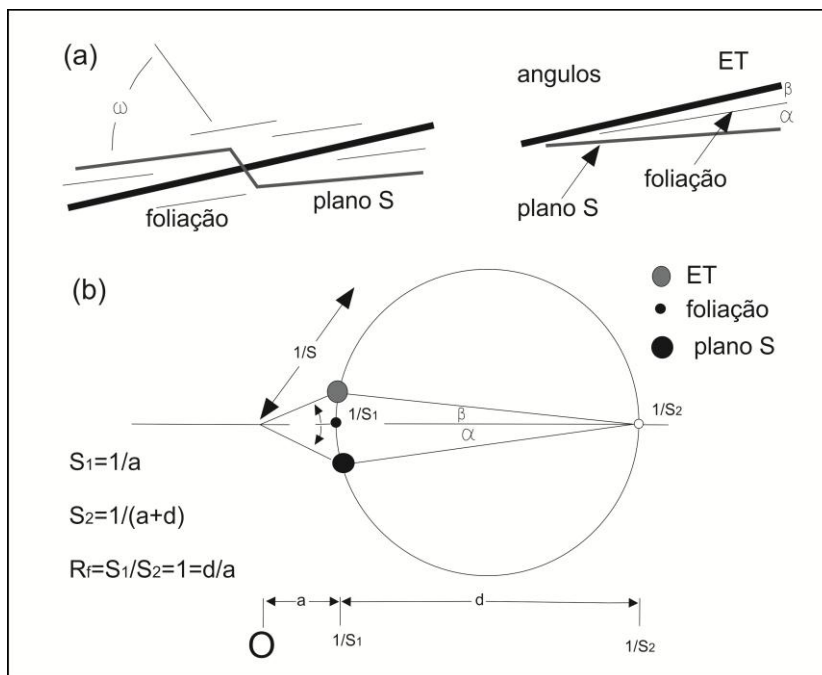


Figura 6.06 - Construção do círculo de Mohr para determinar magnitude de deformação específica R_f de uma estrutura flanking-fold. Os ângulos entre S, ET e a foliação da rocha (a), e o ângulo ω são plotados no diagrama de Mohr para deformação finita (b). R_f pode ser determinado usando as equações da figura. O origem da estrutura. S_1 e S_2 valores da deflexão. O ponto onde S_1 está plotado no diagrama de Mohr (pequeno círculo preto) representa a posição da foliação. As posições de ET e plano S externo são representados pelos círculos cinza e preto respectivamente. (Fonte: Passchier 2001).

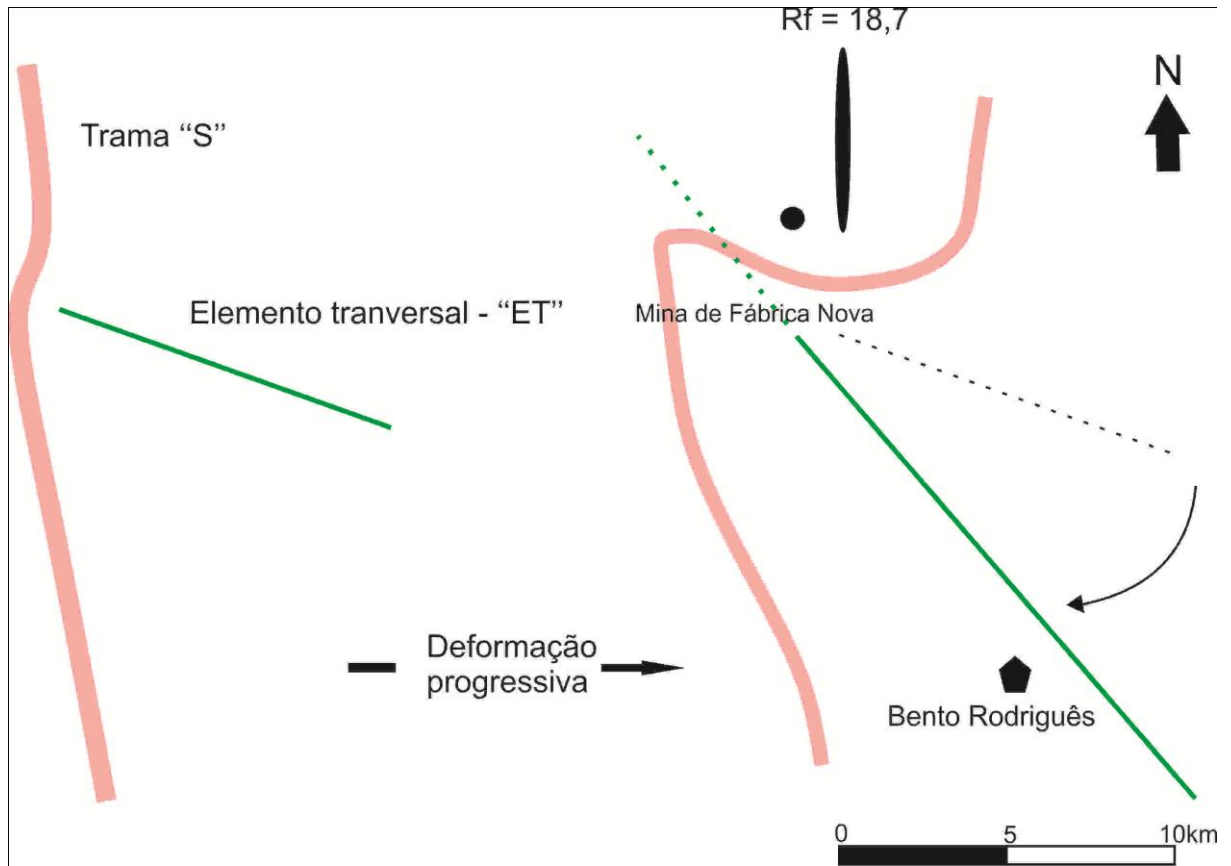


Figura 6.07 - Deformação específica - R_f com base no modelo de Passchier (2001). "S" é o elemento planar representado pela superfície de topo da Formação Cauê e "ET" é o elemento transversal representado pela direção da descontinuidade crustal, localmente, preenchido por rochas máficas e ultramáficas.

Tabela 6.01 - Síntese da evolução da região de Fábrica Nova

Era Geol.	Eventos		Natureza	Processos Tectônicos e Produtos Principais	Eventos tectônicos
Cenozóico	E ₄		Extensional	Grabens com eixo segundo as direções ENE-WSW e E-W. Deposição dos sedimentos da Formação Cata Preta.	Sul-Atlântico
Neoproterozóico	E ₃	F ₄	Compressional	Dobras assimétricas abertas a fechadas com charneiras de direção aproximada N-S e vergência para W - tipo Kink. Geração do sinforme e antiforme de Fábrica Nova pelo mecanismo de <i>flanking folds</i> .	Brasiliano II
		F ₃		Clivagens de crenulação de direção E-W e mergulhos subverticais. Dobras suaves a abertas com eixo de caimento moderado para ENE e dobras em estilo kink com plano axial mergulhando para sul. Falha transcorrente dextral e fraturas associadas.	Brasiliano I
Paleoproterozóico	E ₂		Extensional	Geração de descontinuidades crustais e intrusão de diques máficos e ultramáficos.	Espinhaço
				Reativação da Falha da Água Quente. Cinemática Sinistral.	Colapso Orogênico
	E ₁	F ₂	Compressional	Formação do Sinclinal Santa Rita a partir do redobramento da nappe Ouro Preto: Repetição das camadas Minas na borda leste do Qfe e justaposição dos gnaisses do Complexo Santa Bárbara em movimento dirigido de norte para sul - Falha da Água Quente. Geração do anticlinal Bento Rodrigues.	Transamazônico
F ₁		Dobramento regional do tipo nappe com vergência para SW.			

6.4 - MINA DE FÁBRICA NOVA

O comportamento geral da trama na mina de Fábrica Nova é de S-tectonito, exceto nas charneiras de dobras F₄. A superposição de fluxo da aba leste do sinclinal Santa Rita é de “S” sobre “Z”. No sinforme de Fábrica Nova, o fluxo tectônico é particionado em “Z” sobre “Z” no flanco longo (oeste) e “S” sobre “Z” no flanco curto. Essa cinemática sintética e antitética nos flancos longo e curto, respectivamente, irá definir a característica textural da razão de forma dos cristais: i) predomínio de cristais menores e platiformes no flanco oeste e ii) predomínio de cristais equigranulares no flanco leste. O processo de hidratação mais intenso no domínio do flanco leste do sinforme Fábrica Nova se deve à combinação de fatores, tais como: i) a heterogeneidade de anisotropias e orientações; ii) maior densidade de estruturas: dobras, falhas e diques e iii) presença de uma bacia de deposição da Formação Cata Preta.

Assim, a tarefa de compartimentar, de forma mais detalhada, os tipos de minérios do flanco leste se torna complexa pelas características desse sistema, tanto no plano 2D quanto no 3D. Um

modelo confiável e de boa previsibilidade exigirá uma densidade de dados distribuídos em escala maior. A relação custo x benefício irá definir o empreendimento da modelagem.

A granulometria fina, encontrada na região oeste da cava norte (subdomínio IIa), condiciona uma grande instabilidade dos taludes, o que acarreta numa taxa de erosão muito elevada quando comparado às outras regiões da mina.

Na cava sul (subdomínio IIb) o acamamento apresenta direção preferencial N-S com mergulho moderado para E, comportando-se como um homoclinal. As dobras nesta região apresentam padrão em “S”. Esse subdomínio apresenta pouca variação tipológica, predominando itabiritos silicosos, compactos e em geral com alto teor de manganês.

1 - Das estruturas primárias na região de Fábrica Nova

O acamamento S_0 , preservado nos itabiritos da Formação Cauê e nos quartzitos das formações Moeda e Cercadinho e Grupo Sabará, define o contorno geométrico em forma de *bumerangue* na região de Fábrica Nova. As relações geométricas entre o acamamento e a xistosidade possibilitaram a definição do arcabouço estrutural da área, que é constituído por dobras de escala regional e, por dobras de ordem inferior.

2 - Da estratigrafia

O mapa geológico apresentado propõe modificações no que se refere à correlação estratigráfica de algumas unidades geológicas. A partir do reconhecimento das características petrográficas e mineralógicas, o presente trabalho sugere algumas modificações em relação à cartografia em vigência para a área, que foi proposta por Maxwell (1972).

Os quartzitos, xistos e metaconglomerados, que afloram entre os distritos de Santa Rita Durão e Bento Rodrigues, são correlacionados por Dorr (1969) e Maxwell (1972) ao Grupo Maquiné. Neste trabalho, estas rochas passam a compor a unidade mais jovem do Grupo Sabará, a Formação Estrada Real (Almeida 2004).

O Grupo Caraça aflora a oeste de Bento Rodrigues em uma faixa de até 450 metros de espessura, orientados rumo NNW. Quartzitos e filitos muito alterados voltam a aflorar a norte da área, na localidade de Santa Rita Durão, em uma estreita faixa que não ultrapassa 100 metros, orientados rumo NNE. O desaparecimento das Formações Moeda e Batatal no setor central do mapa é resultado de um processo de *boudinagem*, que ocorreu, provavelmente, durante o colapso orogênico do transamazônico, ao reativar a falha Bento Rodrigues em uma cinemática sinistral.

Diques de rochas metaultramáficas e direção NW-SE foram mapeados cortando o embasamento e as rochas do Supergrupo Minas. Estas rochas afloram em toda a região leste da área mapeada. Schorscher (1979) admite que estas rochas são de idade Arqueana associada ao evento vulcano-sedimentar Rio das Velhas. Por sua vez, este estudo considera que estas rochas sejam pós-Minas, pelo fato de cortarem tanto o embasamento quanto as rochas do Supergrupo Minas. Porém, cabe mencionar que o evento deformacional que atuou na região e possibilitou a intrusão destas rochas ainda é incerto.

3 - Do sinclinal Santa Rita

Diferentemente da proposta de Dorr (1969) e Maxwell (1972), o sinclinal Santa Rita trata-se de uma dobra reclinada de escala sub-regional de direção axial NW-SE com raízes no embasamento adjacente do Complexo Santa Bárbara e seccionada pela falha de Água Quente. Esta dobra foi nucleada durante o evento Transamazônico por volta de 2.125 Ma e constitui uma dobra sinclinorial reclinada resultante do redobramento (F_2) do flanco normal da nappe Ouro Preto (F_1) (e.g. Almeida 2004). A zona da charneira situa-se na região de Tamanduá e Almas, com eixos apresentando caimentos moderado a alto para ESE. Os flancos são subparalelos e, no flanco inverso, as unidades estratigráficas são menos espessas do que a sua contraparte do flanco normal situado a oeste. No núcleo ocorrem xistos, filitos e quartzitos ferruginosos pertencentes aos grupos Piracicaba e Sabará.

4 - Sobre a Falha de Água Quente

A falha de Água Quente exibe uma cinemática aparente direcional dextral, sendo superposta por uma cinemática sinistral. Localmente, o conjunto exibe movimentos reversos.

O movimento da falha é de cavalgamento de norte para sul, levando unidades do embasamento e lascas das porções superiores do Supergrupo Minas. Porções dessas supracrustais estão confinadas na anticlinal de Bento Rodrigues.

5 - Da mina de Fábrica Nova

A mina de Fábrica Nova localiza-se inteiramente no domínio estrutural de flanco inverso do sinclinal Santa Rita com padrão de superposição cinemática do tipo “S” sobre “Z”. A nucleação do sinforme de Fábrica Nova imprime novas características texturais nos minérios de ferro, em especial naqueles situados no flanco oeste do sinforme com a imposição da cinemática “Z” sobre “Z”, tornando-os mais finos. A partição da deformação em Fábrica Nova é processada por meio do mecanismo de *flanking fold*, que tem como elemento anisotrópico as descontinuidades crustais preenchidas ou não por rochas máficas e ultramáficas.

Referências

- Alkmim F. F. & Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brasil: Evidence for Paleoproterozoic Collision and Collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90**: 29-58.
- Almeida F. F. M. 1977. O Cráton de São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **7(4)**: 349-364.
- Almeida L. G., Endo I., Fonseca M. A. 2002. Sistema de nappes na porção meridional do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 41, João Pessoa, *Anais*, p.615.
- Almeida L. G., Oliveira D. J., Endo I. 2001. O arcabouço estratigráfico-estrutural da região de Dom Bosco/Bela Vista, Quadrilátero Ferrífero, como manifestação da orogênese minas com polaridade tectônica para sudoeste. 11 Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Belo Horizonte, SBG/ Núcleo Minas Gerais, Belo Horizonte. *Anais*, arquivo eletrônico.
- Almeida L. G. 2004. *Evolução Tectônica da porção central do sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais*. Dep. de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de mestrado, 110p.
- Almeida L. G., Castro P. T., Endo I., Fonseca M. A. 2005. O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: Uma Revisão Estratigráfica. *Rev. Bras. Geoc.* **35(2)**:177-186.
- Alvarenga J. P. M., 2013. *Petrografia e Geocronologia do Quartzito Furquim, Uma possível extensão oriental do Grupo Itacolomi na região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dep. de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. Monografia do trabalho final de graduação, 38p.
- Babinski M., Chemale F. Jr., Schumus W. R. 1991. Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3. São Paulo, 1991. *Anais*. São Paulo, SBGq. 2, p.628-630.
- Barbosa O. 1949. Contribuição à geologia do centro de Minas Gerais. *Miner. Metal.*, **14(79)**: 3-19.
- Barbosa O. 1954. Evolution du Géosynclinal Espinhaço. *Comptes Rendus*, **13**:17-36.
- Barbosa A. L. M. 1968. *Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero*. Ouro Preto, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 68p.
- Brink U.S., Katzman R., Lin, J., 1996. Three-dimensional models of deformation near strike-slip faults. *Journal of Geophysical Research* **101**, 16205-16220.
- Carneiro M. A. 1992. *O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional - Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 233p.
- Carneiro M. A., Carvalho Jr. I. M., Teixeira W. 1998. Petrologia, Geoquímica e Geocronologia dos diques máficos do Complexo Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero) e suas implicações na evolução crustal do Cráton São Francisco Meridional. *Rev. Bras. Geoc.*, **28(1)**:29-44.
- Carneiro M. A., Noce C. M., Teixeira W. 1995. Evolução policíclica do Quadrilátero Ferrífero: uma análise fundamentada no conhecimento atual da geocronologia U/Pb e geoquímica isotópica Sm/Nd. *Esc. Minas*, **48(4)**: 264-273.
- Castro E.C., Ferreira J. E., Castro P. T. A. 1998a. Formação Cata Preta: Uma nova unidade litoestratigráfica, definida em rochas cenozóicas, no extremo leste do Quadrilátero Ferrífero. Congresso Brasileiro de Geologia, 40, EXPOGEO - "Geologia e Desenvolvimento" - Belo Horizonte, *Anais*, p.: 81.
- Castro E.C., Ferreira J. E., Castro P. T. A. 1998b. Unidades litoestratigráficas Cenozóicas que ocorrem na borda leste do Quadrilátero Ferrífero, MG. Congresso Brasileiro de Geologia, 40, EXPOGEO - "Geologia e Desenvolvimento" - Belo Horizonte, *Anais*, p.: 92.
- Chemale F. Jr., Rosière C. A.; Endo I. 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais : um modelo. *Pesquisas*, **18(2)** : 104-127.
- Chemale F. Jr., Rosière C. A.; Endo I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Prec. Res.*, **65**:25-54.
- Cordani U. G., Kawashita K., Muller G., Quade H.; Reimer V., Roeser H., 1980a. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. *Academia Brasileira De Ciências*, **52(4)**: 785-799.

- Costa M.T. & Romano, A.W. 1976. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais 1:1.000.000: IGA/SECT-MG. 1 mapa.
- Derby O. 1906. The Serra do Espinhaço, Brazil. *Jour. Geol.*, 14(3): 374-401.
- Dorr J. V. N. II., Gair J. E., Pomerene J. B., Rynearson G. A. 1957. *Revisão Estratigráfica Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero*. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. Avulso. 81. 36p.
- Dorr J. V. N. II. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. *Professional Paper 641-A*. 110p.
- Endo I., Carneiro, M. A. 1996. O regime tectônico do Neo-Arqueano no Quadrilátero Ferrífero: Um modelo Transpressional. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39. Salvador, *Anais*, 1:414-416.
- Endo I. 1997. *Regimes Tectônicos do Arqueano e Proterozóico no Interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes, Minas Gerais*. São Paulo. 243p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- Endo I. & Machado R. 1997. Regimes tectônicos no segmento meridional do Cráton do São Francisco: região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: SBG, Simp. Geol. Minas Gerais, 9, Ouro Preto, / Núcleo MG, *Anais*, Boletim 14, p. 58-59.
- Endo I., Hartmann L. A., Saita M. T. F., Santos J. O. S., Frantz J. C., Carneiro M. A., McNaughton N. J., Barley M. E. 2002. Zircon SHRIMP U-Pb isotopic evidence for Neoproterozoic age of the Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 41, João Pessoa, *Anais*, p.518.
- Endo I., Silva L.G., Zavaglia G. 2004a. Mapeamento Geológico, Estratigrafia e Arcabouço Estrutural. Projeto Brucutu - Dois Irmãos. Convênio CVRD_UFOP, Relatório Interno. 38p.
- Endo I., Silva L. G., Zavaglia G., Rocha F., O G., Guimarães M. L. V., Rosas C. F., Lagoeiro L. E., Santos, G. J. I. 2004b. Arcabouço estrutural e modelo evolutivo do Sinclinal Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, MG. Resumo, XLII Congresso Brasileiro de Geologia, Araxá.
- Endo I., Oliveira A. H., Peres G. G., Guimarães M. L. V., Lagoeiro L. E., Machado R., Zavaglia. G., Rosas C. F. Melo R. J. 2005. Nappe Curral: Uma megaestrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização. *X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos / IV International Symposium on Tectonics, Curitiba. Boletim de Resumos Expandidos*, p. 279-282.
- Erslev E. A. 1991, Trishear fault-propagation folding: *Geology*, V. 19, p. 617-620.
- Erslev E. A. & Mayborn K. R., 1997. Multiple geometries and modes of fault propagation folding in the Canadian thrust belt. *Journal of Structural Geology*, 19, 321-335.
- Exner U., Mancktelow N. S. and Grasemann, B. 2004. Progressive development of s-type flanking folds in simple shear. *Journal of Structural Geology* 26, 2191-2201.
- Ferreira Fº F. A. 1999. *Análise Estrutural Qualitativa do Sistema de Falhas de Água Quente, Borda Leste do Quadrilátero Ferrífero, MG*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 162p.
- Ferreira Fº F. A. & Fonseca M. A. 2001. Partição da Deformação em Regimes Contracionais de Antepaís: Exemplo do Sistema de Falhas Água Quente. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3):267-278.
- Franco A. S. P. 2003. *Geometria e evolução tectônica do sinclinal Ouro Fino. Quadrilátero Ferrífero, MG*. Departamento de Geologia, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 102 p.
- Franco A. S. P. e Endo I. 2004. Sinclinal Ouro Fino revisitado, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Uma hipótese sobre a sua origem e evolução. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(2):167-174.
- Gair J.E. 1958. The Sabará Formation. In: Symposium on Stratigraphy of Minas Series in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*. São Paulo, 7 (2): 68-69.
- Gair J.E. 1962. *Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio da Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. Washington, USGS. 67 p. (Prof. Paper 341-A).

- Gomes C. J. S. 1986. Estudos estruturais e texturais no Complexo de Bação e nos metassedimentos adjacentes, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34. Goiânia, 1986. SBG. 3, p.1232-1245.
- Grasemann B. and Stuwe, K. 2001. The development of flanking folds during simple shear and their use as kinematic indicators. *Journal of Structural Geology* 23(4), 715-724.
- Guild P. W. 1957. Geology and mineral resources of the Congonhas district, Minas Gerais, Brazil. Washington, USGS/DNPM. *Professional Paper* 290. 89p.
- Guimarães D. 1931. *Contribuição à geologia do Estado de Minas Gerais*. Rio de Janeiro, Serv. Geol. Min. do Brasil. Boletim. 35. 36p.
- Hansen E. 1971. Strain Facies: Minerals, rocks and inorganic material. Springer Verlag, Berlin, 209pp.
- Harder E. C. & Chamberlin R. T. 1915. The geology of central Minas Gerais, Brazil. *Jour. Geol.*, 23(4): 341-378.
- Harland W. B. 1956. Tectonic facies, orientation, sequence, style and date. *Geological Magazine*. 93, p.110-120.
- Henwood W.J. 1871 Observations on metalliferous depositis on the gold mines of Minas Geraes in Brazil. Royal Geol. Soc. Cornwall, 8 (1): 168-370.
- Herz N. 1970. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. *Professional Paper* 641-B. 57p.
- Hobbs B.E., Means, W.D., Willians P.F. 1976. *An outline of structural geology* - New York, John & Sons. 571 p.
- Hsue K. J. 1995. The geology of Switzerland : an introduction to tectonic fácies. Princeton University Press. 250pp, ISBN 0691087873. Monograph.
- Jordt-Evangelista H., Muller G. 1986b. Petrologia da Zona de Transição entre o Cráton do São Francisco e o Cinturão Móvel Costeiro na Região Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34. *Anais...* Goiânia. p.1471-1479.
- Kent P. E., Satterthwaite G. E., Spencer A. M. 1969. Time and place in orogeny. Special Publication, No. 3, Geological Society of London, pp.311.
- Ladeira E. A. 1980. *Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. University of Western Ontario, Canadá, Ontario, PhD. Thesis, 272p.
- Lipski M. 2002. *Tectonismo Cenozóico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Ouro Preto-MG. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 171p.
- Machado N., Noce C.M., Ladeira E.A., Belo de Oliveira, O.A. 1992. U-Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **104**:1221-1227.
- Machado N. & Carneiro M.A. 1992. U-Pb evidence of late Archean tectono-thermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil. *Can. J. Earth Sci.* **29**:2341-2346.
- Machado N. & Noce C.M. 1993. A evolução do Setor Sul do Cráton São Francisco entre 3,1 e 0,5 Ga baseada em geocronologia U-Pb. In: SIMP. CRATON SÃO FRANCISCO, 2. Salvador, 1993. *Anais...*Salvador, SBG-BA, SE/SBG. p.100-102.
- Machado N., Noce C. M., Feng R. 1993 Idades Pb207/Pb206 de zircões detríticos de rochas meta-sedimentares da região do Quadrilátero Ferrífero, sul do Cráton São Francisco. Considerações sobre as áreas fontes e idades de sedimentação. In: simpósio Sobre o Cráton do São Francisco, 2. Salvador, *Anais* Salvador, SBG/SGM, 149-151.
- Machado N., Noce C. M., Oliveira O. A. B. de, Ladeira, E. A. 1989. Evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero no Arqueano e Proterozóico Inferior, com base em geocronologia U-Pb. In: SIMPÓSIO GEOLOGIA MINAS GERAIS 5 E SIMPÓSIO GEOLOGIA BRASILIA 1, Belo Horizonte, 1989. *Anais* Belo Horizonte, SBG/NMG. p.1-5.

- Machado N., Schrank A. Noce C.M., Gauthier G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, Southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*. 141 (1996) 259-276.
- Maxwell C. H. 1972. Geology and ore deposits of the Alegria district, Brazil. Washington, USGS/DNPM. *Professional Paper 341J*. 72p.
- Maxwell C. H. 1958. The Batatal Formation. Sociedade Brasileira de Geologia, Bol. vol. 7 n°2, p. 60-61.
- Maxwell C. H. 1960. Mapa Geológico da Quadrícula Capanema, Minas Gerais. Washington, USGS/DNPM. Prof. Paper 341J, 73 p.
- Moody J. D. & Hill M. J. 1956. *Wrench fault tectonics*. Geol. Soc. Am. Bull., 67, 1207-46.
- Narr W. & Suppe, J. 1994 Kinematics of basement-involved compressive structures. *American Journal of Science* 294, 802-860.
- Naylor M. A., Mandl G., Sijpesteijn, C.H.K., 1986. Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states. *Journal of Structural Geology* 8, 737-752.
- Noce C. M. 1995. *Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. São Paulo. 128p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- O'Rourke J. E. 1957. *The Stratigraphy of the metamorphic rocks of the Rio de Pedras and Gandarela Quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. University of Wisconsin, Wisconsin, Ph.D. Thesis, 106 p.
- Passchier C. W & Williams P. R. 1996. Conflicting shear sense indicators in shear zones; the problem of non-ideal sections. *Journal of Structural Geology*, 18(10), pp.1281-1284.
- Passchier C. W. 2001. Flanking Structures. *Jour. Struct. Geol.* 23: 951-962.
- Pomerene J. B. 1958a. The Cercadinho Formation.: Sociedade Brasileira de Geologia, Bol. vol.7, n°2, p.64-65.
- Pomerene J. B. 1958b. The Barreiro Formation: Sociedade Brasileira de Geologia, Bol. vol. 7, n°2, p. 67-68.
- Price N.J., Cosgrove J.W. 1990. *Analysis of geological structures*. Cambridge: Cambridge University Press. 502 p.
- Pumpelly R., Wolf, J. E., Dale, T. N. 1894. Geology of the Green Mountains. U.s. Geol. Surv. Mem., 23, 1-157.
- Ramsay J. G. 1967. *Folding and fracturing of rocks*. New York, McGraw Hill. 568p.
- Renger F. E., Noce C. M., Romano A. W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2(1): 1-11.
- Riedel W. 1929 Zur Mechnik Geologischer Brucherscheinungen. *Centralbl. f Mineral. Geol. und Pal.*, v. 1929. B, 354-422.
- Robertson A. H. F. 1994 Role of the tectonic facies concept in orogenic analysis and its application to Tethys in the Eastern Mediterranean region. *Earth-Science Reviews*, 37(3), p.139-213.
- Rodrigues L. C. R. 1992. *O Contexto Geológico-Estrutural do Parque Natural do Caraça e Adjacências, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 109p.
- Romano A. W. 1989. *Evolution tectonique de la région NW du Quadrilatère Ferrifère - Minas Gerais, Brésil*. Nancy. 259p. (Thèse Docteur, Université de Nancy I).
- Rosière C. A., Siemes, H. Quade, H., Brokmeier, H. G., Jansen E. M. 2001a. Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. *Journal of Structure Geology*, **23** (8).
- Rossi G. 2010. Quartzitos e Metaconglomerados Auríferos da Sequência da Serra da Boa Vista, Boeda leste do Quadrilátero ferrífero, MG, Brasil. USP, São Paulo. Dissertação de mestrado, 283p.
- Sant'anna L.G. 1994. Mineralogia das argilas e evolução geológica da Bacia Fonseca, Minas Gerais. USP, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 151 p.
- Schorscher H.D. & Guimarães, P. F. 1976. Estratigrafia e tectônica do Supergrupo Minas e geologia do Distrito Ferrífero de Itabira. In: CONG. BRAS. DE GEOL, 29. Belo Horizonte. *Anais do XXIX CBG*, Belo Horizonte. Roteiro de Excursões, pp. 75-86.

- Schorscher H. D. 1978. Komatiitos na estrutura greenstone belt da Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife, 1978. *Anais* Recife, SBG. 1, p.292-293.
- Schorscher H.D., Carbonari F.S.; Polonia J.C., Moreira J. M. P. 1982. Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais State: Rio das Velhas Greenstone Belt and Proterozoic Rocks. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC CRUSTAL EVOLUTION AND METALLOGENESIS - ISAP - Excursion Guide (Annex.). CPM-SME. Salvador, Bahia, 46 p.
- Schorscher H.D. 1992. Granitóides Borrachudos e magmatismo granítico arqueano tardio, in: *Arcabouço Petrográfico e Evolução Crustal de terrenos pré-cambrianos do Sudeste de Minas Gerais: Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional e domínios granito-gnáissicos adjacentes*. Tese de Livre Docência, 1:71-117, USP, Ined..
- Simmons G.C. 1968. Geology and ore deposits of the Western serra do Curral, Minas Gerais, Brazil. USGS Prof. Paper, 341- G, 57 p.
- Souza L. A. 2004. *Diagnóstico do meio físico como contribuição ao ordenamento territorial do município de Mariana (MG)*. Dep. de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de mestrado, 166p.
- Suita M.T.F., Hartmann L.A., Endo I., Santos J.O.S., Mcnaughton N.J. 2002. The oldest detrital zircon in South America – 3.8 Ga, determined by SHRIMP geochronology from a Quadrilátero Ferrífero sandstone. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 41, João Pessoa, *Anais*, p.528.
- Teixeira W., Sabaté P., Barbosa J., Noce C. M., Carneiro M. A. 2000. Archean and paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Cráton, Brazil. Tectonic Evolution of South America. Ed. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro. p101-137.
- Xypolias P. 2010. Vorticity analysis in shear zones: A review of methods and applications. *Journal of Structural Geology*. 32. pp.2072-2092.
- Xypolias P. 2009. Some new aspects of kinematic vorticity analysis in naturally deformed quartzites. *Journal of Structural Geology* 31. pp.3–10;
- Tindall S. E. 2000. *Development of oblique-slip basement-cored uplifts: Insights from the Kaibab Uplift and from physical models*, Ph.D. thesis, 261 pp., Univ. of Ariz., Tucson.
- Turner F.J. & Weiss L.E. 1963. *Structural analysis of metamorphic tectonites*. New York, McGraw Hill, 545p.
- Wallace R.M. 1958. The Moeda Formation. Soc. Bras. Geol., Bol., vol. 7, n°2, p.59-60.
- Wilcox R. E. Harding, T.P., Seely, D.R., 1973. Basic wrench tectonics. *Association of Petroleum Geologists Bulletin* 57 (1), 74-96.
- Williams P. F. 1985 Multiple deformed terrains--problems of correlation. *Journal of Structural Geology*,. 7(3/4). pp.269-280.
- Wilson G. 1961. The tectonic significance of small-scale structures and their importance to the geologist in the Field. A. Soc. Geol. Belg., **84**, 423-548.
- Wilson G. 1982. *Introduction to small-scale geological structures*. George Allen & Unwin.
- Woodward N. B. 1999. Competitive macroscopic deformation processes. *Journ. Struct. Geol.* 21: 1209-1218., m

Anexos



TERMO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Em 15 de agosto de 2014, no Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, procedeu-se à defesa de dissertação em CIÊNCIAS NATURAIS a DANIEL QUINAUD ROSSI concluinte do Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, na área de concentração Geologia Estrutural/Tectônica. Como parte integrante dos requisitos institucionais, o aluno apresentou a dissertação "Estratigrafia e arcabouço estrutural da região de Fábrica Nova Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais", tendo sido implementadas e atendidas integralmente quaisquer exigências e ou prescrições apresentadas pela banca examinadora.

Desta forma, este termo passa a constituir dispositivo legal e regulamentar para a expedição e registro do diploma, sendo datado e assinado pelo mestrando, e pelo Presidente do Colegiado do Programa de Pós-Graduação.

Ouro Preto, 15 de agosto de 2014

Daniel Quinaud Rossi

Prof. Dr. André Dandekar Filho
Presidente Colegiado de Pós-Graduação - ECRN
Departamento de Geologia – EM/UFOP