

PROJETO GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

INTEGRAÇÃO E CORREÇÃO CARTOGRÁFICA EM SIG

Projeto

Geologia do Quadrilátero Ferrífero-Integração e Correção Cartográfica em SIG

Início: Janeiro de 2004

Término: Julho de 2005

Coordenadora: Prof^a. Dr^a. Lydia Maria Lobato

Instituição Executora Principal: Universidade Federal de Minas Gerais

Áreas do Conhecimento: Metalogênese, Geologia Econômica, Cartografia Digital

Setores de Aplicação: Setor produtivo mineral

PARTICIPANTES

Instituição Coordenadora:

Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Instituto de Geociências-IGC (Departamento de Geologia), Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa-CPMTC

Financiadoras:

AngloGold Ashanti; Minerações Brasileiras Reunidas-MBR, Iamgold Brasil; São Bento Mineração; Companhia Vale do Rio Doce-CVRD (Diretoria de Ferrosos); Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais-CODEMIG

Cofinanciadoras:

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, Serviço Geológico do Brasil (apoio técnico especializado de geólogos; troca de informações; cessão de documentos; acompanhamento em campo); GeoGeraes (apoio financeiro e técnico especializado de geólogos; infra-estrutura operacional); Roots Rock (apoio financeiro e técnico especializado de geólogos)

Responsabilidade Técnica:

Lydia Maria Lobato, Ph.D. – Profa. do Depto. de Geologia & pesquisadora do CPMTC - UFMG (Coordenadora);

Adriana Borrelli Achstschin, M.Sc. – Geóloga (gerenciamento operacional);

Franciscus Jacobus Baars, M.Sc. – Diretor Roots Rock (projeto conceitual do SIG);

Orivaldo Ferreira Baltazar – Geólogo CPRM (Geologia do Quadrilátero Ferrífero);
Marcos Antônio Timbó, M.Sc. – Prof. Depto. de Cartografia da UFMG (quantificação dos erros cartográficos das cases);

Leandro Barros Reis, M.Sc.– Prof. Depto. de Ciências Biológicas, Ambientais e da Saúde do Centro Universitário de Belo Horizonte-UNI-BH e Diretor GeoGeraes (correção geométrica das bases cartográficas);

Eliane Voll – Geóloga e Karin Voll - Estudante de Geologia - UFMG (Projeto Gráfico);

Sérgio Lima da Silva – Geólogo CPRM (apoio à geologia);

Gabriel Valentim Berni e Vitor Diniz Silveira (estudantes de Geologia - UFMG);

Breno Reis Versiani de Mendonça e Daniel Veloso Ferreira (estudantes de Geografia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais-PUC-MG)

Instituição Editora:

Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais–CODEMIG

Equipe Editora-CODEMIG:

Wagner Geraldo da Silva – Gerente de Desenvolvimento Mineral, Andréa Vaz de Melo França – Geóloga, Jarbas Lima Dias Sampaio, M.Sc. – Geólogo.

Instituições Intervenientes:

Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira–ADIMB;
Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa-FUNDEP

Citação Bibliográfica do SIG:

Lobato, L.M.; Baltazar, O.F.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Baars, F.J.; Timbó, M.A.; Berni, G.V.; Mendonça, B.R.V. de; Ferreira, D.V. 2005. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1 CD-ROM

Citação Bibliográfica do Mapa Geológico com Nota Explicativa:

Baltazar, O.F.; Baars F.J.; Lobato, L.M.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Berni, G.V.; Silveira, V.D. 2005. **Mapa Geológico** na Escala 1: 50.000 com Nota Explicativa. *In*: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Lobato *et al.* (2005) CODEMIG. Belo Horizonte

Direitos de Reprodução

© *Copyright*: Todos os direitos autorais são reservados pela Codemig. A reprodução de parte ou de todo o Projeto deve ser autorizada pela Codemig, sob pena de lei. A utilização dos produtos digitais, documentais e gráficos de partes do projeto devem respeitar integralmente a autoria, conforme as citações bibliográficas, sob pena de lei.

PREFÁCIO

Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e Correção Cartográfica em SIG

O Projeto georreferencia, pela primeira vez, a geologia disponível para o Quadrilátero Ferrífero-QF, resultante do projeto de mapeamento geológico pelo convênio United States Geological Survey-USGS/Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM (1946-1964) e do mapeamento geológico do convênio DNPM/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM (1992-1996). O primeiro focou o Supergrupo Minas – 47 quadrículas integrais ou parciais na escala 1:25.000 – integrado em 1:150.000 (Dorr 1969). O segundo cartografou apenas o Supergrupo Rio das Velhas no interior do QF – 24 folhas integrais ou parciais na mesma escala – integrado em 1:100.000 (Baltazar e Silva 1996).

O resultado é um projeto em Sistema de Informações Geográficas-SIG, no *software* Arcview® 9.1 - formato *shape* (.shp), constando da integração cartográfica e geológica das unidades litoestruturais dos supergrupos Minas e Rio das Velhas. Para complementar a divulgação do projeto, quatorze mapas geológicos na escala 1:50.000, em formato Adobe® pdf, também integram o projeto SIG. Extensos detalhes da análise do erro cartográfico georreferencial, da geologia dos mapas e das elaboração do SIG acham-se na Nota Explicativa com anexos, que integra o SIG cada um dos mapas.

Não há modificações na geologia dos mapeamentos originais. Trabalhos de campo e interpretação de imagem de satélite Landsat 7 auxiliaram a integração necessária. Inconsistências cronoestratigráficas são resolvidas usando os melhores controles estratigráficos disponíveis (Baltazar & Zucchetti 2005; citações contidas nessa obra).

1 – INTRODUÇÃO

A correção cartográfica e a precisão posicional de informações relacionadas ao espaço geográfico são objetivos avidamente perseguidos por qualquer setor que labuta rotineiramente com a gestão do espaço e que pretende funcionar de forma organizada e sistêmica. No setor de mineração, a informação cartograficamente correta representa ganho sobretudo de melhoria da qualidade dos dados inventariados e garantia da correção de resultados das análises sobre os dados, proporcionando eficiência, redução de custos e de tempo.

Isso é particularmente crítico no caso da região do Quadrilátero Ferrífero - QF, que encerra importante número de depósitos minerais de classe mundial.

O objetivo central do presente projeto é reunir, em uma só base cartográfica corrigida, a geologia disponível para o QF, resultante dos projetos de mapeamento geológico pelos convênios United States Geological Survey-USGS/Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM (1946-1964) e DNPM/ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM (1992-1996). Para tanto, fez-se necessária a integração geológica das unidades litoestruturais dos supergrupos Minas e Rio das Velhas. O resultado deste trabalho é um projeto em sistema de informações geográficas-SIG, disponibilizado em meio digital.

O projeto DNPM/USGS teve como principal foco o mapeamento geológico do Supergrupo Minas (Figura 1); o projeto DNPM/CPRM (Projeto Rio das Velhas) cartografou exclusivamente o Supergrupo Rio das Velhas no interior do QF (Figura 2). O primeiro foi integrado na escala 1:150.000 por Dorr II (1969) e o Projeto Rio das Velhas, na escala 1:100.000, por Baltazar & Silva (1996). As tabelas 1 e 2 apresentam os nomes das cartas mapeadas nesses projetos. A integração representada por este Projeto segue a articulação definida na Figura 3.

2 – HISTÓRICO

O projeto *METALOGENIA QUANTITATIVA APLICADA A GIS: OURO E VMS*, realizado entre 2002 e 2003 por boa parte da equipe executora do presente projeto, estruturou uma base de dados em SIG sobre ouro na região do QF, totalizando 504 registros auríferos encaixados em rochas arqueanas do Grupo Nova Lima (garimpos, ocorrências, depósitos, minas), sendo 203 registros hospedados em formações ferríferas bandadas, aos quais vinculam-se 27 tabelas, 283 atributos e 83 bibliotecas (Alves-Pereira 2003, Baars *et al.* 2004, Baltazar *et al.* 2004).

O referido projeto foi financiado pelo Fundo Mineral (MCT-FINEP), com apoio da CPRM e gestão financeira da ADIMB. O trabalho exigia que o georreferenciamento dos dados fosse feito em base geológica a mais precisa possível.

Após uma avaliação cartográfica, constatou-se que as folhas do projeto de mapeamento USGS/DNPM (1:25.000) apresentam deslocamentos de até 350 m na grade de

coordenadas, resultantes da utilização de um sistema geodésico (datum) muito diferente do sistema Córrego Alegre ou SAD-69 do IBGE-PLAMBEL.

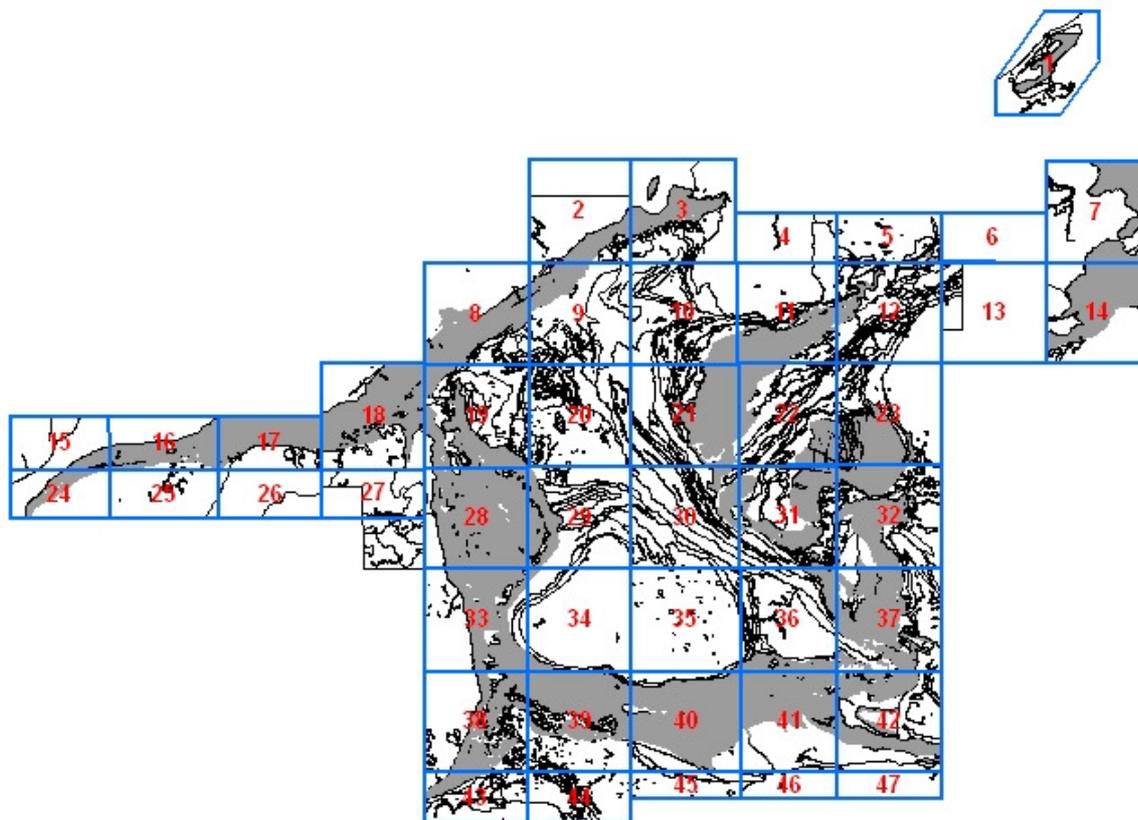


Figura 1 – Articulação do projeto DNPM/USGS (1946-1964) em azul.

Nº	Nome da Folha	Nº	Nome da Folha	Nº	Nome da Folha
1	Itabira	17	Fêcho do Funil ½	33	Marinho da Serra
2	Santa Luzia	18	Ibirité	34	Bação
3	Serra da Piedade	19	Macacos	35	Cachoeira do Campo
4	Antônio dos Santos	20	Rio Acima	36	São Bartolomeu
5	Cocais ½	21	Gandarela	37	Antônio Pereira
6	São Gonçalo ½	22	Conc. Rio Acima	38	Casa de Pedra
7	Monlevade	23	Catas Altas	39	São Julião
8	Belo Horizonte	24	Itatiaiuçu ½	40	Dom Bosco
9	Nova Lima	25	Sousas ½	41	Ouro Preto
10	Caeté	26	Brumadinho ½	42	Mariana
11	Gongo Soco	27	Piedade do Paraopeba ½	43	Jeceaba ½
12	Santa Bárbara	28	Lagoa Grande	44	Congonhas ½
13	Florália	29	Itabirito	45	Ouro Branco ½
14	Rio Piracicaba	30	Rio de Pedras	46	Sta. Rita do Ouro Preto ½
15	Serra Azul ½	31	Capanema	47	Rio das Bandeiras ½
16	Igarapé ½	32	Santa Rita Durão		

Tabela 1: Cartas geológicas mapeadas no projeto DNPM/USGS (1952-1969).

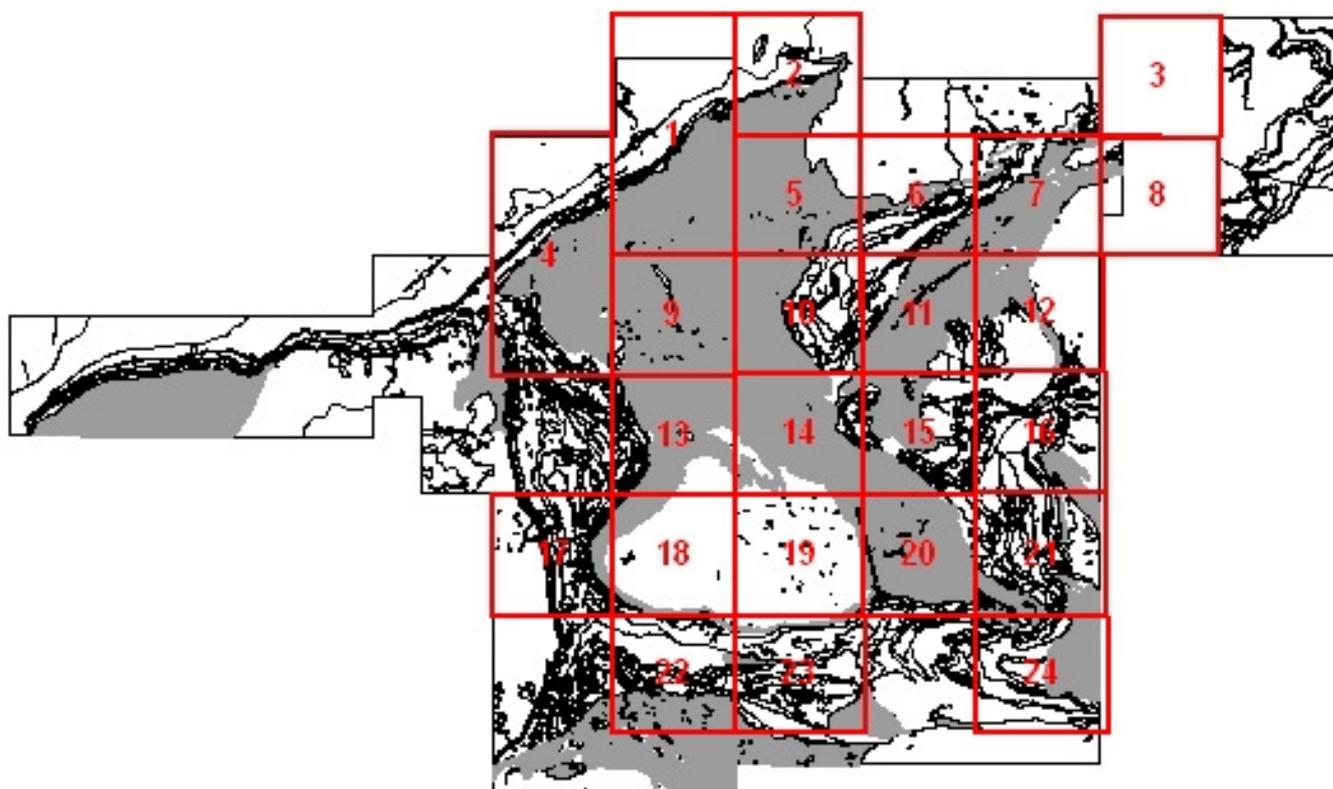


Figura 2 – Articulação do projeto DNPM/CPRM (1992-1996) em vermelho.

Nº	Nome da Folha	Nº	Nome da Folha
1	Santa Luzia e Nova Lima	13	Itabirito
2	Serra da Piedade	14	Rio de Pedras
3	São Gonçalo do Rio Abaixo	15	Capanema
4	Belo Horizonte e S. Sebastião das Águas Claras	16	Santa Rita Durão
5	Caeté	18	Baço
6	Gongo Soco	19	Cachoeira do Campo
7	Santa Bárbara	20	São Bartolomeu
8	Florália	21	Antônio Pereira
9	Rio Acima	22	São Julião
10	Gandarela	23	Dom Bosco
11	Conc. Rio Acima	24	Mariana
12	Catas Altas	28	

Tabela 2: Cartas geológicas mapeadas no projeto DNPM/CPRM (1992-1996).

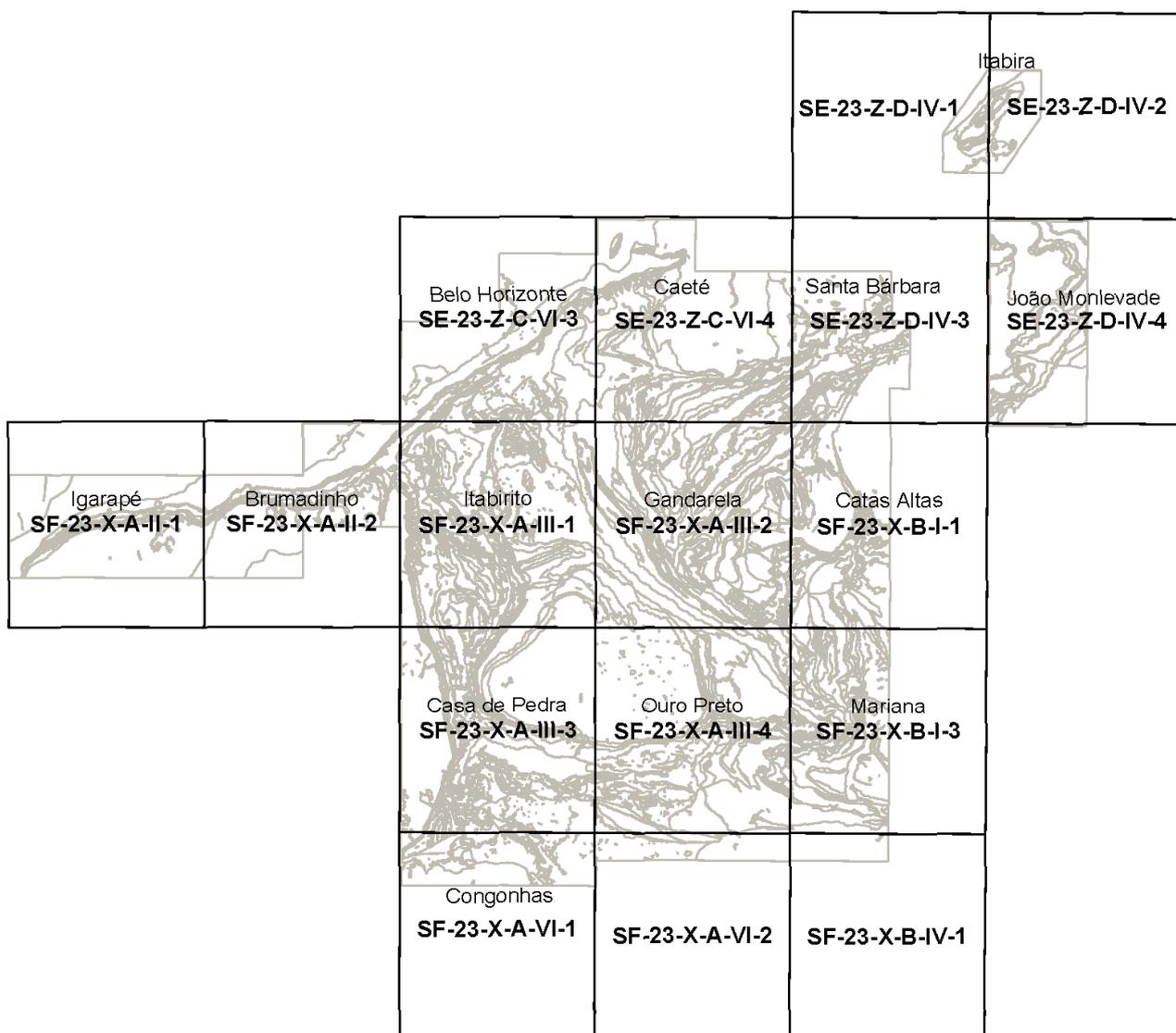


Figura 3: Articulação dos mapas gerados em Adobe® pdf pelo presente projeto.

A conclusão foi que a melhor alternativa para uso destes mapas seria a reprodução completa de toda a série em *scanner*, seguido de georreferenciamento, com pelo menos 20 pontos de controle para cada folha, e posterior reconstrução dos mapas com vetorização *heads-up* ou semi-automática. Além disso, seriam necessários trabalhos de campo para integração geológica e verificação de pontos de controle do georreferenciamento.

Em meados de 2002, a equipe do projeto *METALOGENIA QUANTITATIVA APLICADA A GIS: OURO E VMS* liderou um levantamento acerca das folhas 1:25.000 da região do QF, com objetivo de reunir recursos e esforços para a correção cartográfica das mesmas. Diversos setores foram contatados, inclusive empresas que atuam na área e a CPRM-BH.

Surge o Projeto GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO - INTEGRAÇÃO E CORREÇÃO CARTOGRÁFICA EM SIG, iniciado em janeiro de 2004. Além do financiamento direto das

diversas etapas do trabalho, as empresas financiadoras disponibilizaram seus arquivos digitais de mapas geológicos na escala 1:25.000, das unidades litoestruturais dos supergrupos Minas e Rio das Velhas, executados pelos convênios DNPM/USGS (1952-1969) e DNPM/CPRM (1992-1996), além de apoio logístico para os trabalhos de campo.

3 – ETAPAS DO TRABALHO

Para a realização desse trabalho, foram necessárias as seguintes etapas:

- 1 – Quantificação dos erros de locação, existentes nas bases (mapas) cartográficas e geológicas disponíveis para a região, visando a implementação de procedimentos para a correção cartográfica;
- 2 – Levantamento do acervo digital de mapas geológicos na escala 1:25.000, disponíveis nas empresas, dos convênios DNPM/USGS (1952-1969) e DNPM/CPRM (1992-1996);
- 3 – Correção geométrica;
- 4 – Integração da geologia;
- 5 – Limpeza topológica das cartas geológicas;
- 6 – Criação de um Sistema de Informações Geográficas – SIG.

4 – DETALHAMENTO DAS ETAPAS

1 – Erros de Locação das Bases

A avaliação cartográfica encontra-se no Anexo I.

2 – Bases Cartográficas

As bases cartográficas utilizadas nesse trabalho foram cedidas pelas empresas participantes do projeto, conforme indicado abaixo. Além disso, foi necessária a digitalização de 6 cartas do projeto USGS/DNPM.

- Bases USGS/DNPM - Autocad - CVRD (Ferrosos);
- Imagens Landsat 7 - CVRD (Ferrosos);
- Bases Rio das Velhas - Mapinfo - AngloGold Ashanti;

- Bases Rio das Velhas - Autocad - São Bento;
- Mapeamento do Sinclinal Moeda com homoclinal da serra do Curral - Autocad - MBR;
- Projeto APA-Sul RMBH - Arcview® - CPRM.

3 – Correção Geométrica

O detalhamento da correção geométrica encontra-se no Anexo II. Abaixo, segue resumo das etapas de trabalho para esta correção.

- Georreferenciamento das cartas topográficas do IBGE e PLAMBEL;
- Correção de cada carta a partir de cartas topográficas do IBGE (1:50.000) e PLAMBEL (1:25.000), utilizando o *software* Microstation Reprographics®, visando determinar o comportamento individual (vetor de erro) de cada mapa, e sua relação com os demais;
- Verificação dos padrões de deslocamento encontrados, por carta USGS - média de 35 pontos por carta;
- Geração de mosaico, com as cartas originais, e levantamento de pontos de controle em campo, para correção cartográfica;
- Verificação do erro médio encontrado para o mosaico;
- Processamento do conjunto gerado em função de polinômio de 1ª ordem;
- Geração dos arquivos de erros (.rgr) do processo para cada carta e para o mosaico final;
- Georreferenciamento e integração da cartografia geológica do QF com base em Dorr II (1969, DNPM/USGS) e Baltazar & Silva (1996, Projeto Rio das Velhas DNPM/CPRM) com pontos de controle em carta;
- Criação e implementação de *warp* (distorção geométrica) e correção das cartas a partir de polinômio de 1ª ordem. Controle de engenharia cartográfica para erro médio de 30 m;
- Levantamento de 38 pontos de controle em campo, utilizados para auxiliar no georreferenciamento.

As bases cartográficas do projeto Rio das Velhas não apresentam erros cartográficos sistemáticos similares aos do projeto USGS. Desse modo, o trabalho de georreferenciamento consistiu na correção das cartas a partir de interpretação de imagem de satélite Landsat 7 e checagem em campo.

4 – Integração da Geologia

A integração da geologia foi realizada a partir de trabalhos de campo, através de perfis transversais à feição geológica/estrutural de interesse. O mesmo é detalhado no Anexo III e, pode ser assim resumido:

- Foram realizados 26 dias de campo, com obtenção de pontos de controle para auxiliar o georreferenciamento: 50 afloramentos de contatos, entre os supergrupos Minas e Rio das Velhas, e 64 afloramentos em unidades geológicas. Os pontos encontram-se descritos no SIG;
- Determinação do posicionamento geográfico e a natureza dos contatos geológicos entre os supergrupos Minas e Rio das Velhas;
- Revisão estratigráfica dos supergrupos Minas e Rio das Velhas;
- Revisão estrutural em áreas específicas como as regiões ao norte de Itabirito; a sul/sudeste de Nova Lima; entre Caeté e Sabará;
- Integração geológica dos projetos DNPM/USGS e Rio das Velhas DNPM/CPRM, na escala 1:25.000, em Arcview[®] 8.3;
- Auxílio de interpretação de imagem Landsat 7 (2002) para integração geológica.

5 – Limpeza Topológica

A limpeza topológica envolveu as seguintes etapas:

- Criação de um mosaico de toda a base, em ArcView[®] 8.3, para visualização das inconsistências existentes entre elas, tais como falta de continuidade das feições, deslocamento de contatos e falhas, entre outros;
- Verificação de inconsistências internas aos arquivos e de suas correções;
- Correções necessárias visando a compatibilização entre as cartas;
- Transformação das atitudes geológicas digitalizadas (linhas) em pontos, com suas respectivas medidas inseridas em tabelas.

6 – Criação do SIG

O SIG foi elaborado nos *softwares* ArcView[®]/ArcInfo[®] 8.3 e subdividido nos temas:

- **Entidades – Polígonos:** Base geológica corrigida cartograficamente, com temas de unidades litoestratigráficas e contatos geológicos a partir dos mapas 1:25.000 dos

projetos USGS/DNPM e CPRM/DNPM, integrando inconsistências no encontro de folhas e, segundo levantamento geológico de campo, ao longo dos contatos entre os conjuntos estratigráficos arqueano e paleoproterozóico (supergrupos Minas e Rio das Velhas). A partir de processos de correção cartográfica, os erros observados em campo foram de no máximo 30 metros, com equipamento *GPS* manual;

- **Entidades – Linhas:** Contatos geológicos tectônicos ou não, individualizados por polígonos de tipos litológicos distintos;
- **Entidades – Linhas:** Estruturas geológicas não relacionadas com contatos litológicos, individualizadas por polígonos distintos;
- **Entidades – Pontos:** Elementos estruturais pontuais, planares e lineares (acamamento, foliação, lineação), obtidos dos mapas-fonte;
- **Entidades – Pontos:** Pontos de controle em campo;
- Mapa topográfico em formato *raster*, constando de *pixels* de 90 m cada, representando a média altimétrica da área, conforme levantamento do satélite-radar SRTM da NASA e disponibilizado pela *internet* (NASA 2002) em formato degradado a partir de uma resolução de 30 m. Trata-se de um modelo digital do terreno calibrado em 5 pontos altimétricos extremos na área do mapa integrado.

PROJETO GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

INTEGRAÇÃO E CORREÇÃO CARTOGRÁFICA EM SIG

ANEXO I

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE MAPAS GEOLÓGICOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

ENG.º CARTÓGRAFO, PROF. MARCOS A. TIMBÓ

1 □ Material Utilizado

- Mapa geológico da quadrícula Conceição do Rio Acima, escala 1:25.000, correspondente à folha SF23-X-A-III-2-NE do Mapeamento Sistemático Nacional, limitada pelos paralelos 20°00′S e 20°07′30″S e pelos meridianos 43°30′W e 43°37′30″W, sem dados de projeção e datum geodésico;
- Mapa geológico da quadrícula Capanema, escala 1:25.000, correspondente à folha SF23-X-A-III-2-SE do Mapeamento Sistemático Nacional, limitada pelos paralelos 20°07′30″S e 20°15′S e pelos meridianos 43°30′W e 43°37′30″W, sem dados de projeção e datum geodésico;
- Mapa geológico da quadrícula Rio das Pedras, escala 1:25.000, correspondente à folha SF23-X-A-III-2-SO do Mapeamento Sistemático Nacional, limitada pelos paralelos 20°07′30″S e 20°15′S e pelos meridianos 43°37′30″W e 43°45′W, sem dados de projeção e datum geodésico;
- Carta geológica folha Conceição do Rio Acima, escala 1:25.000, correspondente à folha SF23-X-A-III-2-NE do Mapeamento Sistemático Nacional, limitada pelos paralelos

20°00´S e 20°07´30”S e pelos meridianos 43°30´W e 43°37´30”W, projeção UTM, Córrego Alegre;

- Carta geológica folha Capanema, escala 1:25.000, correspondente à folha SF23-X-A-III-2-SE do Mapeamento Sistemático Nacional, limitada pelos paralelos 20°07´30”S e 20°15´S e pelos meridianos 43°30´W e 43°37´30”W, projeção UTM, Sad-69;
- Carta geológica folha Rio das Pedras, escala 1:25.000, correspondente à folha SF23-X-A-III-2-SO do Mapeamento Sistemático Nacional, limitada pelos paralelos 20°07´30”S e 20°15´S e pelos meridianos 43°37´30”W e 43°45´W, projeção UTM, Córrego Alegre;
- Mapeamento geológico da região metropolitana de Belo Horizonte, escala 1:50.000, limitada pelos paralelos 20°00´S e 20°15´S e pelos meridianos 43°30´W e 43°45´W, cuja base cartográfica foi extraída da folha do Mapeamento Sistemático Nacional SF23-X-A-III-2 – Acuruí, na projeção UTM, Córrego Alegre;
- Folha Rio das Pedras, SF23-X-A-III-2-SO, escala 1:25.000 do Mapeamento PAMBEL, limitada pelos paralelos 20°07´30”S e 20°15´S e pelos meridianos 43°37´30”W e 43°45´W, projeção UTM, Córrego Alegre;
- Todos estes mapas foram escaneizados em resolução baixa com objetivo de acelerar o desempenho do *software*. Apesar de baixa, a resolução é compatível com os testes a serem realizados 200 dpi (pixel de 3,175 m) para os arquivos monocromáticos e 150 dpi (pixel de 4,233 m) para os arquivos coloridos. Portanto, o tamanho do pixel permanece abaixo do Erro Gráfico e do PEC, mostrados na tabela a seguir:

Escala	Erro gráfico (0,2 mm)	PEC (0,5 mm)
1:25000	5 m	12,5 m
1:50000	10 m	25 m

Os mapas foram escolhidos de forma a permitir sobreposição de, pelo menos, três folhas diferentes.

2 □ Registro/Georeferenciamento

Foi gerada uma grade de coordenadas geográficas, utilizando algoritmos exatos implementados em programas de CAD/SIG de reconhecida confiança. A grade exata foi criada no sistema geodésico (datum) Córrego Alegre devido ao fato de ser o sistema de referência utilizado na maior parte dos mapas a serem testados.

Todos os mapas foram transformados para o sistema Córrego Alegre usado na grade exata, utilizando algoritmos de processamento de imagens de reconhecida confiança.

Observando os mapas originais em papel, verificou-se variação de escala de até um valor máximo em torno de 1,5%, ou seja, alguns mapas de escala nominal 1:25.000 apresentaram escalas entre 1:25.400 e 1:24.600. Estas variações mostraram-se ligeiramente diferentes para cada eixo de coordenadas. As maiores variações de escalas ocorreram nas folhas em papel vegetal (cartas geológicas, principalmente Rio Acima), enquanto que as menores ocorreram nas folhas de base *polyester* (PLAMBEL). Estas variações foram comprovadas no computador através do uso de algoritmos com poucos graus de liberdade para transformação. O uso de algoritmos com maior liberdade corrige translações, rotações e diferentes escalas em ambos eixos, por isso as grades de coordenadas dos mapas escanizados coincidiram com a grade exata gerada no *software* e utilizada para teste.

3 □ Teste dos Mapas Escanizados

A grade exata em Córrego Alegre e as oito imagens transformadas foram sobrepostas para fins de comparação. Para as imagens sobrepostas foi aplicada uma transparência variando de 25 a 75% para permitir a visualização e comparação das feições em ambas imagens. Para melhor entendimento, são separados os seguintes tópicos:

1 - Utilizando algoritmos de alto grau de liberdade

Na comparação de mapas originalmente no sistema Córrego Alegre

As feições topográficas sobrepostas, quando analisadas em diferentes níveis de *zoom*, apresentaram coincidência visual e métrica compatível com o processo de transformação e de elaboração dos mapas, ou seja, diferenças médias de 30 metros. As feições geológicas sobrepostas apresentaram no geral boa coincidência, com pequenas discrepâncias consideradas aceitáveis e atribuídas, provavelmente, a interpretações pessoais do técnico que elaborou os mapas.

Na comparação de mapas originalmente em Córrego Alegre com SAD-69

Verificou-se através de programas exatos que as coordenadas SAD-69 e Córrego Alegre diferem, nesta região, de apenas 20 metros no eixo E=X e de 34 metros no eixo N=Y, menos

de 2 mm na escala 1:25.000. Por isso, as feições topográficas sobrepostas, quando analisadas em diferentes níveis de *zoom*, também apresentaram coincidência visual e métrica compatível com o processo de transformação e de elaboração dos mapas, ou seja, diferenças médias de 30 a 40 metros. As feições geológicas sobrepostas apresentaram no geral boa coincidência, com pequenas discrepâncias consideradas aceitáveis e atribuídas, provavelmente, a interpretações pessoais do técnico que elaborou os mapas.

Na comparação de mapas Córrego Alegre/SAD-69 com mapas USGS/DNPM de Sistema desconhecido

Verificou-se que as feições topográficas sobrepostas, analisadas em diferentes níveis de *zoom*, não apresentaram coincidência visual e métrica compatível com o processo de transformação e de elaboração dos mapas. As diferenças ficaram em média de 350 metros (300 m em X e 120 m em Y). As feições geológicas sobrepostas apresentaram no geral as mesmas diferenças acrescidas de outras discrepâncias, consideradas aceitáveis e atribuídas, provavelmente, a interpretações pessoais do técnico que elaborou os mapas.

2 - Utilizando algoritmos de baixo grau de liberdade

Foram verificadas variações de escalas em ambos os eixos e resíduos acima do PEC de 0,5 mm na escala do mapa.

Conclusões

Da análise dos resultados dos testes realizados pode-se inferir as seguintes conclusões:

- As folhas USGS apresentaram deslocamentos significativamente grandes na grade de coordenadas, resultantes da utilização de um sistema geodésico (datum) muito diferente do sistema Córrego Alegre ou SAD-69;
- As folhas USGS são muito antigas e provavelmente foram amarradas a um sistema de coordenadas preliminar, determinado por astronomia expedita e, conseqüentemente, deslocado de algumas centenas de metros do Sistema Geodésico Nacional. Embora possam ser usados isoladamente para vários propósitos, sem prejuízos, é altamente recomendável que todo mapa esteja geodesicamente posicionado de forma correta por diversas razões, a saber: **i)** crescente globalização do conhecimento, que demanda intercâmbio de informações e transdisciplinaridade de estudos; **ii)** a montagem de SIG's exige dados corretamente georeferenciados; **iii)** manutenção de dados preparados para integração com futuras tecnologias de geoinformação; etc;

- Já a série de mapas do PLAMBEL, que serviu de base para elaboração dos mapas geológicos no sistema Córrego Alegre, foi amarrada à Rede Geodésica Nacional. O consórcio que elaborou a série de mapeamento para o PLAMBEL é considerado confiável, no meio cartográfico, havendo grande probabilidade de ter produzido mapas de boa qualidade cartográfica;
- Para reforço das conclusões anteriores, foram testados alguns pontos de campo medidos com *GPS* de navegação correspondentes a feições bem definidas na Folha Venda Nova - SF23-Z-C-VI-3-NO, que faz parte da série de mapeamento do PLAMBEL e que pertence ao mesmo grupo de folhas testadas. Os pontos *GPS* apresentaram uma diferença média de 25 m, o que é compatível com a incerteza do posicionamento *GPS* isolado com uso de código, comprovando a qualidade cartográfica da folha do PLAMBEL;
- Para maior reforço dessas conclusões, é recomendável testar pontos em outras folhas da série PLAMBEL, dentro do QF;
- Os mapas em papel vegetal são cópias que apresentam variação de escala (diferente da escala nominal). Constituem um problema que deve ser considerado ao retirar informações quantitativas, ou seja, deve ser calculada a escala verdadeira para medidas de comprimentos, áreas, etc. A escala verdadeira pode ser determinada utilizando medidas da grade de coordenadas planas. Cabe destacar que a variação de escala é independente para cada folha, não podendo ser extrapolada para as demais;
- Os mapas escaneizados devem ter as variações de escalas corrigidas por algoritmos de registro/georreferenciamento de segundo ou terceiro grau, com pelo menos 20 pontos de controle, antes de serem utilizados para qualquer propósito, pois estes algoritmos eliminam ou minimizam o problema de escala existente no papel.

A utilização de imagens de satélites de sensoriamento remoto SPOT ou LANDSAT, como pano de fundo para os mapas geológicos, poderia enriquecer mais o estudo em pauta, bem como ser útil para futuros trabalhos. A região em estudo é coberta pela imagem LANDSAT WRS 218/74.

4 – Métodos de Avaliação e Correção dos Deslocamentos dos Mapas USGS/DNPM

Os mapas USGS não trazem nenhuma informação sobre datum de referência nem sobre o sistema de projeção cartográfica, sendo, portanto, estes elementos considerados desconhecidos. Assim, é também objetivo do presente estudo estabelecer um método para extrair informações destes mapas convertendo-os para o sistema Córrego Alegre. Cabe ressaltar que a única forma 100% confiável para determinar qualidade de mapas de origem desconhecida, ou sem controle de qualidade comprovado na sua fase de elaboração, consiste em fazer testes folha por folha de mapa. Porém, como se tratam de mapas componentes de uma série cartográfica, que possivelmente obedeceram a princípios comuns de elaboração, se forem feitas amostragens em folhas situadas em diferentes regiões geográficas é possível apontar resultados de boa aproximação que podem ser extrapolados para as demais folhas da série. Os testes terão que ser feitos sobre feições topográficas bem identificáveis em todos os mapas considerados.

Não poderão ser utilizadas as grades geográficas, tendo em vista a comprovação anterior de que foram deslocadas por conta da projeção e do sistema geodésico desconhecidos.

A Tabela 3, abaixo, resume os resultados da avaliação, em metros, confrontando os mapas com as cartas geológicas correspondentes, considerando os cantos direito e esquerdo das folhas.

Canto da Folha de Carta	Capanema		Rio de Pedras		Conceição do Rio Acima	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
Canto sup dir	127	300	100	317	180	322
Canto inf dir	143	302	125	317	155	322
Canto sup esq	128	288	100	292	181	345
Canto inf esq	144	287	125	292	154	346
Média	135.5	294.25	112.5	304.5	167.5	333.75
Erro máximo	22	26	20	16	42	26
Desvio padrão	5	8	6	5	11	6
Desvio total	7		6		10	

Tabela 3: Resultados da avaliação cartográfica de mapas geológicos.

O resumo dos resultados da avaliação, em metros, acha-se na Tabela 4, confrontando-os com o mapa geológico da região metropolitana de Belo Horizonte, considerando os cantos direito e esquerdo das folhas.

Canto da Folha de Carta	Capanema		Rio de Pedras		Conc. do Rio Acima	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
Canto Sup Dir	173	325	155	350	178	347
Canto Inf Dir	193	333	174	349	168	356
Canto Sup Esq	176	327	168	365	193	339
Canto Inf Esq	178	330	187	375	170	340
Média	180	329	171	359	177	345
Erro Máximo	-22	25	27	-25	-32	33
Desvio padrão	8	7	9	8	6	10
Desvio total (m)	8		8		10	

Tabela 4: Avaliação cartográfica de mapas geológicos da região metropolitana de Belo Horizonte.

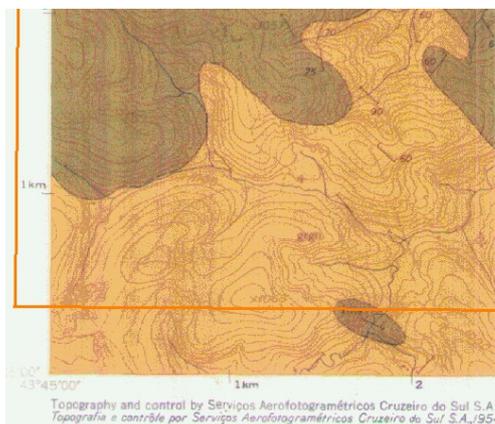
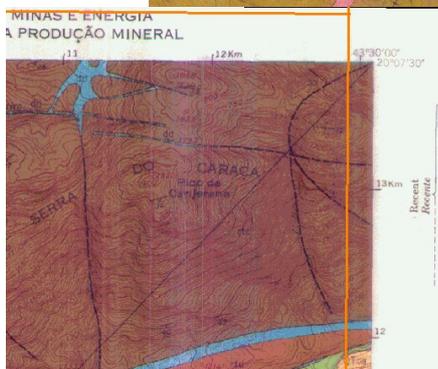
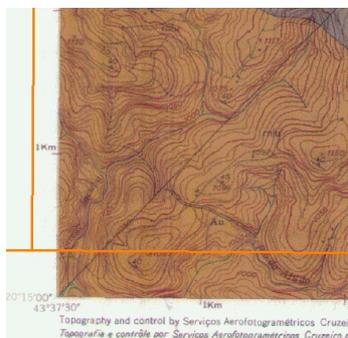
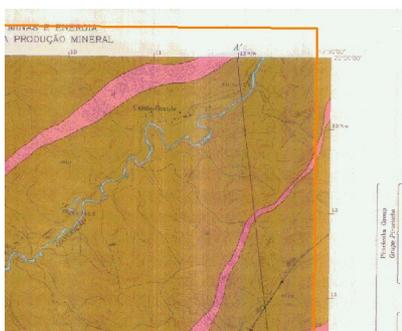
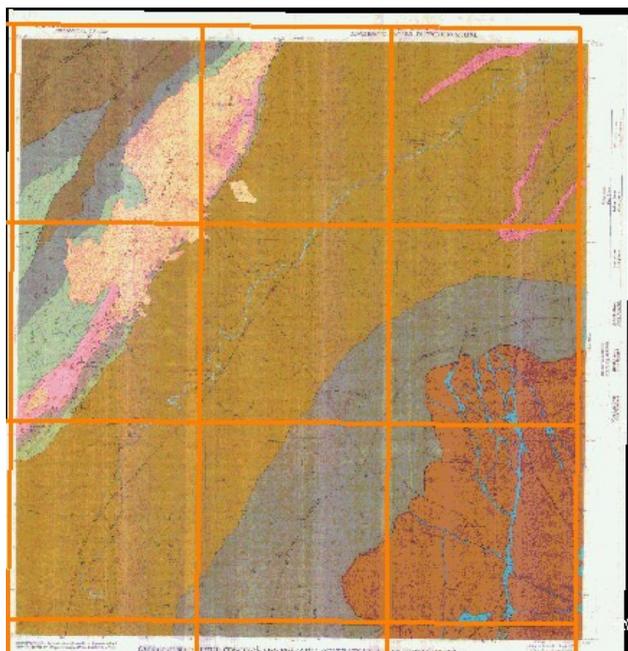
5 □ Conclusões

- Durante a avaliação, as feições topográficas apresentaram-se ligeiramente diferentes nos mapas USGS e nas folhas e cartas geológicas utilizadas como padrão de comparação (consideradas corretas), dificultando a obtenção de um bom resultado. Neste caso, foram selecionadas como pontos de controle as feições que apresentaram maior semelhança;
- Foi utilizado um algoritmo de baixo grau de liberdade que permite apenas uma rotação e duas translações em X e Y. Os resultados apresentaram deslocamento nas grades dos mapas USGS para sul e para leste, além de pequenas rotações;
- Os resultados não convergiram para um valor comum a todos os mapas testados, o que torna difícil estabelecer uma regra de correção simplificada. Os melhores resultados são os da Tabela 2, comparados com o mapa geológico da RMBH;
- Para obter medidas de coordenadas aproximadamente corretas deve ser traçada uma nova grade sobre cada folha USGS, em papel, corrigindo os erros apresentados nas tabelas acima para norte e para oeste. Neste caso a Tabela 2 parece mais consistente;
- O processo de correção sugerido incorpora uma incerteza aproximada de 50 m devido a diversos fatores tais como: dificuldade de obtenção de bons pontos de controle em

ambas as cartas; erros inerentes ao processo de elaboração das cartas originais; deformação do papel de impressão; resíduos resultantes da transformação; e outros;

- Se forem usadas as médias como correção única, a incerteza acima poderá aumentar;
- A melhor alternativa para uso dos mapas será a escanização completa de toda a série, georreferenciá-los utilizando polinômios do 2º ou 3º grau, com pelo menos 20 pontos de controle para cada folha, e reconstruí-los com vetorização *heads-up* ou semi-automática.

A Figura 4, abaixo, ilustra alguns dos deslocamentos cartográficos, Δx e Δy encontrados nas grades mapas antes do georreferenciamento.



PROJETO GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

INTEGRAÇÃO E CORREÇÃO CARTOGRÁFICA EM SIG

ANEXO II

CORREÇÃO GEOMÉTRICA DAS CARTAS GEOLÓGICAS DO PROJETO USGS/DNPM

GEÓLOGO M.Sc. LEANDRO BARROS REIS

A execução da correção cartográfica dos mapas referentes ao projeto USGS/DNPM (Dorr II 1969) iniciou-se com o georreferenciamento das folhas (i) do projeto de mapeamento topográfico na escala 1:25.000, referente ao convênio PLAMBEL - SECT - COPASA - CETEC - CEMIG (1977); (ii) topográficas do projeto de mapeamento do Governo do Estado de Minas Gerais/IGA (1979 – 1982); (iii) topográficas do IBGE, na escala 1:50.000, pertencentes à área do projeto. Todas as folhas foram georreferenciadas considerando-se erros geométricos aceitáveis para a escala de trabalho, conforme padrões cartográficos vigentes.

A Figura 5 apresenta a articulação das folhas referentes ao projeto USGS/DNPM, classificadas de acordo com a base utilizada para a correção cartográfica.

Após o registro das coordenadas, efetuado nas cartas topográficas, foi realizado o georreferenciamento individual das folhas pertencentes ao projeto USGS/DNPM, para verificação do padrão de erro encontrado em cada uma delas. Nesta fase, foram utilizados pontos notáveis existentes (Figura 6) nas folhas analisadas, como confluências de rios, confluências de estradas, pontes, dentre outros. Para esta atividade definiu-se como ferramenta de trabalho o *software* Microstation Reprographics®.

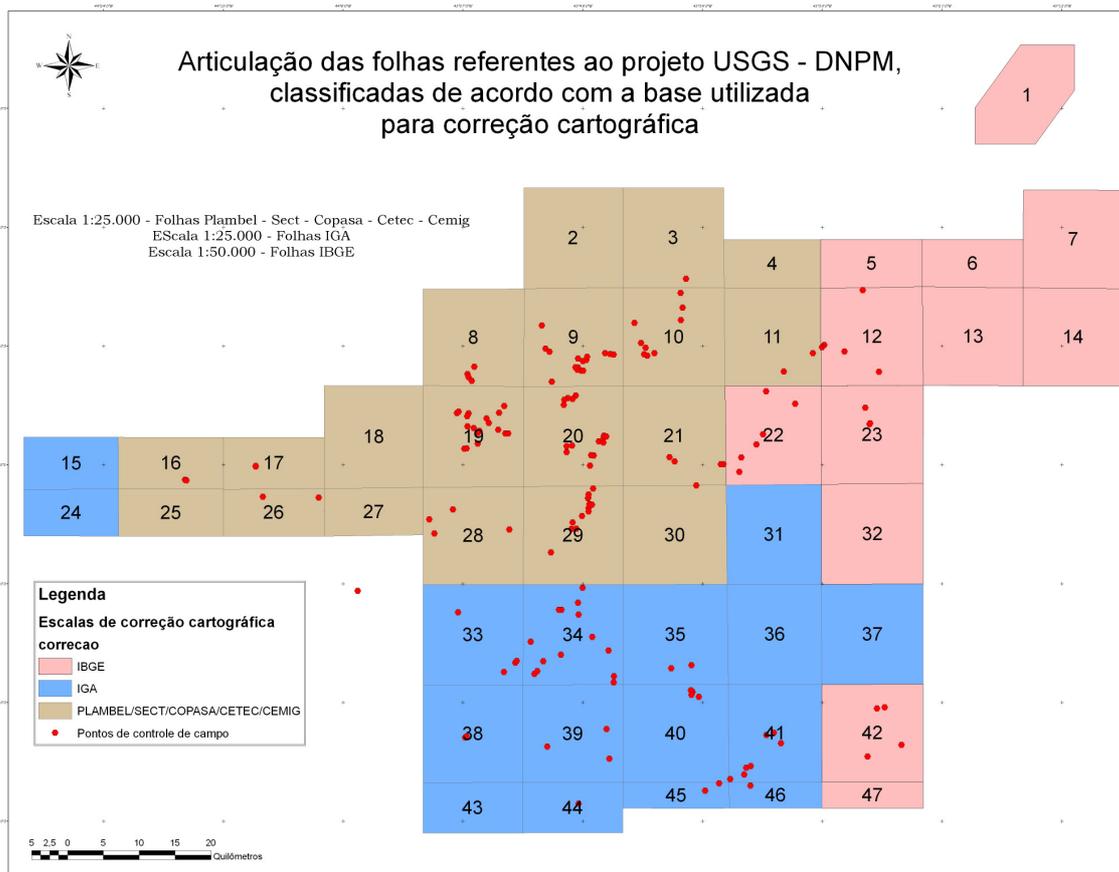


Figura 5: Projetos utilizados para a correção da base geológica.

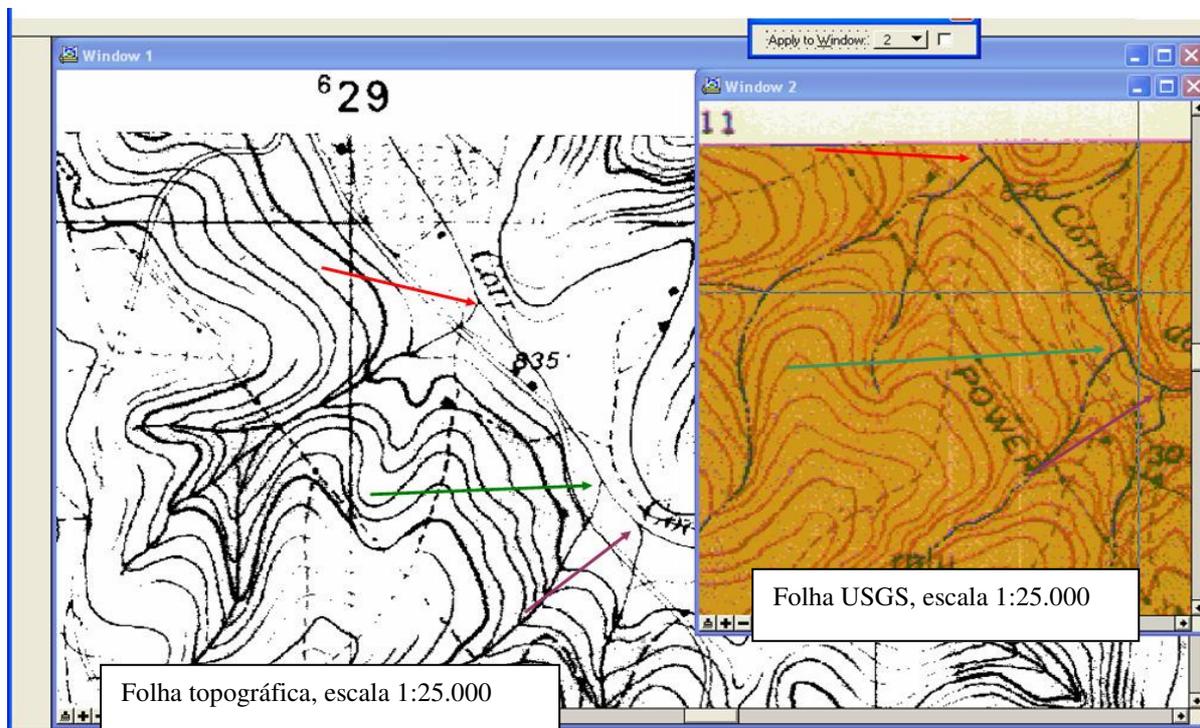


Figura 6: Exemplo de georreferenciamento a partir de pontos notáveis.

Desta forma, constatou-se a existência de erros sistemáticos em todas as cartas, cujo vetor apresentava sentido SE/NW, com módulo médio de 340 m.

Foi então efetuado o mosaico de todas as folhas a serem corrigidas, para georreferenciamento de todo o conjunto utilizando-se as folhas descritas acima e os pontos de controle coletados em campo. Nesta etapa, os *softwares* utilizados foram Microstation Reprographics® e Erdas Imagine®.

O georreferenciamento do mosaico completo resultou em um arquivo de erros, no qual foram utilizados 310 pontos de controle, distribuídos em todo o mosaico (Figura 7).

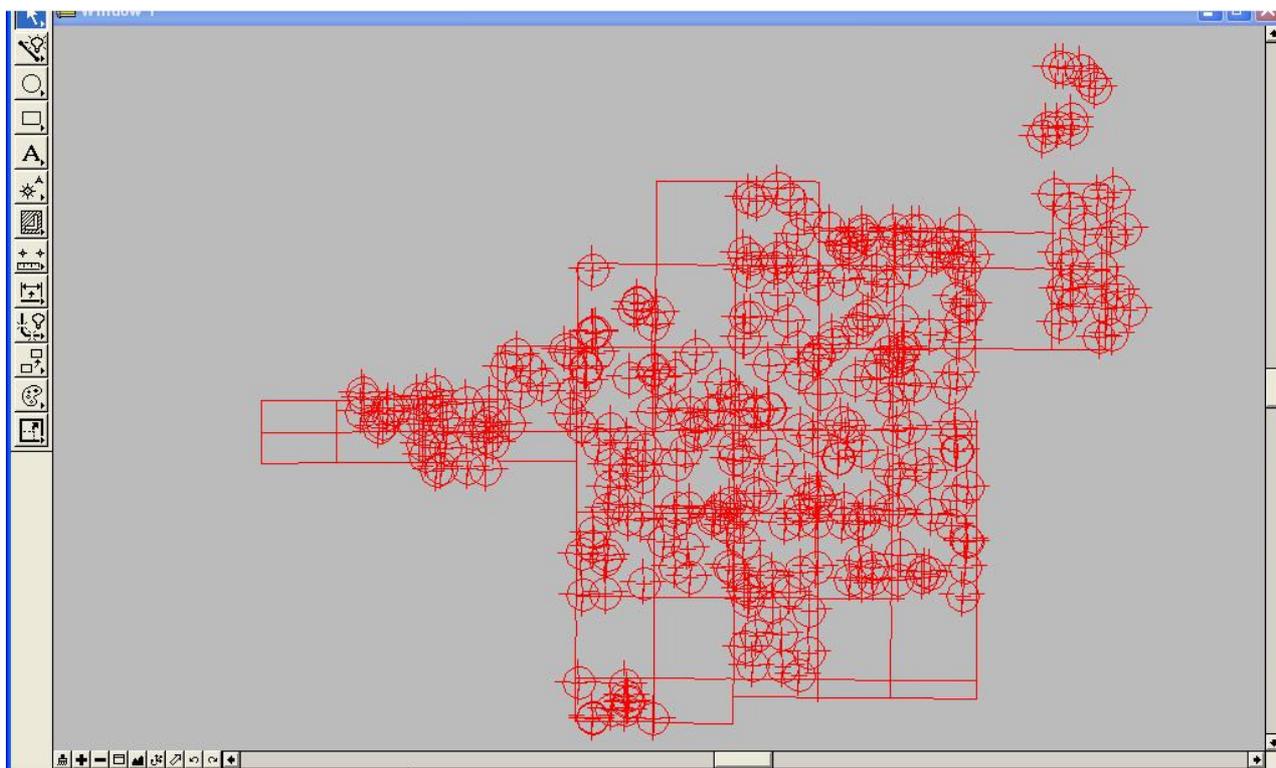


Figura 7: Mapas de distribuição de pontos de controle para o georreferenciamento.

Após a definição de pontos, foi processado o algoritmo de correção (*warp*), considerando-se um polinômio de 1ª ordem, a fim de não gerar deformações nos polígonos pré-existentes. Desta forma, ocorreu o transporte de coordenadas da base geológica, sem haver alteração nas correlações topológicas existentes entre as unidades do mapa, falhas, pontos de medidas estruturais, etc. Relações de vizinhança, pertinência, tangência, entre outras, não foram modificadas.

Embora os mapas originalmente trabalhados estivessem em datum e sistemas de coordenadas diferentes, todo o conjunto foi convertido, após sua correção, à projeção UTM SAD-69 zona 23 sul, e também para coordenadas geodéticas, SAD 69, em Sistema de

Informações Geográficas-SIG. O exemplo das Figuras 8 e 9 demonstra o deslocamento introduzido na base geológica, considerando-se uma imagem Landsat em pano de fundo.

A correção das cartas topográficas foi efetuado considerando-se a utilização de processos de engenharia cartográfica, visando a manutenção de erros médios de 30 m. Para verificação de erros existentes foram coletados 38 pontos de campo, que não só foram utilizados para a correção cartográfica, como também para verificação do resultado final.

Embora tenham sido utilizados sistemas manuais de *GPS* convencional, com precisão incompatível com a precisão exigida em sistemas de verificação cartográfica, os resultados observados foram satisfatórios dentro da proposta original do projeto. Observaram-se erros dentro do intervalo de 5 a 56 m, com erros médios em torno de 25 m.

As bases cartográficas do projeto Rio das Velhas (DNPM/CPRM 1996) não apresentaram erros cartográficos sistemáticos similares aos do projeto USGS. Desse modo, o trabalho de georreferenciamento consistiu na correção das cartas a partir de interpretação de imagem de satélite Landsat 7 e checagem em campo.

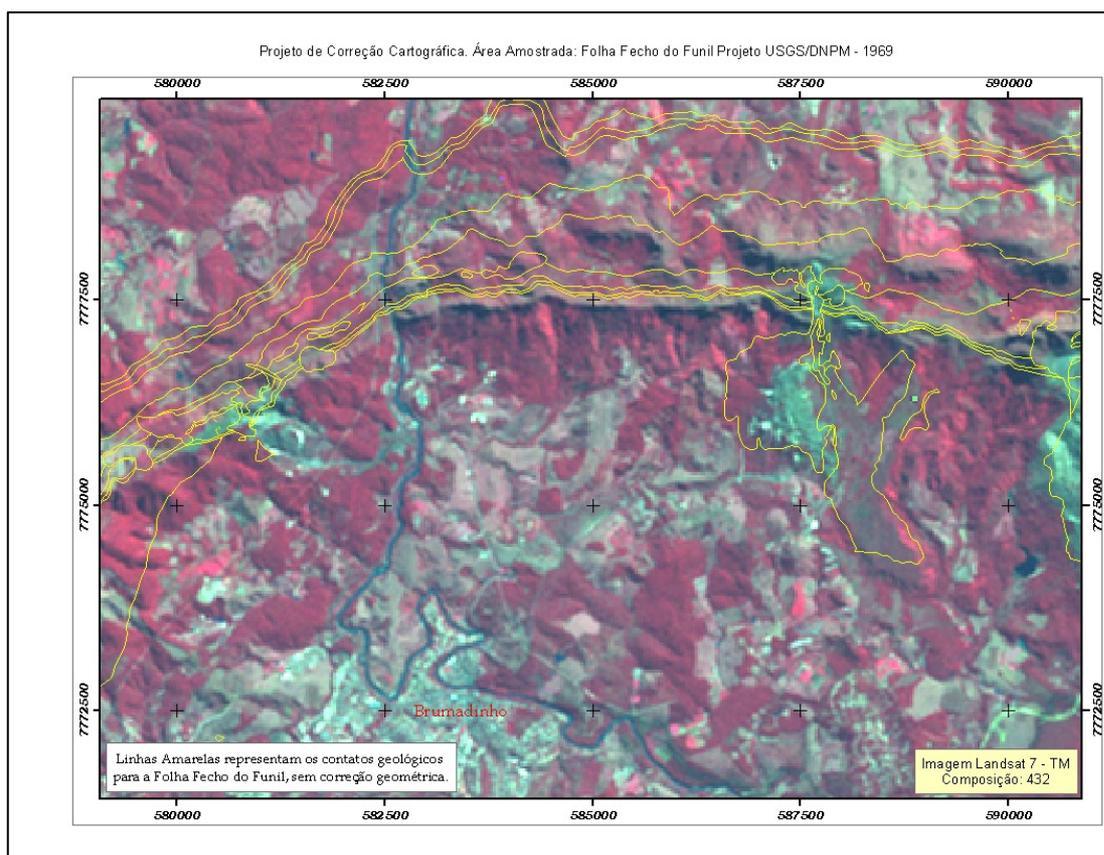


Figura 8: Folha Fêcho do Funil (USGS/DNPM 1969) sem correção geométrica.

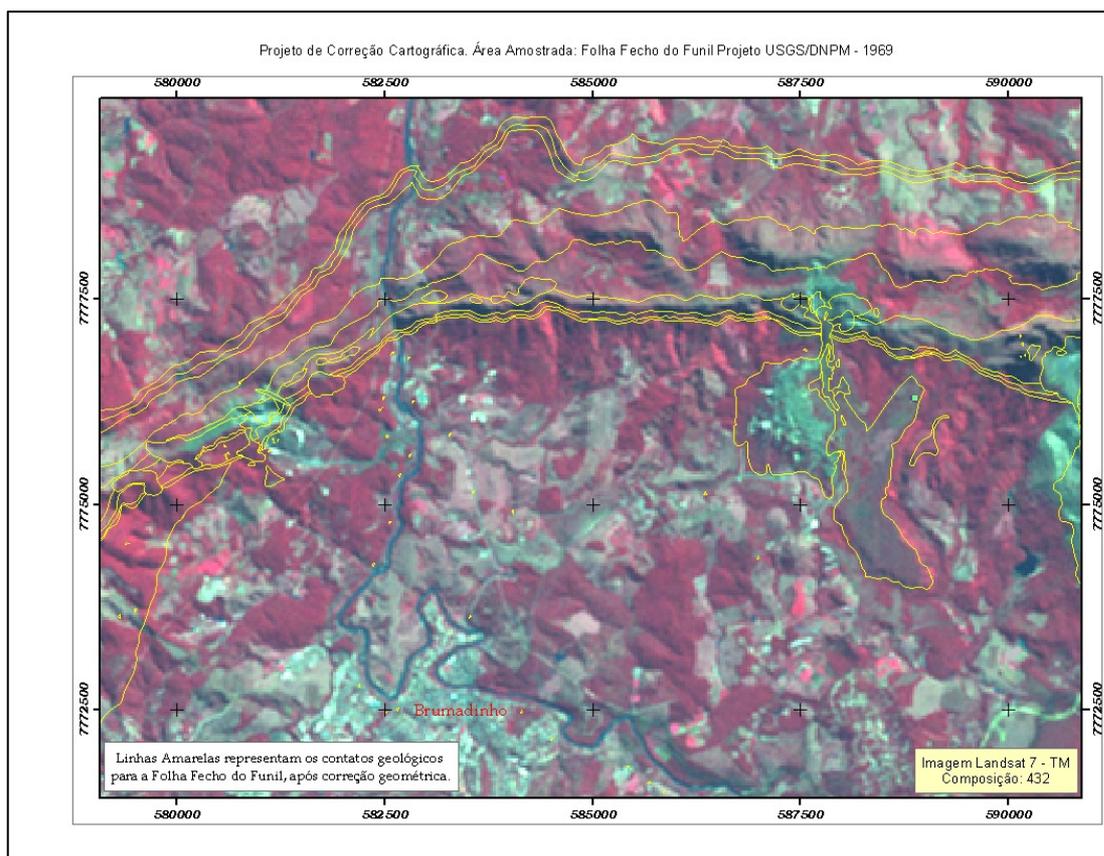


Figura 9: Folha Fêcho do Funil (USGS/DNPM 1969) com correção geométrica.

Os pontos e processos utilizados no processo de criação do algoritmo de correção cartográfica são detalhados abaixo:

[ID]

File=TransformationModel

Version=1.0

[TransformationModel]

ModelCoordinateSystem=

ControlPoints=

(Active,XBase,YBase,ZBase,XUnc,YUnc,ZUnc),

1,648252.2800000003,7805247.5899999999,0,648157.88,7805569.9400000004,0,
 1,649711.07999999996,7805384.46,0,649598.97999999998,7805745.5300000003,0,
 1,649579.66000000003,7803818.1299999999,0,649461.64000000001,7804141.5199999996,0,
 1,649586.29000000004,7804692.2800000003,0,649496.64000000001,7805042.0999999996,0,
 1,651679.04000000004,7806931.5899999999,0,651592.71999999997,7807243.1299999999,0,
 1,651762.90000000002,7807445.8799999999,0,651666.70999999996,7807769.79,0,
 1,657084.38,7805720.29,0,657090.72999999998,7806049.4000000004,0,
 1,646291.19999999995,7807794.7000000002,0,646220.44999999995,7808109.2999999998,0,
 1,652555.67000000004,7806020.0099999998,0,652473.81999999995,7806359.9199999999,0,
 1,656946.60999999999,7807752.9900000002,0,656809.77000000002,7808050.9699999997,0,
 1,668337.15000000002,7746475.7199999997,0,668203.12,7746810.4100000001,0,
 1,668739.91000000003,7751222.9400000004,0,668616.22999999998,7751554.1100000003,0,
 1,661584.12,7749479.71,0,661443.73999999999,7749793.1100000003,0,
 1,669140.02000000002,7755482.1200000001,0,669014.64000000001,7755801.6600000001,0,
 1,668971.13,7755772.3200000003,0,668842.75,7756103.8700000001,0,
 1,657625.18999999994,7749049.1900000004,0,657488.58999999997,7749349.4299999997,0,

1,666443.52000000002,7758266.4199999999,0,666324.53000000003,7758562.9400000004,0,
 1,661954.45999999996,7750556.7400000002,0,661828.62,7750868.7000000002,0,
 1,658091.34999999998,7753263.54,0,657969.03000000003,7753548.9699999997,0,
 1,662997.19999999995,7750211.6299999999,0,662856.81000000006,7750531.9699999997,0,
 1,618976.80000000005,7755560.5499999998,0,618742.30000000005,7755906.5099999998,0,
 1,629597.55000000005,7751405.0999999996,0,629433.76000000001,7751853.8700000001,0,
 1,620817.07999999996,7759073.5499999998,0,620573.34999999998,7759439.9199999999,0,
 1,629483.91000000003,7757900.3899999997,0,629285.66000000003,7758369.8600000003,0,
 1,627038.91000000003,7759272.4900000002,0,626805.73999999999,7759710.8899999997,0,
 1,623193.48999999999,7749615.9900000002,0,623014.90000000002,7749994.6399999997,0,
 1,630384.05000000005,7750806.6100000003,0,630237.67000000004,7751263.0999999996,0,
 1,622754.87,7754238.5800000001,0,622533.77000000002,7754615.4299999997,0,
 1,620687.47999999998,7751176.8499999996,0,620498.41000000003,7751526.1100000003,0,
 1,627442.87,7759698.75,0,627199.32999999996,7760153.3600000003,0,
 1,616974.83999999997,7791642.9699999997,0,616843.85999999999,7791953.96,0,
 1,617844.97999999998,7793765.46,0,617712.75,7794072.5099999998,0,
 1,613988.64000000001,7794133.1500000004,0,613890.07999999996,7794433.0300000003,0,
 1,614504.81999999995,7795458.8099999996,0,614388.84999999998,7795750.6100000003,0,
 1,614474.89000000001,7795347.5099999998,0,614361.72999999998,7795658.0199999996,0,
 1,607585.56999999995,7790497.9800000004,0,607476.64000000001,7790825.7199999997,0,
 1,607570.28000000003,7790414.8399999999,0,607447.96999999997,7790739.7300000004,0,
 1,607146.21999999997,7790327.9699999997,0,607040.66000000003,7790638.4500000002,0,
 1,607114.14000000001,7790444.9199999999,0,607002.35999999999,7790757.4699999997,0,
 1,607098.51000000001,7800911.8799999999,0,606984.29000000004,7801209.4100000001,0,
 1,579089.93000000005,7771687.5499999998,0,578949.16000000003,7772011.5700000003,0,
 1,579449.46999999997,7769843.8300000001,0,579306.81000000006,7770161.2699999996,0,
 1,581236.35999999999,7767333.04,0,581080.56000000006,7767646.7199999997,0,
 1,581999.16000000003,7767787.04,0,581835.85999999999,7768100.7300000004,0,
 1,586364.73999999999,7767816.3799999999,0,586228.77000000002,7768105.9299999997,0,
 1,589363.05000000005,7767514.7800000003,0,589232.52000000002,7767791.2699999996,0,
 1,590606.37,7772049.9100000001,0,590475.83999999997,7772330.75,0,
 1,589577.12,7772893,0,589442.23999999999,7773169.4900000002,0,
 1,587359.38,7773510.6100000003,0,587222.31999999995,7773804.5199999996,0,
 1,582643.51000000001,7771041.5599999996,0,582502.07999999996,7771357.0599999996,0,
 1,632104.44999999995,7755296.3200000003,0,631955.89000000001,7755651.7699999996,0,
 1,631579.60999999999,7758752.8899999997,0,631437.35999999999,7759146.8700000001,0,
 1,639679.73999999999,7747024.3099999996,0,639532.30000000005,7747294.8099999996,0,
 1,633098.45999999996,7747070.7800000003,0,632955.93999999994,7747368.3300000001,0,
 1,632239.19999999995,7747639.46,0,632093.89000000001,7747939.6799999997,0,
 1,636912.21999999997,7749636.7800000003,0,636761.22999999998,7749946.46,0,
 1,634897.40000000002,7750510.5499999998,0,634748.32999999996,7750820.0999999996,0,
 1,641512.80000000005,7750308.8600000003,0,641362.28000000003,7750609.8899999997,0,
 1,641477.02000000002,7759043.8099999996,0,641338.16000000003,7759406.8099999996,0,
 1,638969.18999999994,7758505.6699999999,0,638826.85999999999,7758881.5599999996,0,
 1,632152.77000000002,7789528.7699999996,0,632050.17000000004,7789840.29,0,
 1,632048.20999999996,7789546.4100000001,0,631950.48999999999,7789848.1299999999,0,
 1,642655.62,7800347.0700000003,0,642537.18000000005,7800670.4800000004,0,
 1,637827.26000000001,7796728.79,0,637726.29000000004,7797057.6100000003,0,
 1,633204.54000000004,7792959.71,0,633102.47999999998,7793275.1799999997,0,
 1,632343.47999999998,7792916.9500000002,0,632242.80000000005,7793243.4900000002,0,
 1,632669.21999999997,7800677.5899999999,0,632590.68000000005,7800984.6600000001,0,
 1,641031.65000000002,7788105.2599999998,0,640951.79000000004,7788436.1100000003,0,
 1,637267.18999999994,7801150.6399999997,0,637160.48999999999,7801457.4100000001,0,
 1,639381.98999999999,7792304.4100000001,0,639289.68999999994,7792642.0099999998,0,
 1,644688.78000000003,7762240.8399999999,0,644527.96999999997,7762555.4800000004,0,
 1,649011.25,7772048.7199999997,0,648877.34999999998,7772407.04,0,
 1,656217.67000000004,7760761.9800000004,0,656085.08999999997,7761084.1699999999,0,
 1,656081.38,7767474.9299999997,0,655934.40000000002,7767754.5800000001,0,
 1,647827.46999999997,7769472.46,0,647694.56000000006,7769813.6200000001,0,
 1,647734.21999999997,7769437.2599999998,0,647606.42000000004,7769781.3300000001,0,
 1,648793.71999999997,7761113.7300000004,0,648673.78000000003,7761434.5700000003,0,

1,653050.97999999998,7761534.19000000004,0,652937.64000000001,7761849.08000000001,0,
 1,651668.15000000002,7770604.05999999996,0,651539.22999999998,7770915,0,
 1,644279.42000000004,7763169.62000000001,0,644115.85999999999,7763487.62000000001,0,
 1,658666.91000000003,7781789.67999999997,0,658506.71999999997,7782096.07000000003,0,
 1,658328.64000000001,7787224.58000000001,0,658176.98999999999,7787516.73000000004,0,
 1,667175.32999999996,7775179.29999999998,0,667007.02000000002,7775534.19000000004,0,
 1,660488.93999999994,7781665.75999999998,0,660344.88,7781969.96999999997,0,
 1,667468.66000000003,7783548.11000000003,0,667304.56999999995,7783838.54,0,
 1,659618.85999999999,7774603.54,0,659466.92000000004,7774962.11000000003,0,
 1,666190.68999999994,7781170.88999999997,0,666028.48999999999,7781469.23000000004,0,
 1,657852.68000000005,7786442.86000000003,0,657690.35999999999,7786733.96999999997,0,
 1,657549.46999999997,7785687.21,0,657400.48999999999,7785978.21999999997,0,
 1,657527.27000000002,7773982.5,0,657376.09999999998,7774351.16000000001,0,
 1,669970.35999999999,7803139.38999999997,0,669785.66000000003,7803545.51999999996,0,
 1,661341.91000000003,7807432.61000000003,0,661191.43000000005,7807831.08000000001,0,
 1,667821.90000000002,7807377.50999999998,0,667695.42000000004,7807671.12999999999,0,
 1,663283.14000000001,7803185.5,0,663178.5,7803589.94000000004,0,
 1,664002.17000000004,7803657.08000000001,0,663908.03000000003,7804026.74000000002,0,
 1,664714.14000000001,7805487.91999999999,0,664615.43000000005,7805849.36000000003,0,
 1,658478.15000000002,7804329.33999999999,0,658350.03000000003,7804732.50999999998,0,
 1,666804.16000000003,7803631.21999999997,0,666698.28000000003,7804037.32000000003,0,
 1,667655.04000000004,7801879.41000000001,0,667524.46999999997,7802310.91999999999,0,
 1,659963.58999999997,7807394.62000000001,0,659816.20999999996,7807769.25,0,
 1,656154.56999999995,7787189.88999999997,0,656042.56000000006,7787521.61000000003,0,
 1,644570.65000000002,7786793.15000000004,0,644462.43000000005,7787117.94000000004,0,
 1,649424.76000000001,7774701.62999999999,0,649287.38,7775004.91999999999,0,
 1,644868.01000000001,7780102.33999999999,0,644749.30000000005,7780408.96999999997,0,
 1,656321.59999999998,7778823.79,0,656183.55000000005,7779134.74000000002,0,
 1,650650.95999999996,7782382.88999999997,0,650542.55000000005,7782693.62999999999,0,
 1,654137.88,7782760.53000000003,0,654013.65000000002,7783077.25,0,
 1,654096.30000000005,7782792.29999999998,0,653973.27000000002,7783111.53000000003,0,
 1,654749.20999999996,7785392.79,0,654629.80000000005,7785715.12999999999,0,
 1,648271.55000000005,7775455.12999999999,0,648142.70999999996,7775750.58000000001,0,
 1,632812.79000000004,7745703.25999999998,0,632691.31999999995,7746002.79999999998,0,
 1,643006.44999999995,7744027.50999999998,0,642891.33999999997,7744328.75999999998,0,
 1,642883.95999999996,7736939.73000000004,0,642757.05000000005,7737243.95000000002,0,
 1,641165.26000000001,7733304.15000000004,0,641028.20999999996,7733602.86000000003,0,
 1,633534.54000000004,7734846.71,0,633414.14000000001,7735136.29999999998,0,
 1,638533.41000000003,7734709.46,0,638405.87,7735004.70000000002,0,
 1,632426.89000000001,7737894.13999999997,0,632304.05000000005,7738181.37999999999,0,
 1,634206.34999999998,7739895.12999999999,0,634082.90000000002,7740184.66999999999,0,
 1,636974.58999999997,7744531.83999999999,0,636851.98999999999,7744837.25999999998,0,
 1,638353.90000000002,7740065.32000000003,0,638231.01000000001,7740363.79,0,
 1,589354.92000000004,7774702.66000000001,0,589219.48999999999,7775018.65000000004,0,
 1,583078.01000000001,7774609.82000000003,0,582981.18999999994,7774949.13999999997,0,
 1,582377.64000000001,7775978.46,0,582246.45999999996,7776307.33000000001,0,
 1,589991.60999999999,7778931.16999999999,0,589892.06999999995,7779221.71,0,
 1,590168.06999999995,7775408.82000000003,0,590008.40000000002,7775675.19000000004,0,
 1,586179.22999999998,7778613.75,0,586075,7778914.36000000003,0,
 1,581949.93000000005,7778226.05999999996,0,581798.76000000001,7778543.82000000003,0,
 1,579713.90000000002,7779549.08999999999,0,579574.72999999998,7779883.82000000003,0,
 1,579162.14000000001,7775827.75999999998,0,579046.64000000001,7776108.82000000003,0,
 1,581269.58999999997,7780543.91000000001,0,581147.17000000004,7780868.44000000004,0,
 1,636434.21999999997,7777627.59999999996,0,636349.20999999996,7777947.75999999998,0,
 1,636278.59999999998,7777613.13999999997,0,636174.84999999998,7777926.08000000001,0,
 1,641401.18000000005,7783467.51999999996,0,641317.29000000004,7783791.28000000003,0,
 1,631356.12,7779120.33000000001,0,631225.98999999999,7779435.30999999996,0,
 1,634411.10999999999,7777239.74000000002,0,634306.48999999999,7777552.50999999998,0,
 1,633893.78000000003,7777274.46999999997,0,633779.54000000004,7777590.32000000003,0,
 1,631330.31999999995,7774973.65000000004,0,631228.73999999999,7775255.30999999996,0,
 1,641341.21999999997,7774158.46,0,641366.27000000002,7774414.51999999996,0,

1,643643.20999999996,7785744.6900000004,0,643540.88,7786066.7199999997,0,
 1,636263.04000000004,7784865.2400000002,0,636102.09999999998,7785198.4900000002,0,
 1,655887.26000000001,7798220.1500000004,0,655754.32999999996,7798576.0199999996,0,
 1,646782.42000000004,7788339.5700000003,0,646661.53000000003,7788638.0199999996,0,
 1,651887.69999999995,7792593.5,0,651757.01000000001,7792934.7699999996,0,
 1,654148.37,7800735.1100000003,0,654008.30000000005,7801071.7199999997,0,
 1,652644.16000000003,7793114.9100000001,0,652532.47999999998,7793457,0,
 1,653319.97999999998,7799039.0199999996,0,653174.66000000003,7799397.9199999999,0,
 1,646810.52000000002,7789619.4500000002,0,646705.43999999994,7789951.7000000002,0,
 1,648701.06999999995,7799228.6900000004,0,648571.06000000006,7799572.0099999998,0,
 1,644388.72999999998,7798347.3200000003,0,644289.93000000005,7798692.8799999999,0,
 1,650957.5,7791203.0800000001,0,650836.54000000004,7791539.6500000004,0,
 1,598837.17000000004,7781615.7400000002,0,598713.81999999995,7781914.9900000002,0,
 1,603492.84999999998,7776838.04,0,603380.70999999996,7777144.7800000003,0,
 1,593341.73999999999,7775130.2300000004,0,593244.73999999999,7775413.5300000003,0,
 1,595308.55000000005,7780543.1900000004,0,595188.94999999995,7780837.2800000003,0,
 1,604024.19999999995,7780413.1799999997,0,603911.20999999996,7780714.0199999996,0,
 1,592837.06999999995,7784662.8399999999,0,592705.66000000003,7784971.6399999997,0,
 1,596839.42000000004,7784172.21,0,596718,7784464.2999999998,0,
 1,602569.29000000004,7787552.2699999996,0,602466.97999999998,7787874.04,0,
 1,603469.59999999998,7786902.0300000003,0,603361.03000000003,7787221.7199999997,0,
 1,594596.78000000003,7786698.67999999997,0,594453.14000000001,7787030.5700000003,0,
 1,572371.68999999994,7775225.9500000002,0,572281.38,7775549.6500000004,0,
 1,574312.47999999998,7777540.9199999999,0,574218.52000000002,7777887.7599999998,0,
 1,568876.40000000002,7777012.2699999996,0,568746.47999999998,7777372.0499999998,0,
 1,577549.81000000006,7775258.6100000003,0,577449.58999999997,7775594.0499999998,0,
 1,569354.77000000002,7779347.9900000002,0,569252.16000000003,7779690.0199999996,0,
 1,569005.75,7780256.5599999996,0,568899.45999999996,7780592.9800000004,0,
 1,573143.39000000001,7776920.5300000003,0,573035.89000000001,7777260.3499999996,0,
 1,571701.85999999999,7774605.6799999997,0,571594.25,7774940.96,0,
 1,573222.93999999994,7777924.9199999999,0,573143.57999999996,7778262.6900000004,0,
 1,578080.38,7779411.1399999997,0,577961.44999999995,7779743.8200000003,0,
 1,689485.07999999996,7832492.3099999996,0,689159.78000000003,7832865.1699999999,0,
 1,681640.09999999998,7823110.5700000003,0,681423.33999999997,7823474.4400000004,0,
 1,686305.93999999994,7826124.0999999996,0,686059.73999999999,7826502.9299999997,0,
 1,684041.62,7824627.6100000003,0,683810.18000000005,7824983.3200000003,0,
 1,683996.51000000001,7834691.1699999999,0,683602.59999999998,7835030.6399999997,0,
 1,688016.06999999995,7834099.3099999996,0,687628.31999999995,7834475.0899999999,0,
 1,682340.42000000004,7824696.4699999997,0,682095.77000000002,7825043.4199999999,0,
 1,686358.28000000003,7824439.1299999999,0,686151.51000000001,7824780.5899999999,0,
 1,685251.76000000001,7834562.5499999998,0,684863.57999999996,7834894.8099999996,0,
 1,690264,7831189.7699999996,0,689988.75,7831585.8899999997,0,
 1,630401.47999999998,7769224.1500000004,0,630286.35999999999,7769535.29,0,
 1,621032.47999999998,7761186.2400000002,0,620924.44999999995,7761512.1200000001,0,
 1,620996.81000000006,7761094.2999999998,0,620888.79000000004,7761414.0499999998,0,
 1,623097.54000000004,7761159.1299999999,0,622977.55000000005,7761479.8899999997,0,
 1,628286.64000000001,7760829.3300000001,0,628167.35999999999,7761159.4500000002,0,
 1,629815.08999999997,7762044.8700000001,0,629698.78000000003,7762363.1399999997,0,
 1,623985.95999999996,7773778.54,0,623888.30000000005,7774107.1399999997,0,
 1,621081.58999999997,7768264.04,0,620992.31999999995,7768595.7000000002,0,
 1,622484.03000000003,7770606.4000000004,0,622394.70999999996,7770931.4699999997,0,
 1,630467.59999999998,7771125.3799999999,0,630371.14000000001,7771438.0999999996,0,
 1,612801.56999999995,7729715.54,0,612672.01000000001,7730009.9800000004,0,
 1,610246.82999999996,7727452.2199999997,0,610118,7727740,0,
 1,612478.93000000005,7727381.4500000002,0,612346.98999999999,7727680,0,
 1,617140.27000000002,7725917.25999999998,0,616959.95999999996,7726209.9900000002,0,
 1,607155.91000000003,7725993.9199999999,0,606999.98999999999,7726269.9900000002,0,
 1,607140.88,7726248.6500000004,0,606993.03000000003,7726530.04,0,
 1,604795.42000000004,7731887.3499999996,0,604640.01000000001,7732240.04,0,
 1,613125.17000000004,7728813.8600000003,0,612980.97999999998,7729109.9800000004,0,
 1,612937.83999999997,7728566.9900000002,0,612796,7728859.7000000002,0,

1,612426.46999999997,7731611.04999999998,0,612287.98999999999,7731889.9900000002,0,
 1,611550.78000000003,7761709.34999999996,0,611447.54000000004,7762041.7300000004,0,
 1,615426.39000000001,7766239.50999999998,0,615332.66000000003,7766558.1299999999,0,
 1,612639.06999999995,7767001.79,0,612539.97999999998,7767320.8300000001,0,
 1,608095.87,7771742.13999999997,0,607959.78000000003,7772079.3399999999,0,
 1,609663.46999999997,7760918.1500000004,0,609565.31000000006,7761255.54,0,
 1,614656.25,7768125.21999999997,0,614557.03000000003,7768444.75999999998,0,
 1,609972.56000000006,7764599.30999999996,0,609864.77000000002,7764923.6399999997,0,
 1,615819.96999999997,7770799.79,0,615730.33999999997,7771121.38999999997,0,
 1,610063.22999999998,7768320.29999999998,0,609953.84999999998,7768644.34999999996,0,
 1,612823.19999999995,7772177.21,0,612718.19999999995,7772507.04999999998,0,
 1,607962.19999999995,7787032.2000000002,0,607840.41000000003,7787332.9100000001,0,
 1,605335.37,7774809.01999999996,0,605227.68000000005,7775152.9500000002,0,
 1,617152.54000000004,7776958.84999999996,0,617084.87,7777270.4500000002,0,
 1,610054.59999999998,7774290.78000000003,0,609968.15000000002,7774613.5300000003,0,
 1,605890,7782284.63999999997,0,605780.23999999999,7782623.6500000004,0,
 1,613206.56000000006,7782943.32000000003,0,613085.83999999997,7783268.54,0,
 1,606181.59999999998,7784558.09999999996,0,606068.30000000005,7784872.4199999999,0,
 1,605843.40000000002,7784585.34999999996,0,605723.31000000006,7784906.2000000002,0,
 1,617273.46999999997,7784375.58999999999,0,617156.51000000001,7784700.9199999999,0,
 1,616978.75,7783998.58999999999,0,616848.33999999997,7784318.8300000001,0,
 1,605217.85999999999,7753421.13999999997,0,605085.72999999998,7753715.4299999997,0,
 1,615215.01000000001,7759054.44000000004,0,615072.45999999996,7759362.7699999996,0,
 1,605411.58999999997,7746614.00999999998,0,605301.93999999994,7746925.1299999999,0,
 1,609224.33999999997,7746876.75999999998,0,609114.28000000003,7747167.7199999997,0,
 1,607313.48999999999,7756945.54,0,607171.07999999996,7757250.7800000003,0,
 1,607182.62,7754685.61000000003,0,607036.97999999998,7754994.9000000004,0,
 1,609598.68999999994,7753204.1600000001,0,609468.55000000005,7753499.2999999998,0,
 1,615620.84999999998,7748593.58999999999,0,615483.14000000001,7748881.8399999999,0,
 1,609184.84999999998,7752339.54,0,609058.58999999997,7752643.0199999996,0,
 1,612953.46999999997,7759166.55999999996,0,612813.12,7759483.8399999999,0,
 1,695321.46999999997,7807719.6200000001,0,695176.27000000002,7808069.2199999997,0,
 1,691361.34999999998,7801088.3300000001,0,691277.23999999999,7801505.2699999996,0,
 1,686047.92000000004,7811200.96,0,685944.88,7811585.86000000003,0,
 1,684597.83999999997,7803444.26999999996,0,684500.87,7803850.80999999996,0,
 1,693426.77000000002,7813902.01999999996,0,693266.44999999995,7814188.9100000001,0,
 1,692900.94999999995,7806416.82000000003,0,692769.98999999999,7806800.8799999999,0,
 1,683488.37,7813364.71999999997,0,683428.76000000001,7813721.2300000004,0,
 1,686498.84999999998,7801681.21999999997,0,686423.38,7802064.57000000003,0,
 1,688572.22999999998,7807590.4000000004,0,688461.57999999996,7807969.3700000001,0,
 1,690642.33999999997,7812735.1200000001,0,690494.82999999996,7813080.5899999999,0,
 1,626249.44999999995,7777022.36000000003,0,626088.29000000004,7777344.0300000003,0,
 1,620171.63,7777651.4400000004,0,620046.66000000003,7777965.0499999998,0,
 1,628417.37,7781850.9400000004,0,628271.28000000003,7782150.4800000004,0,
 1,620849.90000000002,7783300.9400000004,0,620716.48999999999,7783618.79,0,
 1,624723.12,7774026.16999999999,0,624559.22999999998,7774365.3700000001,0,
 1,624284.63,7786763.29999999998,0,624164.18999999994,7787096.46,0,
 1,629981.80000000005,7779810.1200000001,0,629820.66000000003,7780113.6200000001,0,
 1,623350.35999999999,7777141.3700000001,0,623221.31000000006,7777462,0,
 1,628015.57999999996,7777435.1200000001,0,627845.79000000004,7777741.9199999999,0,
 1,618030.09999999998,7782683.28000000003,0,617907.94999999995,7782994.2000000002,0,
 1,631026.67000000004,7760967.58999999999,0,630903.93000000005,7761309.9800000004,0,
 1,631931.08999999997,7768931.50999999998,0,631844.01000000001,7769309.9800000004,0,
 1,643498.14000000001,7772911.58999999999,0,643466.01000000001,7773309.9900000002,0,
 1,642224.67000000004,7766029.91999999999,0,642176.03000000003,7766419.9400000004,0,
 1,634813.98999999999,7763205.33999999999,0,634728.18999999994,7763570.1200000001,0,
 1,634931.27000000002,7772399.69000000004,0,634849.95999999996,7772779.9299999997,0,
 1,637696.48999999999,7768227.66999999999,0,637628.94999999995,7768610.0099999998,0,
 1,641361.71999999997,7760873.34999999996,0,641311.93000000005,7761220,0,
 1,633826.38,7763593.91999999999,0,633729.96999999997,7763950,0,
 1,642846.13,7762825.80999999996,0,642804.95999999996,7763199.9500000002,0,

1,684431.06000000006,7791928.7400000002,0,684370.08999999997,7792298.8399999999,0,
 1,686103.71999999997,7797831.2000000002,0,686067.96999999997,7798198.4500000002,0,
 1,686537.68000000005,7794794.7000000002,0,686494.66000000003,7795160.9900000002,0,
 1,692989.55000000005,7790171,0,692917.57999999996,7790507.5899999999,0,
 1,692263.43000000005,7794354.05999999996,0,692170.28000000003,7794733.8499999996,0,
 1,696088.97999999998,7794184.38999999997,0,695933.64000000001,7794556.9900000002,0,
 1,684820.79000000004,7797538.1200000001,0,684774.14000000001,7797929.6299999999,0,
 1,690908.95999999996,7789615.1900000004,0,690851.53000000003,7789946.79,0,
 1,693906.21999999997,7797389.4400000004,0,693768.04000000004,7797717.6900000004,0,
 1,691373.48999999999,7798133.71999999997,0,691300.59999999998,7798488.1900000004,0,
 1,658680.14000000001,7787942.63999999997,0,658580.03000000003,7788311.1399999997,0,
 1,659639.40000000002,7800751.4500000002,0,659488.43999999994,7801527.1100000003,0,
 1,668547.93000000005,7800567.17999999997,0,668420.66000000003,7801322.8799999999,0,
 1,658439.44999999995,7792280.2400000002,0,658319.37,7792802.3300000001,0,
 1,669366.81000000006,7794949.33999999999,0,669282.65000000002,7795496.8899999997,0,
 1,669014.29000000004,7794906.9400000004,0,668919.06999999995,7795436.8300000001,0,
 1,667962,7792139.1200000001,0,667873.82999999996,7792581.1799999997,0,
 1,662959.91000000003,7790149.1200000001,0,662843.94999999995,7790544.1399999997,0,
 1,667753.43999999994,7788865,0,667663.19999999995,7789192.54,0,
 1,667236.25,7796141.59999999996,0,667108.07999999996,7796728.96,0,
 1,657831.14000000001,7760609.1100000003,0,657665.69999999995,7760913.9900000002,0,
 1,667547.78000000003,7770682.3600000003,0,667391.87,7770997.75,0,
 1,667301.29000000004,7770710.29999999998,0,667153.51000000001,7771032.1399999997,0,
 1,667412.40000000002,7762347.5300000003,0,667265.56000000006,7762648.1600000001,0,
 1,669200.56999999995,7764559.26999999996,0,669062.76000000001,7764869.7599999998,0,
 1,667020.30000000005,7773060.7400000002,0,666851.63,7773365.0899999999,0,
 1,658030.18999999994,7766184.79,0,657890.40000000002,7766498.6399999997,0,
 1,662976.22999999998,7767207.9100000001,0,662832.48999999999,7767529.5,0,
 1,660725.94999999995,7768270.92999999997,0,660583.93999999994,7768590.6799999997,0,
 1,663138.64000000001,7760117.76999999996,0,662962.58999999997,7760395.9500000002,0,
 1,653435.46999999997,7751109.04,0,653280.22999999998,7751389.8099999996,0,
 1,653537.84999999998,7749322.33999999999,0,653381.63,7749610.5099999998,0,
 1,651658.57999999996,7748735.00999999998,0,651517.88,7749028.96,0,
 1,649651.94999999995,7749215.38999999997,0,649513.71999999997,7749509.3399999999,0,
 1,644159.27000000002,7758781.75,0,643987.07999999996,7759080.8600000003,0,
 1,648489.22999999998,7758741.5300000003,0,648323.58999999997,7759032.1500000004,0,
 1,651223.81999999995,7758388.6500000004,0,651060.39000000001,7758662.6900000004,0,
 1,652021.42000000004,7758845.29,0,651864.62,7759119.3399999999,0,
 1,651370.89000000001,7752232.26999999996,0,651225.35999999999,7752505.5999999996,0,
 1,644100.72999999998,7751214.41999999999,0,643959.83999999997,7751520.0700000003,0,
 1,632138.95999999996,7803658.17999999997,0,632034.40000000002,7803984.3300000001,0,
 1,637697.52000000002,7814405.84999999996,0,637583.56999999995,7814760.3799999999,0,
 1,634263.21999999997,7812432.9800000004,0,634145.41000000003,7812789.8099999996,0,
 1,632948.32999999996,7812923,0,632835.05000000005,7813279.8300000001,0,
 1,640947.80000000005,7806746.71,0,640836.81999999995,7807110.0199999996,0,
 1,642259.40000000002,7810126.9000000004,0,642136.42000000004,7810494.1600000001,0,
 1,639857.46999999997,7812554.50999999998,0,639736.81000000006,7812914.6699999999,0,
 1,637616.81999999995,7802921.29999999998,0,637515.79000000004,7803257.5599999996,0,
 1,639341.31999999995,7802974.3700000001,0,639248.60999999999,7803332.0899999999,0,
 1,633347.65000000002,7802637.2800000003,0,633250.57999999996,7802961.4800000004,0,

ModelType=4
 DirectCoefficients=
 (XCoef,YCoef,ZCoef),
 636248.28464516113,7777831.6552580697,0,
 1.0000738832949467,-0.00048593607738395793,0,
 -8.184518411330304e-005,0.99950338091968138,0,
 -0.69649190748942946,-8.8766038563655485,0,
 4.9293461958831926e-009,4.9293461958831926e-009,0,

-2.0173007489493329e-008,-2.0173007489493329e-008,0,

InverseCoefficients=

(XCoef,YCoef,ZCoef),

636376.41661290324,7777497.3992258022,0,

0.99992387650839176,0.00048778408002590556,0,

8.1551787511374029e-005,1.0004902796648869,0,

0.66166689116011035,8.8654339839101812,0,

-4.9548587210504463e-009,-4.9548587210504463e-009,0,

2.0168963590264099e-008,2.0168963590264099e-008,0,

ToleranceMeter=0.001

ToleranceRadian=4.8000000000000001e-005

PROJETO GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

INTEGRAÇÃO E CORREÇÃO CARTOGRÁFICA EM SIG

ANEXO III

INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA DOS PROJETOS USGS/DNPM E CPRM/DNPM NA ESCALA 1:25.000

GEÓLOGO ORIVALDO FERREIRA BALTAZAR

1 □ INTRODUÇÃO

O Projeto Correção das Bases Cartográficas e Geológicas do Quadrilátero Ferrífero surgiu como uma necessidade de se reunir, em uma só base cartográfica corrigida, a geologia disponível, na escala 1:25.000, para o Quadrilátero Ferrífero - QF, resultante dos projetos de mapeamento geológico DNPM/USGS e DNPM/CPRM, executados, respectivamente, nos períodos 1946/1964 e 1992/1996. Uma das razões para esta integração se relaciona ao fato de que o foco principal do projeto DNPM/USGS foi cartografar em detalhe apenas o que era então conhecido como “Série Minas”, devido a seus importantes depósitos de minério de ferro, enquanto que o projeto DNPM/CPRM visou exclusivamente o Supergrupo Rio das Velhas por sua importância aurífera. Assim, a integração dos dois projetos de mapeamento geológico era oportuna e necessária.

Esta integração constitui uma das etapas de um projeto maior cujo objetivo final visa a análise e modelagem geoestatística de dados, com elaboração de mapas preditivos e de áreas potenciais para pesquisa mineral, em ambiente SIG, tendo como área laboratório a Província Mineral Quadrilátero Ferrífero. Em uma primeira etapa, o foco dos trabalhos foi dirigido para as ocorrências e depósitos de ouro do *greenstone belt* Rio das Velhas, que teve

seu grande acervo de dados reunido em um banco de dados relacional BDQF-Au (Base de Dados do Quadrilátero Ferrífero – Ouro), concebido com o objetivo de organizar, de forma estruturada, todo o conhecimento disponível na literatura geológica, até então disperso e em formatos diversos (Alves-Pereira 2003).

Para o cumprimento desses objetivos, tornou-se necessária a obtenção de mapas geológicos revisados e adaptados a um ambiente SIG, redundando na correção das bases cartográficas e geológicas do QF, com apoio de várias empresas de mineração e da CPRM. A correção envolve atualização, integração e georreferenciamento da cartografia geológica baseados nos projetos de mapeamento já mencionados.

Concluída a integração geológica e cartográfica em SIG, foi feita a sua compartimentação em 14 mapas para apresentação na escala 1:50.000, em formato Adobe® pdf. Os mesmos foram gerados com utilização de recursos do Programa ArcGis®, versão 9.0, ESRI Inc.

2 □ MÉTODO DE TRABALHO

As seguintes atividades foram desenvolvidas: **(1)** reconhecimento geológico de campo; **(2)** integração litológica das quadrículas 1:25.000 do projeto DNPM/USGS; **(3)** integração litológica das folhas 1:25.000 do projeto Rio das Velhas (DNPM/CPRM); **(4)** integração dos dois projetos; **(5)** compilação de traços estruturais dos dois projetos em ArcView®.

(1) Reconhecimento geológico de campo, em janeiro de 2004. Visou descrever a natureza dos contatos entre as rochas dos supergrupos Minas e Rio das Velhas, georreferenciá-los com o uso de aparelho *GPS* (tipo GARMIN Etrex, 12 canais) e usá-los como pontos de controle para o posicionamento preciso dos limites entre os dois supergrupos, ou seja, entre as bases dos dois projetos objeto da integração geológica. Foram descritos 114 afloramentos, com o objetivo de verificar e conferir a acurácia do trabalho de georreferenciamento e a correção das bases cartográficas, realizados em escritório com o uso de SIG. Desses afloramentos, 50 foram em contatos entre os dois supergrupos; 64 nos contatos entre unidades internas aos dois supergrupos e ao Grupo Itacolomi; 38 pontos em cruzamentos e confluências de rodovias, ferrovias e drenagens importantes, com o objetivo de conferir a acurácia do trabalho de georreferenciamento e correção cartográfica.

- (2) Integração litológica do projeto USGS, na escala 1:25.000, de 47 quadrículas, principalmente da geologia do Supergrupo Minas, alvo principal daquele mapeamento.
- (3) Integração das cartas geológicas do projeto Rio das Velhas (DNPM/CPRM), na escala 1:25.000. O mapeamento original do Projeto Rio das Velhas foi feito em duas fases, posteriormente integradas por Baltazar & Silva (1996), na escala 1:100.000, que promoveram ajustes e modificações cartográficas e a uniformização da nomenclatura estratigráfica. Esta integração serviu de base para a compilação de dados da cartografia original e sua posterior integração ao Projeto USGS/DNPM.
- (4) Integração e ajuste das *layers* de polígonos/litologias dos dois projetos, através do *software* ArcView[®] 9.1, com a utilização dos pontos de contatos georreferenciados no campo para maior precisão na sua localização.
- (5) Compilação de traços estruturais dos dois projetos, após a integração litológica, com o uso de imagens de satélite Landsat 7 e fotografias aéreas (1:30.000) como ferramentas auxiliares para maior precisão na sua locação.
- (6) Georreferenciamento de 64 depósitos, minas e ocorrências de ouro no *greenstone belt* Rio das Velhas, utilizando informações cedidas pela empresa AngloGold Ashanti.
- (7) Compartimentação do SIG Integrado original em 14 mapas geológicos, para apresentação na escala 1:50.000. A mesma foi feita obedecendo os limites das quadrículas originalmente cartografadas na escala 1:25.000. Os limites destes mapas não necessariamente obedecem a um padrão de corte cartográfico, e os nomes dos mesmos seguem a denominação geográfica local □ Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Casa de Pedra, Catas Altas, Congonhas, Gandarela, Igarapé, Itabira, Itabirito, João Monlevade, Mariana, Ouro Preto e Santa Bárbara (Figura 10). Para cada um desses 14 mapas definidos, em arquivos Adobe[®] pdf, foi elaborada uma legenda própria, com dados estratigráficos e estruturais atualizados e descritivos das características locais de suas respectivas unidades litológicas e traços estruturais. O trabalho foi feito usando o programa ArcView[®] 9.1.

A integração da geologia foi realizada com a identificação e correlação das unidades litoestratigráficas, a partir de mosaicos articulados para os dois projetos (DNPM/USGS & DNPM/CPRM), com base nas respectivas cartas na escala 1:25.000. Estes foram inicialmente vetorizados e registrados no programa Microstation Reprographics[®]. Os dados

A drenagem foi baseada nos dados da base de dados estadual de informações topográficas e planimétricas GEOMINAS. As manchas urbanas estão interpretadas a partir da imagem de satélite Landsat 7. Além disso, foram refinadas pela comparação com o arquivo de manchas urbanas do Projeto APA-Sul.

3 □ INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA E CORRELAÇÕES

Embora se tenha procurado reproduzir com a maior fidelidade possível a cartografia original dos dois projetos (DNPM/USGS & DNPM/CPRM), verificou-se a necessidade de uma revisão, com modificações tanto de caráter cartográfico quanto de natureza estratigráfica e estrutural. Estas alterações foram feitas apenas em áreas localizadas, onde novos mapeamentos geológicos posteriores, na escala igual ou maior, tenham ocorrido. Em algumas áreas, foi necessário o uso da interpretação de imagens de satélite e aerofotos, principalmente para representar unidades litoestratigráficas cartografadas em determinadas quadrículas e não representadas em quadrículas adjacentes. Em outras situações muito localizadas, como em áreas pertencentes ao Grupo Nova Lima, no interior do QF, foram feitas modificações na cartografia original, neste caso com base em dados obtidos no reconhecimento geológico de campo. Nas unidades litoestratigráficas do entorno do QF, as modificações foram feitas principalmente com o objetivo de melhorar a descrição litológica destas unidades, melhor caracterizar estruturas de escala regional e, em alguns casos, promover mudança de posicionamento estratigráfico. Para estas mudanças, foram utilizados trabalhos de mapeamento geológico até mesmo de escalas menores (1:100.000), uma vez que algumas destas áreas não contaram com reconhecimento geológico durante a execução dos dois projetos objeto de integração. Principalmente as modificações de caráter estratigráfico seguem propostas de diversos autores, a maioria já de ampla aceitação na literatura geológica. As alterações de caráter estrutural também obedeceram aos mesmos critérios e contaram, ainda, com o auxílio de análise de imagem de satélite (1:100.000) e fotografias aéreas (1:30.000), para maior precisão no posicionamento das estruturas.

Os principais trabalhos utilizados na complementação e atualização dos dados de integração cartográfica, principalmente nas áreas periféricas do QF, foram:

- (1) Mapa geológico do Projeto APASul RMBH-1:25.000 (Silva & Monteiro 2004);
- (2) Mapa geológico da Folha Mariana-1:100.000 (Baltazar *et al.* 1993);
- (3) Mapa geológico da Folha Rio Espera-1:100.000 (Raposo 1993);

- (4) Mapa geológico da Folha Belo Horizonte-1:100.000 (Brandalise 2000);
- (5) Mapa geológico da Folha Itabira-1:100.000 (Padilha *et al.* 2000);
- (6) Mapa geológico do Brasil-1:2.500.000 (Bizzi *et al.* 2002);
- (7) Geologia da junção homoclinal serra do Curral e Sinclinal Moeda (Alkmim *et al.* 1996).

Outros trabalhos, importantes na definição de alguns aspectos estruturais e estratigráficos, são citados no texto e listados nas referências bibliográficas.

3.1. ESTRATIGRAFIA

A base da subdivisão litoestratigráfica formal proposta por Dorr *et al.* (1957) e Dorr (1969) para as séries Rio das Velhas, Minas e Itacolomi foi mantida, com algumas modificações propostas por outros autores e por este trabalho, em decorrência de revisões posteriores realizadas em áreas de estratigrafia controversa, já à época dos mapeamentos originais (projetos DNPM/USGS & DNPM/CPRM). A nomenclatura estratigráfica utilizada obedece à última edição da International Stratigraphic Chart elaborada pela International Commission on Stratigraphy, no ano de 2000 e atualizada em 2003.

A estratigrafia do QF consiste, na escala regional, dos seguintes conjuntos maiores:

- terrenos granito-gnáissicos arqueanos;
- seqüências vulcanossedimentares arqueanas;
- seqüências de coberturas sedimentares e vulcanossedimentares proterozóicas; e
- coberturas sedimentares recentes.

TERRENOS GRANITO-GNÁISSICOS ARQUEANOS

Os terrenos granito-gnáissicos receberam da equipe USGS/DNPM nomes informais nas diversas quadrículas onde ocorrem, como, por exemplo, gnaisses Cocais (quadrículas Cocais e Gongo Sôco), Rio das Velhas (quadrícula Itabira) e João Monlevade (quadrículas João Monlevade e Rio Piracicaba); rochas granito-gnáissicas indiferenciadas (nas demais quadrículas). São referidos informalmente como complexos ígneo-metamórficos, recebendo denominações locais, conforme proposta de autores diversos.

- (1) *Complexo Belo Horizonte (A3bh)*, ao norte do QF, nos mapas geológicos Igarapé, Brumadinho, Belo Horizonte, Caeté, e os gnaisses Cocais do mapa geológico Santa Bárbara;

- (2) *Complexo Bonfim (A3bf)*, a oeste do QF, nos mapas geológicos Brumadinho, Itabirito, Casa de Pedra e Congonhas;
- (3) *Complexo Santa Bárbara (A3sb)*, limite leste do QF, na porção leste dos mapas geológicos Caeté e Santa Bárbara, extremo nordeste do mapa geológico Mariana, e incluindo os gnaisses Monlevade da porção sudoeste do mapa geológico João Monlevade;
- (4) *Complexo Caeté (A3ca)*, no mapa geológico Caeté, limite nordeste do QF;
- (5) *Complexo Guanhães (A3gu)*, na região de Itabira incluindo os gnaisses Rio das Velhas e a porção norte-noroeste do mapa geológico João Monlevade;
- (6) *Complexo Mantiqueira (A3m)*, na porção sul-sudeste do mapa geológico João Monlevade, incluindo parte dos gnaisses Monlevade;
- (7) *Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga (A34sap)*, ao sul-sudeste do QF, que inclui ortognaisses e rochas máfico-ultramáficas do extremo sudeste do mapa geológico Ouro Preto, porções nordeste e sul do mapa geológico Mariana, e pequenas faixas no sul do mapa geológico Catas Altas;
- (8) *Complexo Córrego dos Boiadeiros (A3cb)*, que ocorre apenas na porção central do mapa geológico Itabirito. Constitui-se de uma suíte intrusiva de rochas metamáficas e metaultramáficas que Dorr (1969) sugere ter idade pré-Minas. O conjunto foi descrito como Formação Córrego dos Boiadeiros (Padilha 1984) e posteriormente denominado Complexo Córrego dos Boiadeiros (Costa *et al.* 1992). No Projeto Rio das Velhas (Zucchetti & Baltazar 2000), este complexo foi caracterizado como um *sill* básico-ultrabásico intrusivo nas seqüências basais do Grupo Nova Lima. O mesmo inclui talco xisto, serpentinito, esteatito e metagabro.

Em uma revisão sobre a geocronologia do QF, Noce (2000) mostra que a idade mínima obtida para a geração dos gnaisses e migmatitos dos complexos Bonfim, Belo Horizonte e Bação situam-se no intervalo 2920-2970 Ma (idades U/Pb e Pb/Pb em zircões).

Entre os corpos granitóides Arqueanos intrusivos nestes complexos estão:

1. *granodiorito Caeté* (2776 Ma, no Complexo Caeté);
2. *tonalito Samambaia e granito Brumadinho* (2780 Ma e 2703 Ma, no Complexo Bonfim);

3. *granito Santa Luzia e granodiorito Ibirité* (2712 Ma e 2698 Ma, no Complexo Belo Horizonte);
4. *stocks de granito e veios* (2682 Ma e 2567 Ma, no Complexo Bação).

Entre os granitóides proterozóicos estão:

1. *tonalito Alto Maranhão* (2124 Ma, ao sul-sudoeste do QF);
2. *stocks de granito* (2045 Ma, no Complexo Belo Horizonte);
3. *veios de pegmatito* (2030 Ma, no Complexo Bação).

Os *granitos Peti (PP4grpe)* e *Borrachudos(PP4grbo)*, respectivamente nos mapas Santa Bárbara e Itabira, foram incluídos em uma Suíte Borrachudos (Padilha *et al.* 2000; Bizzi *et al.* 2001). São granitos intrusivos paleoproterozóicos.

O *gnaisse Souza Noschese (A4gr3sn)* ocorre nos mapas geológicos Igarapé e Brumadinho, no extremo ocidental da serra do Curral, bordejando os complexos Belo Horizonte e Bonfim. É um gnaisse claro, equigranular, granulação média, composto de ortoclásio, quartzo, pouco plagioclásio e clorita, moscovita e biotita como acessórios. É de idade Neoarqueana, tardi-a pós-tectônico (Bizzi *et al.* 2001).

SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS – Seqüência vulcanossedimentar arqueana

Originalmente definido como Série Rio das Velhas e subdividido nos grupos Nova Lima e Maquiné (Dorr *et al.* 1957), e este em formações Palmital (O'Rourke 1957) e Casa Forte (Gair 1962), foi posteriormente renomeado como Supergrupo Rio das Velhas (Lockzy & Ladeira 1976). Schorscher (1979) incluiu na base do supergrupo o Grupo Quebra Osso.

A subdivisão estratigráfica informal, proposta pela equipe do Projeto Rio das Velhas (Zucchetti *et al.*, 1996, 1998; Baltazar & Silva 1996) e modificada por Baltazar & Zucchetti (2005), é mantida com modificações para o Grupo Nova Lima e para as duas formações que compõem o Grupo Maquiné. As unidades litoestratigráficas informais foram propostas a partir do agrupamento dos litotipos constituintes dos grupos Nova Lima e Maquiné em associações de litofácies, caracterizadas em trabalhos de campo, com apoio de estudos petrográficos e litoquímicos. Isto possibilitou a elaboração de uma coluna simplificada, apresentada a seguir, a qual não constitui um empilhamento estratigráfico formal, mas apenas uma coluna composta, considerando-se o caráter polideformado da área, com

repetição e omissão de camadas, sendo necessários estudos mais detalhados de natureza estrutural, estratigráfica e geocronológicos.

As associações de litofácies (Figura 11) e suas respectivas unidades litoestratigráficas correspondentes são, da base para o topo, as seguintes:

1. Associação vulcânico-plutônica máfica-ultramáfica: Grupo Quebra Osso e unidade Ouro Fino do Grupo Nova Lima (GNL);
2. Associação vulcanossedimentar química: unidade Morro Vermelho;
3. Associação metassedimentar química-pelítica: unidade Santa Quitéria;
4. Associação metavulcanoclástica: unidades Ribeirão Vermelho e Mestre Caetano;
5. Associação ressedimentada: unidades Mindá e Córrego do Sítio, nos setores norte e leste; unidades Catarina Mendes, Fazenda Velha e Córrego da Paina, no setor sul; unidade Rio de Pedras da Formação Palmital do Grupo Maquiné;
6. Associação costeira (ou litorânea): unidades Pau D'Óleo e Andaimés;
7. Associação não-marinha: unidades Chica Dona, Jaguará, Córrego do Engenho e Capanema, da Formação Casa Forte do Grupo Maquiné.

Grupo Quebra Osso

Ocorre nos mapas Santa Bárbara e Catas Altas, porção nordeste do QF, e corresponde à Associação de litofácies plutônica-vulcânica máfica-ultramáfica. Constitui metakomatiito peridotítico, metakomatiito, serpentinito, formação ferrífera, metachert, turmalinito, filito carbonoso.

Grupo Nova Lima

O Grupo Nova Lima, indiviso na região externa ao QF, consiste principalmente de xisto verde metassedimentar e metavulcânico e filito com intercalações de quartzito, grauvaca, dolomito, talco xisto e formação ferrífera. A subdivisão estratigráfica informal proposta para o grupo no interior do QF inclui as doze unidades constantes da coluna estratigráfica simplificada para o Supergrupo Rio das Velhas.

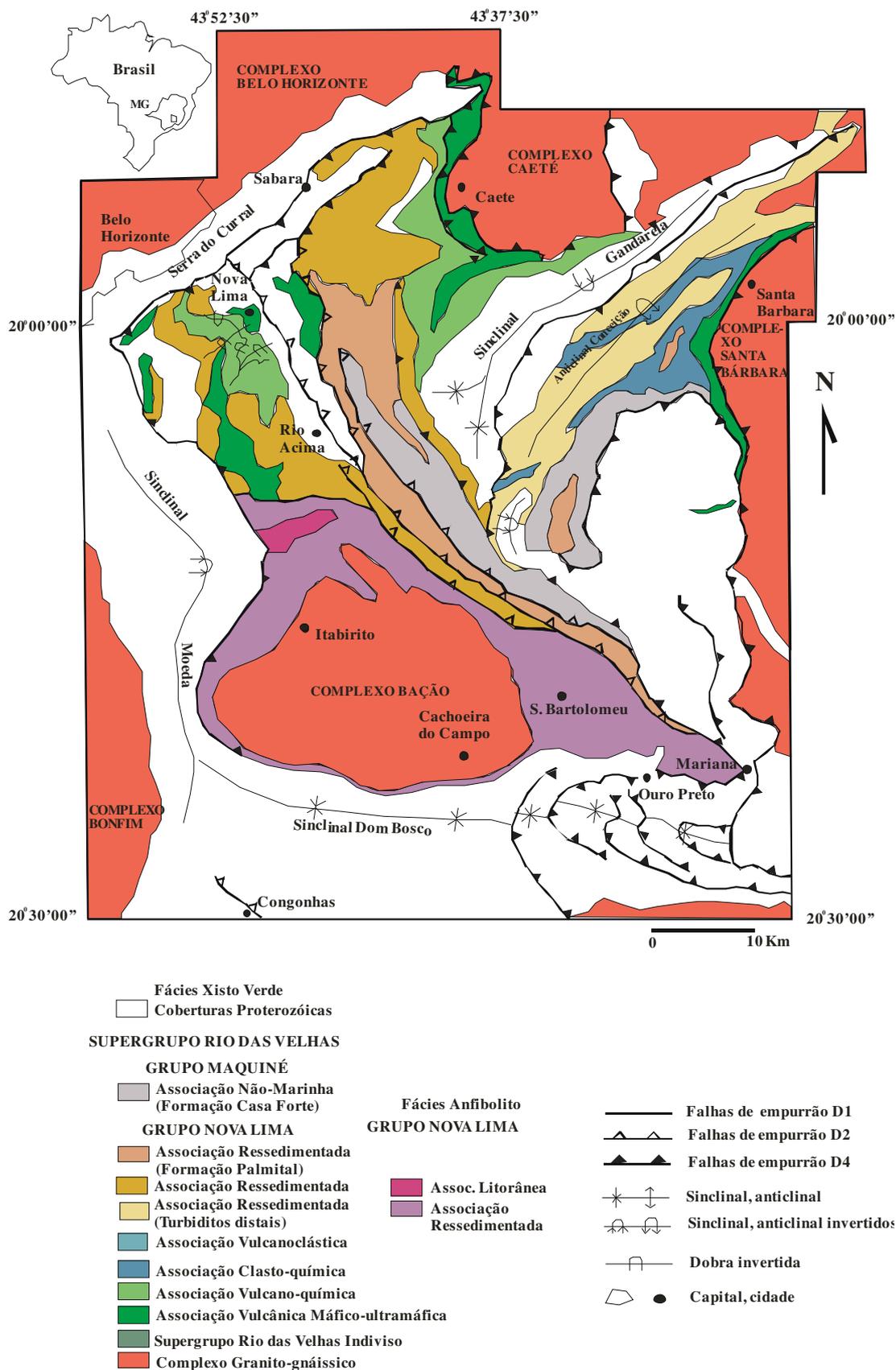


Figura 11 – Mapa geológico simplificado do QF com as associações de litofácies do Supergrupo Rio das Velhas (modificado de Baltazar & Zucchetti, 2005).

Coluna estratigráfica simplificada para o Supergrupo Rio das Velhas:

Supergrupo Rio das Velhas

Grupo Maquiné

Formação Casa Forte

Unid. Capanema

Unid. Córrego do Engenho

Unid. Jaguará

Unid. Chica Dona

Formação Palmital

Unid. Rio de Pedras

Grupo Nova Lima

Unid. Andaimés

Unid. Pau D`Óleo

Unid. Córrego da Pains

Unid. Fazenda Velha

Unid. Catarina Mendes

Unid. Córrego do Sítio

Unid. Mindá

Unid. Mestre Caetano

Unid. Ribeirão Vermelho

Unid. Santa Quitéria

Unid. Morro Vermelho

Unid. Ouro Fino

Grupo Quebra Osso - Indiviso

UNIDADE OURO FINO

Esta unidade do Grupo Nova Lima está cartografada principalmente no setor centro-norte, mapas Belo Horizonte, Caeté e Itabirito, com áreas restritas de exposição no centro do mapa Gandarela e no extremo leste do mapa Santa Bárbara. Predominam metabasalto toleítico e komatiítico, metaperidotito, metatufo básico, metavulcânica ácida, formação ferrífera, *metachert* e xisto carbonoso. O conjunto litológico está reunido na Associação de litofácies vulcânica máfica-ultramáfica.

UNIDADE MORRO VERMELHO

Ocorre no extremo norte-nordeste da área, nos mapas geológicos Belo Horizonte, Caeté, Santa Bárbara, Itabirito e Gandarela. Predominam metabasalto toleítico e komatiítico, filito carbonoso, formação ferrífera, *metachert*, rocha metassedimentar epiclástica e

metavulcânica félsica. No mapa Santa Bárbara predominam as rochas metassedimentares epiclásticas representadas por quartzo-mica xisto e filito, com quartzito e formação ferrífera subordinados. Compõe a Associação de litofácies vulcanossedimentar-química.

UNIDADE SANTA QUITÉRIA

Ocorre no setor nordeste do QF, nos mapas Caeté, Santa Bárbara, Catas Altas e Gandarela. Constitui-se de mica-quartzo, clorita-quartzo e sericita-clorita xistos, xisto carbonoso, formação ferrífera e *metachert*. Representam sedimentos clásticos finos, na forma de metapelitos ± carbonosos, intercalados com formação ferrífera e *metachert*. O conjunto acha-se reunido na Associação de litofácies sedimentar químico-pelítica.

UNIDADE RIBEIRÃO VERMELHO

Tem sua área de ocorrência na parte centro-oeste do mapa geológico Caeté e constitui-se de rochas metapiroclásticas, representadas por metaglomerado, metatufo félsico e máfico, metagrauvaca, metarenito, metapelito e metandesito. Estes litotipos estão reunidos na Associação de litofácies vulcanoclástica.

UNIDADE MESTRE CAETANO:

Ocorre nos mapas Itabirito e Belo Horizonte e, de forma restrita, no mapa Caeté. Contém sericita-clorita-quartzo e sericita-clorita xistos, sericita xisto e xisto carbonoso; formação ferrífera e quartzo-ankerita xisto (lapa seca*) subordinados. Representam grauvacas, tufos e pelitos vulcanogênicos, com sedimentos químicos intercalados e são referidos à Associação de litofácies vulcanoclástica, em conjunto com os litotipos da unidade Ribeirão Vermelho.

*: O termo 'lapa seca' refere-se a um conjunto variado de produtos hidrotermais, dominado por dolomita, contendo moscovita, quartzo e albita, ocorrendo ainda tipos sulfetados ricos em ouro. Resulta da alteração hidrotermal de rochas vulcânicas e/ou vulcanoclásticas, entre os quais a distinção mineralógica e textural não é sempre clara. Hospeda ouro no depósito Morro Velho (Lobato *et al.* 2001).

UNIDADE MINDÁ

Ocorre no setor nordeste do QF, predominando nos mapas Belo Horizonte, Caeté e Gandarela, de forma restrita no extremo norte do mapa Itabirito e isoladamente na porção leste do mapa Santa Bárbara. Os principais litótipos são: plagioclásio-clorita-mica, sericita-moscovita-quartzo, quartzo-clorita-mica xistos; xisto carbonoso e formação ferrífera são subordinados. Representam predominantemente metapsamitos e metapelitos intercalados, com estratificação gradacional preservada, e sedimentos químicos subordinados. Incluem-se na Associação de litofácies ressedimentada.

UNIDADE CÓRREGO DO SÍTIO

É a unidade de maior distribuição geográfica, predominando nos mapas geológicos Belo Horizonte, Caeté, Itabirito, Gandarela e Santa Bárbara, e com pequena incidência na porção norte do mapa Ouro Preto e extremo noroeste do mapa Catas Altas. Predominam quartzo-carbonato-mica-clorita & quartzo-mica xistos, filito carbonoso; formação ferrífera subordinada e sericita-quartzo xisto. Representam metapelitos e metapsamitos, em parte carbonosos, com estratificação gradacional e cruzada preservadas, e com sedimentos químicos subordinados. Pertence à Associação de litofácies ressedimentada.

UNIDADE CATARINA MENDES

Ocorre na porção sul do QF, nos mapas Itabirito, Gandarela, Casa de Pedra, Ouro Preto e Mariana. Seus principais litótipos são: carbonato-quartzo-feldspato-biotita-clorita, sericita-biotita-clorita-quartzo e quartzo-clorita xistos, rocha cálcio-silicática, metaconglomerado e formação ferrífera, com quartzito subordinado; granada-estauroлита xisto em auréolas metamórficas em torno do Complexo Bação. Representam metagrauvas com rochas carbonáticas, metarenito e metargilito subordinados, com metaconglomerado e tremolita xisto locais. Nas metagrauvas, são comuns estratificação cíclica e gradacional e estratificação plano-paralela e cruzada. Pertence à Associação de litofácies ressedimentada.

UNIDADE FAZENDA VELHA

Ocorre nas porções central e sudeste do QF, nos mapas Itabirito, Gandarela e Ouro Preto, em íntima associação com a unidade Catarina Mendes. Inclui xistos feldspáticos a clorita-quartzo e biotita-sericita-clorita; biotita-moscovita xisto; rocha cálcio-silicática e metargilito carbonoso. Representam metapsamitos e metapelitos, com estruturas sedimentares preservadas como estratificação gradacional e cruzada de pequeno porte. Lentes de rocha cálcio-silicática e metargilito carbonoso são comuns. Também pertence à Associação de litofácies ressedimentada e transiciona para a unidade Catarina Mendes.

UNIDADE CÓRREGO DA PAINA

Ocorre na porção sul do QF, nos mapas Itabirito, Casa de Pedra, Ouro Preto, Mariana e extremo sudoeste do mapa Gandarela, também em íntima associação com a unidade Catarina Mendes para a qual transiciona. Constitui-se de quartzo-mica-clorita e clorita xistos; biotita-moscovita xisto feldspático e formação ferrífera subordinada. Representam metargilitos, metassiltitos, metassiltitos arenosos e metagrauvas com sedimentos

químicos locais. Pertencem à Associação de litofácies ressedimentada representando metaturbiditos distais.

As três últimas unidades, Catarina Mendes, Fazenda Velha e Córrego da Paina, contêm paragêneses minerais metamórficas indicativas de condições da fácies anfíbolito, e representam seqüências sedimentares de metaturbiditos equivalentes às unidades Córrego do Sítio e Mindá, porém em ambiente e grau metamórfico diversos.

UNIDADE PAU D'ÓLEO

Ocorre apenas na porção sudeste do mapa Itabirito, constituindo-se de quartzo-mica e sericita-quartzo xistos feldspáticos, representando metarenito e metassilito carbonáticos, em intercalações rítmicas, e metagrauvaca. São interpretados como uma seqüência sedimentar provavelmente depositada em ambiente marinho raso, de fácies planície de maré, e transicionam para as unidades Catarina Mendes e Andaimés (Zucchetti & Baltazar 2000; Baltazar & Zucchetti 2005).

UNIDADE ANDAIME

Ocorre apenas ao norte do Complexo Bação, no extremo oeste do QF. Está em contato transicional com a unidade Pau D'Óleo e em notável discordância angular com os quartzitos Caraça, unidade basal do Supergrupo Minas (Dorr 1957, 1969). Constitui-se de quartzito, quartzito microconglomerático, conglomerado polimítico e quartzo-mica xisto. Os primeiros são metarenitos com estratificação cruzada de médio-grande porte, estratificação *herring bone* e marcas de ondas. É incluída na Associação de litofácies litorânea e interpretada como representante de sedimentos depositados em água rasa, sob a influência de marés em um ambiente costeiro (Zucchetti & Baltazar 2000; Baltazar & Zucchetti 2005).

Grupo Maquiné

Definido por Dorr II *et al.* (1957), o Grupo Maquiné foi dividido nas formações Palmital (O'Rourke 1957), basal, e Casa Forte (Gair 1962) de topo.

Na estratigrafia proposta pelo Projeto Rio das Velhas (Baltazar & Silva 1996), a Formação Palmital foi dividida nas unidades Rio de Pedras e Andaimés. A unidade Rio de Pedras contém litótipos da própria formação, no local de sua definição, e a Andaimés nomeia seqüência de quartzitos litorâneos da serra dos Andaimés. Com base em suas relações faciológicas com as respectivas unidades adjacentes e suas características estruturais distintas, a unidade Andaimés foi excluída da Formação Palmital e posicionada

no topo do Grupo Nova Lima (Baltazar & Zucchetti 2005). Assim, no interior do QF a Formação Palmital fica restrita à unidade Rio de Pedras, interpretada como depósitos de planície de maré (Zucchetti & Baltazar 2000) e reinterpretada pelos autores como uma seqüência de turbiditos, transicionais para as grauvas vulcanogênicas da unidade Mestre Caetano, que por sua vez são relacionadas à associação de litofácies vulcanoclástica.

Dorr (1969) assinalou a transição da Formação Palmital para rochas metassedimentares do Grupo Nova Lima. Em função disso, Belo de Oliveira (1986) sugere a retirada da Formação Palmital do Grupo Maquiné, sendo a mesma incluída no topo do Grupo Nova Lima. Por este motivo, e também considerando que uma discordância angular ocorre no contato desta formação com a Formação Casa Forte sobrejacente, Baltazar & Zucchetti (2005) também sustentam esta proposição.

Formação Palmital

UNIDADE RIO DE PEDRAS

Ocorre nas porções central e centro-leste do QF. É composta de quartzitos ± sericíticos, quartzo-sericita xisto e xisto carbonoso subordinado, representando metarenito, metagrauva e metargilito, com estratificação cruzada preservada de pequeno a médio porte. Representam metaturbiditos proximais da Associação de litofácies ressedimentada.

Formação Casa Forte

Com base nas associações de litofácies identificadas, a Formação Casa Forte foi subdividida nas unidades informais Chica Dona, Jaguará, Córrego do Engenho, Capanema, (da base para o topo), durante o mapeamento do Projeto Rio das Velhas. Corresponde à Associação de litofácies não-marinha, composta por rochas metassedimentares interpretadas como depósitos aluvial-fluviais de um sistema de rios entrelaçados (Zucchetti & Baltazar 2000; Baltazar & Zucchetti 2005).

UNIDADE CHICA DONA

São caracterizadas na unidade duas litofácies, em posições geográficas distintas, ambas representando depósitos de leques aluvial-fluviais.

- *Fácies Córrego do Viana.* Composta de quartzito sericítico fino e metaortoconglomerado polimítico, ocorrendo na porção central do QF onde transiciona para a unidade Jaguará;

- *Fácies Córrego da Cidreira*. Constitui-se de metaconglomerado polimítico e quartzito sericítico fino com estratificação gradacional e cruzada acanalada e tangencial. Ocorre na porção leste do QF, em associação com metarenitos finos a médios da unidade Córrego do Engenho.

UNIDADE JAGUARA

Para o Projeto Rio das Velhas, esta representa a litofácies “arenito de granulação grossa” da associação e foi interpretada como depósitos aluvial-fluviais de fluxo, não confinado, de um sistema de rios entrelaçados. Constitui-se de quartzito sericítico de granulação média a grossa, *grit* e metaconglomerado polimítico e quartzo-mica xisto subordinados.

UNIDADE CÓRREGO DO ENGENHO

Ocorre no setor leste do QF em associação com a fácies Córrego da Cidreira da unidade Chica Dona. Representa a litofácies “arenito de granulação fina a média” da associação de litofácies não-marinha e foi interpretada, no Projeto Rio das Velhas, como depósitos aluvial-fluviais distais de um sistema de rios entrelaçados. Constitui-se de quartzito sericítico, quartzito conglomerático subordinado com estratificação gradacional e cruzada preservadas.

UNIDADE CAPANEMA

Ocorre no setor central do QF, no Sinclinal Vargem do Lima, em íntima associação com a unidade Jaguará para a qual transiciona. Representa também a litofácies “arenito de granulação fina a média”, da associação de litofácies não-marinha, e foi interpretada como depósitos aluvial-fluviais distais de um sistema de rios entrelaçados. Seus litótipos principais são: sericita e sericita-quartzo xistos de granulação fina, com estratificação gradacional e cruzada preservadas.

SUPERGRUPO MINAS – Seqüência metassedimentar proterozóica

A estratigrafia considerada é a do quadro apresentado a seguir, proposta por Dorr *et al.* (1957) e Dorr (1969), com algumas modificações. Nesta, a subdivisão em formações proposta pela equipe USGS/DNPM permanece, à exceção da Formação Sabará, originalmente unidade superior do Grupo Piracicaba, atualmente Grupo Sabará (Renger *et al.* 1994). O Grupo Tamanduá (Simmons & Maxwell 1961), ocorrendo nas serras das Cambotas, do Tamanduá e do Caraça, e posicionado na base da “Série Minas” por Dorr (1969), tem seus quartzitos incluídos em parte no Grupo Caraça do Supergrupo Minas e em parte incluídos no Supergrupo Espinhaço. Os quartzitos da serra do Ouro Branco

tentativamente correlacionadas com o Grupo Tamanduá por Dorr foi incluída no Grupo Itacolomi (Alkmim 1985).

O Grupo Tamanduá foi definido originalmente na serra do Tamanduá/serra das Cambotas (Simmons & Maxwell 1961), nas quadrículas Santa Bárbara e Cocais, aflorando também nas quadrículas Antônio dos Santos, Gongo Sôco, Capanema e Santa Rita Durão. Rochas também correlacionadas tentativamente com o grupo afloram nas quadrículas Florália, Dom Bosco, Ouro Branco e Santa Rita do Ouro Preto (Dorr 1969). Inclui, portanto, os quartzitos das serras do Caraça e Ouro Branco. Compreende quartzitos, xistos quartzosos e argilosos e itabiritos filítico e dolomítico, estratigraficamente entre os grupos Maquiné (Supergrupo Rio das Velhas) e Caraça (Supergrupo Minas).

Posicionado inicialmente por Simmons & Maxwell (1961) no topo da “Série Rio das Velhas”, o Grupo Tamanduá foi posteriormente incluído na base da “Série Minas” (Dorr 1969). Simmons & Maxwell (1961) o subdividiram em uma formação nomeada e três formações sem nome. Simmons (1968) agrupou as três formações sem nome em uma única formação, estabelecendo a estratigrafia do grupo com o quartzito Cambotas na base e a Formação Superior, ou Sem Nome, adotada por Dorr (1969).

Coluna estratigráfica simplificada para o Supergrupo Minas:

Supergrupo Minas

Grupo Sabará - Indiviso

Grupo Piracicaba

Formação Barreiro

Formação Taboões

Formação Fêcho do Funil

Formação Cercadinho

Grupo Itabira

Formação Gandarela

Formação Cauê

Grupo Caraça

Formação Batatal

Formação Moeda

A parte superior do Grupo Tamanduá, a Formação Superior ou Sem Nome, é cartografada nas quadrículas Cocais e Santa Bárbara (mapa geológico Santa Bárbara) como uma seqüência de xisto, quartzito xisto, quartzito, filito e formação ferrífera. Foi correlacionada com o Grupo Nova Lima por Moore (1969), na quadrícula Gongo Soco (mapa geológico

Caeté), adjacente a esta última; outros autores confirmam a interpretação de Moore (ver Crocco-Rodrigues *et al.* 1992). No presente trabalho, a referida formação é também atribuída ao Grupo Nova Lima do Supergrupo Rio das Velhas.

O quartzito Cambotas, das serras do Tamanduá e Cambotas, na base do Grupo Tamanduá, é correlacionado ao Supergrupo Espinhaço (Crocco-Rodrigues *et al.* 1992; Freitas *et al.* 1992), enquanto seu equivalente na serra do Caraça é correlacionado aos quartzitos da Formação Moeda (Ribeiro-Rodrigues & Chemale Jr. 1992). Estas correlações são aceitas no presente trabalho, com os quartzitos das serras das Cambotas e Tamanduá sendo admitidas como Formação Cambotas do Supergrupo Espinhaço e os quartzitos da serra do Caraça sendo incluídos na Formação Moeda do Grupo Caraça, unidade basal do Supergrupo Minas.

Os quartzitos da serra do Ouro Branco foram originalmente cartografados como Grupo Caraça por Johnson (1955), como provável parte do Grupo Maquiné por Barbosa (1969). Foram correlacionados ao Grupo Tamanduá por Dorr (1969) e atribuídos ao Grupo Itacolomi por Alkmim (1985), o que é adotado na presente contribuição.

No extremo sul/sudoeste do QF, nas quadrículas Casa de Pedra e São Julião (mapa geológico Casa de Pedra), e Jeceaba e Congonhas (mapa geológico Congonhas), Guild *et al.* (s.d.) cartografaram as litologias da então Série Minas como unidades informais, denominando-as de grupos Inferior, Médio e Superior. Estas três unidades têm correlação evidente, respectivamente, com os grupos Caraça, Itabira e Piracicaba da estratigrafia formal, definida posteriormente pela equipe USGS/DNPM.

Grupo Caraça

Está indiviso apenas nas regiões da serra do Curral (em seu extremo oeste e ao norte do município de Raposos), na região de Mariana, em torno da serra do Caraça e nas quadrículas Itabira (mapa geológico Itabira), Monlevade e Rio Piracicaba (mapa geológico João Monlevade); nas demais áreas subdivide-se nas formações Moeda e Batatal. Nos flancos do Sinclinal Moeda, a Formação Moeda está dividida, a partir da base, nas unidades m1 (quartzito), m2 (filito) e m3 (quartzito). Devido à falta de clareza nas relações estratigráficas entre estas três unidades e à dificuldade de correlação com outras áreas, apenas uma unidade de quartzito é mantida, com um membro filítico intercalado. A Formação Batatal, no topo do grupo, constitui-se de filito.

O Grupo Inferior foi cartografado por Guild *et al.* (s.d.) nas quadrículas Casa de Pedra, São Julião e Jeceaba, subdividido em uma unidade basal de quartzitos e outra superior de xistos e filitos, e é correlacionado ao Grupo Caraça. Suas unidades basal e superior são identificadas, respectivamente, com as formações Moeda e Batatal, que foram cartografadas posteriormente na quadrícula Marinho da Serra, imediatamente ao norte, e com as quais têm continuidade física.

Grupo Itabira

O Grupo Itabira é indiviso apenas nas áreas dos sinclinais Ouro Fino e Alegria, borda leste da serra do Caraça; na região de Mariana; e na quadrícula de Itabira. Encontra-se subdividido como formações Cauê e Gandarela no restante da área. Nas quadrículas Monlevade e Rio Piracicaba (mapa geológico João Monlevade), onde as paragêneses minerais indicam metamorfismo em fácies anfíbolito, o membro Sítio Largo está individualizado, sendo constituído de anfíbolitos, como parte integrante do grupo. Na articulação das quadrículas Belo Horizonte e Nova Lima (mapa Belo Horizonte), o contato entre as formações Cauê e Gandarela é interpretado, uma vez que na quadrícula Nova Lima a área de ocorrência do Grupo Itabira foi mapeada apenas como Formação Cauê em toda a sua extensão. Entretanto, a ocorrência de itabirito dolomítico e dolomitos, junto ao limite com a quadrícula Belo Horizonte (no mapa homônimo), e a sugestão dos presentes autores quanto à possibilidade de uma parte da Formação Gandarela ser incluída junto a este limite consolidaram o acerto da subdivisão do grupo nas duas formações conforme a quadrícula Belo Horizonte.

No setor sudoeste do QF, o Grupo Médio de Guild *et al.* (s.d.), cartografado nas quadrículas Casa de Pedra e São Julião (mapa geológico Casa de Pedra), acha-se subdividido em uma unidade basal de itabiritos e outra superior de dolomitos, identificadas, respectivamente, com as formações Cauê e Gandarela e correlacionadas, portanto, com o Grupo Itabira. A unidade dolomítica tem continuidade física com a Formação Gandarela, cartografada posteriormente na quadrícula Marinho da Serra, imediatamente ao norte.

No extremo norte da quadrícula São Julião, na articulação com a quadrícula Bação (mapa geológico Casa de Pedra), filitos com intercalações de itabiritos, e que foram incluídos por Guild *et al.* (s.d.) em seu Grupo Superior da “Série Minas”, acham-se interpretados como equivalentes à Formação Gandarela. Por outro lado, Dorr (1969) relaciona estas rochas ao Grupo Itabira.

Grupo Piracicaba

Indiviso nas regiões de Itabira, sul da serra do Caraça e extremo sudoeste do QF. Nesta última região foi cartografado informalmente por Guild *et al.* (s.d.) como Grupo Superior da “Série Minas” (quadrículas Casa de Pedra, São Julião e Jeceaba). Nas demais áreas está subdividido, a partir da base, nas formações Cercadinho, Fêcho do Funil, Taboões e Barreiro.

Nas quadrículas Monlevade e Rio Piracicaba (mapa geológico João Monlevade), as rochas estão metamorfasadas em condições de fácies anfíbolito. As unidades estratigráficas correlacionadas com o Grupo Piracicaba acham-se reunidas na Formação Elefante (Reeves & Cobra, 1965), que é constituída de quartzito, xisto e gnaisses. A Formação Elefante contém os membros Pantame (quartzito e quartzo-mica xisto), correlacionado com a Formação Cercadinho, e gnaissse Bicas (biotita-quartzo gnaissse) que é possivelmente equivalente da Formação Barreiro ou Fêcho do Funil, ou ambas (Dorr 1969). Na região de Monlevade, Padilha *et al.* (2000) incluem os gnaisses do membro Bicas em sua Suíte Borrachudos. Devido à falta de consistência nestas correlações, o presente trabalho preserva apenas a denominação Grupo Piracicaba indiviso para estas rochas, distinguindo-as apenas litologicamente em seus locais de ocorrência e suprimindo os nomes de *formação* e *membros* da estratigrafia original proposta por Reeves & Cobra (1965).

Formação Cercadinho

A Formação Cercadinho é composta por filito, quartzito e quartzito ferruginoso. Parte do Grupo Superior de Guild *et al.* (s.d.) está incluído nesta formação e esta foi individualizada com o auxílio de imagem de satélite e fotografias aéreas, considerando a associação litológica de filitos com abundantes intercalações de quartzitos, o que é uma característica desta formação, e a sua extensão para as quadrículas contíguas (Marinho da Serra e Bação do mapa Casa de Pedra, a noroeste; e Dom Bosco/Ouro Branco do mapa Ouro Preto, a leste), onde foi cartografada.

Formação Fêcho do Funil

É constituída na localidade-tipo por filito dolomítico, dolomito argiloso, dolomito silicoso e filito; siltito e lentes de dolomito impuro também ocorrem. Transiciona para a Formação Cercadinho sotoposta e para o quartzito Taboões sobrejacente. Embora presente nas quadrículas Casa de Pedra e São Julião (mapa Casa de Pedra), a Formação Fêcho do Funil

não está individualizada nas mesmas, pois à época de seu mapeamento ainda não tinham sido definidas e nomeadas as formações que compõem o Grupo Piracicaba. Posteriormente, a formação foi cartografada nas quadrículas Marinho da Serra e Bação (mapa Casa de Pedra), ao norte. Com base na sua ocorrência nessas quadrículas e com o auxílio de imagem de satélite e fotografias aéreas, a formação foi foto-interpretada e estendida para as quadrículas Casa de Pedra e São Julião. Na quadrícula Dom Bosco (mapa Ouro Preto), a formação não foi mapeada devido à pobreza das exposições (Dorr 1969).

Formação Taboões

É constituída de ortoquartzito fino, maciço e equigranular. Grada para as formações Fêcho do Funil e Barreiro, respectivamente sub-e sobrejacentes. Ocorre apenas ao longo da serra do Curral, nas quadrículas Belo Horizonte (mapa Belo Horizonte), Macacos (mapa Itabirito), Ibirité e Fêcho do Funil (mapa Brumadinho), Igarapé e Serra Azul/Itatiaiuçu (mapa Igarapé) e no Sinclinal Moeda (quadrícula Lagoa Grande, mapa Itabirito).

Formação Barreiro

Predomina filito róseo a cinza claro e filito carbonoso. Ocorre ao longo da serra do Curral, no Sinclinal Moeda e no extremo este-sudeste do QF (Sinclinal Dom Bosco, Anticlinal Mariana e ao sul da serra do Caraça). É estruturalmente concordante com o Grupo Sabará e, em algumas áreas, o contato é gradacional enquanto em outras é marcado por uma discordância erosiva (Dorr 1969).

Grupo Sabará

O Grupo Sabará era originalmente conhecido como Formação Sabará, topo do Grupo Piracicaba (Dorr 1969), tendo sido redefinido como Grupo Sabará por Renger *et al.* (1994). É uma seqüência metavulcanossedimentar, constituída de mica xisto e clorita xisto com intercalações de metagrauvaca, quartzito, quartzito feldspático, quartzito ferruginoso, formação ferrífera e metaconglomerado. Ocorre ao longo da serra do Curral e na extremidade este-sudeste do QF. Seu limite superior é uma superfície de erosão e o inferior sobrepõe-se diretamente às formações Barreiro, Taboões e Fêcho do Funil em lugares distintos. Estruturalmente o grupo é concordante com estas formações; não é certo se suas relações se devem a não-deposição ou erosão pré-Sabará. Este contato parece ser transicional em algumas partes, mas brusco e com significativa erosão pré-Sabará em outras (Dorr 1969).

Grupo Itacolomi

Inclui o quartzito Itacolomi da Série Minas de Harder & Chamberlin (1915) e que foi redefinido como Série Itacolomi (Guimarães 1931). Dorr (1969) considera a Série Itacolomi como constituída de duas fácies, uma de quartzito e outra com muito filito. O autor se refere à fácies quartzítica como *tipo-Itacolomi* e à filítica *fácies Santo Antônio*. Neste projeto, a fácies quartzítica é denominada Grupo Itacolomi indiviso e a filítica Formação Santo Antônio.

No *Grupo Itacolomi* indiviso predominam quartzito com *grit* associado e lentes de conglomerado polimítico e de filito.

A *Formação Santo Antônio* consiste de quartzito sericítico, com espessos layers e lentes de conglomerado polimítico e filito. Nas quadrículas Casa de Pedra (mapa Casa de Pedra) e Santa Rita Durão (mapa Catas Altas), quartzito ferruginoso bandado se assemelha a itabirito. A maior área de exposição da formação é nas quadrículas Santa Rita Durão (mapa Catas Altas) e Capanema (mapa Gandarela).

As relações sedimentares entre as duas fácies são desconhecidas. Entretanto, Dorr (1969) acredita serem, pelo menos em parte, contemporâneos, baseado nos tipos de sedimentação e na gradação lateral de quartzitos para filitos a partir da localidade-tipo, o Pico do Itacolomi, para leste.

O Grupo Itacolomi na localidade-tipo está em discordância angular sobre o Grupo Sabará e as formações Barreiro e Fêcho do Funil do Supergrupo Minas (Dorr 1969).

SUPERGRUPO ESPINHAÇO

Rochas do Supergrupo Espinhaço são pertencentes à *Formação Cambotas*, que inclui os quartzitos das serras das Cambotas e Tamanduá, originalmente pertencentes ao Grupo Tamanduá (Simmons & Maxwell 1961; Dorr 1969; Maxwell 1972). Os quartzitos são atribuídos ao Supergrupo Espinhaço segundo proposta de Crocco-Rodrigues *et al.* (1992) e Freitas *et al.* (1992).

COBERTURAS RECENTES

Sedimentos cenozóicos são comuns na região do QF, preenchendo pequenas bacias tectonicamente controladas, de ampla distribuição geográfica. Estão representados desde o Paleógeno até os sedimentos neogênicos mais atuais.

Mudstone (Ems)

São pequenos depósitos de argila, cartografados apenas no flanco sul da serra do Curral a leste de Belo Horizonte (quadrícula Nova Lima), e no extremo sul do QF na parte central da quadrícula Dom Bosco-Ouro Branco. Embora originalmente a idade atribuída a estes sedimentos tenha sido terciário-quadernária, ou do período Neógeno, plioceno-pleistoceno na nomenclatura atual, neste trabalho estão posicionados no período Paleógeno, conforme sugestão de Dorr (1969) que os considera como depósitos do início da era cenozóica, ou mesmo mais antigos. São argilas lateritizadas, não plásticas e sem estratificação, com alto teor em titânio e localmente com um conglomerado basal.

Chapadas de canga (Eca)

São depósitos elúvio-colúviais cenozóicos, referidos ao período Paleógeno (Dorr 1969), ocorrendo principalmente no setor ocidental do QF. São chapadas de canga constituindo capeamento limonítico, contendo seixos, calhaus e matações de formação ferrífera e, localmente, de hematita. Canga rica e depósitos de talus ricos em hematita são variedades de alto teor com calhaus de hematita, soltos ou cimentados. Ocorrem ao longo das serras do Curral, Moeda e Itabirito, no setor leste do QF; nas serras do Piacó e da Água Limpa (extremidade oeste do Sinclinal Gandarela); na serra Lagoa Sêca (Sinclinal Ouro Fino); e na região montanhosa nos arredores de Ouro Preto e Mariana.

Sedimentos lacustres (E23sl)

Estão cartografados na Lagoa do Miguelão (quadrícula Macacos no mapa Itabirito); na parte central da quadrícula Gandarela (mapa Gandarela); no extremo leste do QF, nas quadrículas Catas Altas e Santa Rita Durão (mapa Catas Altas), onde recebem o nome de Formação Fonseca. Outros depósitos menores, não cartografados, estão distribuídos por todo o QF. São arenitos e argilitos, contendo folhas fósseis. Na bacia de Fonseca, a formação homônima constitui-se de sedimentos lacustres e fluviais, contendo conglomerado, arenito, siltito e argilito com algumas camadas de sublinhito. São sedimentos depositados no início do período Paleógeno no intervalo Eoceno-Oligoceno (Maizatto 2001).

Coberturas detrito-lateríticas (ENdl, ENcf)

Dois tipos de coberturas estão cartografados nas porções nordeste e noroeste do QF, relacionadas a alterações supergênicas sobre xistos do Grupo Nova Lima, atribuídas ao intervalo de transição Paleógeno-Neógeno por Silva & Monteiro (2004). Os autores descrevem estas coberturas como: (1) Concentrações supergênicas de óxidos de ferro e

concreções ferruginosas preenchendo fraturas e; (2) Cobertura detrito-laterítica, na forma de solo laterítico residual, material areno-argiloso, concreções ferruginosas e fragmentos de quartzo.

Sedimentos flúvio-lacustres (N12al)

Sob esta denominação estão reunidos pequenos depósitos aluviais de argila, cascalho fluviais em terraços e sedimentos lacustres e de enchimento de vales. Depósitos de bauxita associados estão cartografados apenas na região de Vargem dos Óculos na quadrícula Macacos. Pequenos depósitos de argila são comuns em todo o lado ocidental do QF, mas também estão assinalados na porção leste do QF, na quadrícula Santa Bárbara. Depósitos de cascalhos fluviais são também de ocorrência restrita e estão cartografados apenas no lado ocidental. A maior área mapeada de sedimentos aluviais lacustres e de enchimento de vales está na quadrícula Macacos. É atribuída idade mioceno-pleistocênica a estes já que suas bacias de deposição são relacionadas ao tectonismo cenozóico Sul-Atlântico (Endo 1997), com sedimentação se estendendo do Mioceno ao Plioceno (Lipski 2001).

Sedimentos plio-pleistocênicos (N23al, el, co, dl, ca)

Ocorrências de sedimentos cenozóicos, neogênicos e pliocênico-pleistocênicos incluem depósitos aluvionares, eluvionares e coluvionares, cartografados em áreas muito restritas, com os primeiros restringindo-se ao setor nordeste do QF.

Coberturas detrito-lateríticas são individualizadas no extremo leste do QF, na quadrícula Santa Rita Durão, sendo constituídas de areia e argila, com níveis de cascalho, em parte limonitizadas. Coberturas de canga também ocorrem nesta região, predominando na parte oriental do QF, sobre os sedimentos da Formação Fonseca e nos flancos do Sinclinal Gandarela, junto à cidade de Barão de Cocais.

Sedimentos pleistoceno-holocênicos (N34al, co, dl)

São representados por depósitos aluvionares de areia, argila e cascalho ao longo dos rios principais e distribuídos por toda a área do QF. Depósitos coluviais estão cartografados principalmente nas porções leste e nordeste; coberturas lateríticas mais expressivas estão mapeadas no extremo sul-sudoeste do QF.

3.2. GEOLOGIA ESTRUTURAL

Evolução do Conhecimento

De acordo com Dorr (1969), três importantes períodos de deformação ocorreram na região do QF, o primeiro anterior à deposição da “Série” Minas, o segundo pós-Minas e pré-Itacolomi e o terceiro pós sedimentação da “Série” Itacolomi.

A deformação mais antiga se traduz em dobramento das rochas da “Série” Rio das Velhas antes da deposição dos sedimentos da “Série” Minas, pois estas rochas repousam com profunda discordância angular sobre aquelas. Segundo o autor, esta deformação foi mais forte no setor oeste da área. Evidências desta discordância podem ser vistas no lado ocidental, na extremidade oeste e porção central da serra do Curral, na serra da Moeda e na serra de Itabirito ao longo da qual dobras com centenas de metros de amplitude e eixos de direção leste, no Grupo Nova Lima, são truncados pela direção geral norte-noroeste dos quartzitos basais do Grupo Caraça. No lado oriental, a discordância é visível no extremo noroeste da quadrícula Gandarela e mais para leste na quadrícula Santa Bárbara. Dorr (1969) também registra a discordância nos distritos João Monlevade e Itabira.

A deformação pós-Minas teria provocado apenas o arqueamento e soerguimento da “Série” Minas antes da sedimentação da “Série” Itacolomi. Segundo o autor, a discordância angular é de no máximo 20 graus entre as rochas metassedimentares Itacolomi e as formações do grupo Piracicaba subjacente, representando apenas um diastrofismo moderado em vez de orogenia.

A deformação mais recente, a “orogenia pós-Itacolomi”, com transporte tectônico proveniente de leste e sudeste, gerou dobras seguidas de falhas de empurrão e posteriormente falhas normais, com dobras predominando nas partes central e ocidental, e falhas do lado oriental. A maioria das dobras sinclinais é invertida para oeste e são separadas por amplos domos que teriam atuado como contra-fortes que bloquearam o transporte de massa.

Nas últimas décadas, várias interpretações têm sido propostas para explicar a evolução tectônica da área.

- Ladeira & Viveiros (1984) identificam seis eventos deformativos, o mais antigo reconhecido apenas no Grupo Nova Lima e os demais afetando também as unidades proterozóicas superpostas.

- Quade (1985) interpreta a evolução tectônica da área em quatro eventos.
- Belo de Oliveira (1986) e Belo de Oliveira & Vieira (1987) defendem evento deformacional único, compressional, dúctil e progressivo para o QF, relacionado ao Ciclo Brasileiro.
- Marshak & Alkmim (1989) propõem uma evolução proterozóica policíclica e polifásica para a região meridional do Cráton do São Francisco (incluindo o QF), envolvendo quatro eventos representados por encurtamentos crustais nos ciclos Transamazônico e Uruaçuano, seguidos de uma fase extensional com intrusão de diques máficos e, finalmente, nova fase compressional de falhas de empurrão e dobras NS, do Ciclo Brasileiro.
- Chemale Jr. *et al.* (1991) atribuem a formação de megassinclinais como Santa Rita, serra do Curral e Dom Bosco e o soerguimento dos complexos Santa Rita, Bonfim, Bação, Belo Horizonte e Caeté a uma extensão crustal transamazônica.
- Hippertt *et al.* (1992) e Endo & Nalini Jr. (1992) também descrevem estruturas extensionais pré-brasileiras na borda oeste do QF.
- Chemale Jr. & Rosière (1993) atribuem a morfologia em domo-e-bacia do QF a esta tectônica extensional transamazônica.
- Alkmim *et al.* (1994) defendem uma fase compressiva inicial transamazônica pré-extensão.
- Corrêa Neto & Baltazar (1995) descrevem três eventos deformacionais para o Supergrupo Rio das Velhas. O mais antigo, compressional e do Arqueano; o segundo extensional, do Transamazônico e relacionado à ascensão de *core-complexes*; e o mais jovem, compressional, brasileiro.
- Marshak *et al.* (1997) atribuem a estruturação em domo-e-bacia ao final do Evento Transamazônico.
- Alkmim & Marshak (1998) sugerem um evento contracional transamazônico seguido por um colapso orogênico, consistindo de empurrões com vergências para noroeste e o desenvolvimento posterior de estruturas em domo-e-bacia.
- O Projeto Rio das Velhas (DNPM/CPRM) descreve três eventos deformacionais a partir da análise dos dados estruturais levantados no *greenstone belt* Rio das Velhas (Zucchetti & Baltazar 2000): D1, compressional, com transporte tectônico de norte para sul, exclusivo da seqüência Rio das Velhas e seu embasamento granítico, portanto

arqueano em idade, gerando falhas de empurrão e dobras com vergências para sul e sudoeste; D2, extensional, responsável pela colocação de granitos intrusivos como o Complexo Bação, de idade transamazônica e; D3, compressional, com transporte tectônico de leste para oeste, responsável pelo cinturão de dobras-falhas de direção geral norte-sul, atribuído ao Ciclo Brasileiro.

- Evidências de tectônica Cenozóica no Quadrilátero Ferrífero têm sido observadas por vários autores, em pequenos depósitos sedimentares (Saadi, 1991; Saadi *et al.* 1992; Maizatto *et al.*, 1993; Maizatto, 1997; Lipsky *et al.*, 2001). Maizatto (1997, 2001) e Maizatto & Castro (1993) assinalam a ocorrência de falhas normais sin-deposicionais, com orientações WNW-ESSE, afetando a seqüência sedimentar cenozóica da bacia do Gandarela. Lipsky (2001) descreve grandes lineamentos estruturais de mesma direção no Quadrilátero Ferrífero. Maizatto *et al.* (1993) descrevem três tipos de estruturas rúpteis no depósito “terciário” (paleógeno/neógeno) de Gongo Sôco, representados por fraturas, falhas normais e falhas reversas, sin- e pós-deposicionais. Lipsky *et al.* (2001) descrevem intensa deformação, com falhas normais, reversas e transcorrentes cortando os sedimentos Cenozóicos do Quadrilátero Ferrífero. Estes autores individualizam três eventos deformacionais com campos de tensão distintos: um primeiro evento, extensional, com orientação NNE-SSW, associado à fase de sedimentação eocênica observada por Maizatto (1997) na bacia do Gandarela; um segundo evento compressivo segundo NW-SE, por vezes direcional, causando inversão de depósitos e, finalmente; um terceiro representando um relaxamento das estruturas do evento anterior, com tendência de extensão E-W.

Principais Estruturas

Em sua macroestrutura, o QF tem geometria definida por megadobras sinformes e antiformes, truncadas por cinturões de falhas de empurrão, de direções norte-sul, na sua parte oriental. As primeiras estruturas estabelecem seus limites norte, sul, oeste e leste, representados, respectivamente, pelo homoclinal da serra do Curral, e sinclinais Dom Bosco, Moeda e Santa Rita. A leste, além do Sinclinal Santa Rita, os sinclinais Gandarela, Ouro Fino e Conta História dispõem-se segundo amplo arco de direção norte-sul, segmentados pelos cinturões de falhas de empurrão atribuídas ao Ciclo Tectônico Brasileiro. Evidências de uma deformação transamazônica, representadas por cinturão de dobras-falhas de direção nordeste-sudoeste e vergência para noroeste, também estão presentes na parte

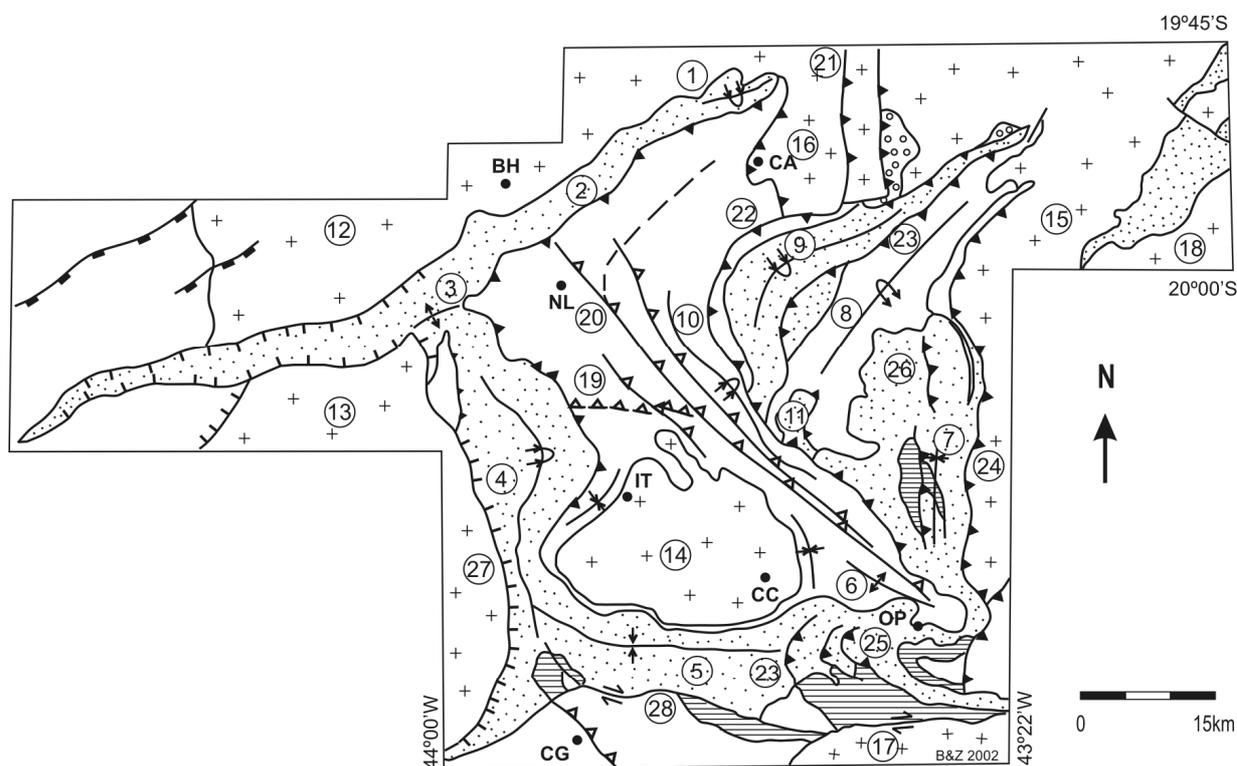
ocidental do QF. Ainda nesta porção, dobras e falhas de empurrão, de direção noroeste-sudeste e vergência para sudoeste, são atribuídas a uma tectônica Arqueana (Figura 12).

Dobras

Os sinclinais Piedade (extremo nordeste da serra do Curral), Dom Bosco, Moeda, Santa Rita, Gandarela, Ouro Fino e Conta História são todos moldados nas rochas metassedimentares do Supergrupo Minas. Justapostos aos sinclinais orientais encontram-se o Sinclinal Vargem do Lima e o Anticlinal Mariana, o primeiro conformado por litótipos do Supergrupo Rio das Velhas e este por aquelas rochas e pelo Supergrupo Minas, sendo reconhecido como Arqueamento Rio das Velhas em sua extensão setentrional (Figura 12). O Sinclinal Santa Rita é uma das dobras mais complexas do QF, com traço axial norte-sul de difícil localização devido à sua segmentação por falhas de empurrão de direção norte-sul. Tem o flanco leste fortemente invertido para oeste nas quadrículas Antônio Pereira e Santa Rita Durão (Dorr 1969). Dobras superpostas e falhas transversais de *trend* NW cortam o sinclinal tornando-o uma estrutura ainda mais complexa (Dorr 1969). O Sinclinal Dom Bosco, ao sul do Complexo Bação, com eixo de direção este-oeste, se estende da junção com o Sinclinal Moeda até o Anticlinal Mariana a leste com o qual compartilha seu flanco norte. O sinclinal pode ser dividido em duas partes: uma oriental caracterizada por uma série de falhas de empurrão e de rasgamento; e uma parte ocidental em que as falhas de rasgamento são mais importantes (Dorr 1969). Nas partes leste, oeste e central da estrutura, os estratos são geralmente verticais, com inversão local da dobra, para sul, na parte ocidental (Dorr 1969). O Sinclinal Ouro Fino localiza-se no setor oriental do QF (quadrículas Capanema e Rio de Pedras), ao sul do Sinclinal Gandarela. Tem eixo com direção geral norte-sul e flanco leste invertido. Seu traço axial tem forma de arco com direção NNE ao norte e NNW ao sul. De acordo com Dorr (1969) é uma estrutura redobrada, com o redobrimento controlado pela falha do Fundão, a qual limita a estrutura à oeste e noroeste. O sinclinal teria orientação original para NW, com redobrimento de sua terminação norte no sentido NE por efeito do movimento de empurrão da Falha do Fundão. Para Chemale Jr. *et al* (1994) o sinclinal redobrado é resultado da superposição da tectônica de empurrões relacionada ao desenvolvimento do sistema Fundão-Cambotas, sobre os estratos dobrados do Supergrupo Minas. Entretanto, Franco & Endo (2004) redefinem a estrutura de Ouro Fino como uma dobra sinclinal reclinada, com caimento de eixo moderado para ESE, com modelo evolutivo em quatro estágios: (1) dobramento isoclinal seguido de redobrimento coaxial; (2) seccionamento do sinclinal pelo sistema de falhas do Fundão; (3) redobrimento do sinclinal

por compressão N-S, resultando nas direções axiais E-W, dando a feição em bumerangue;

(4) geração de estruturas N-S, com crenulações e mesodobras de eixos N-S. O Sinclinal Gandarela é descrito por Dorr (1969) como uma dobra aberta e normal em sua porção oeste e isoclinal e invertida para noroeste, em sua porção leste, configurando dois estilos estruturais distintos, com caimentos de eixos para NE na sua extremidade ocidental e caimento para SW na sua terminação oriental. Para Chemale Jr. *et al.* (1994) o Sinclinal Gandarela é uma estrutura alóctone, invertida, vergente para NW, com os estratos do Supergrupo Minas dobrados em torno de um eixo NE-SW. O modelo evolutivo proposto para o sinclinal por Endo *et al.* (2004) inicia-se no evento Transamazônico com a geração de uma dobra recumbente regional, com o Supergrupo Rio das Velhas em seu núcleo, tendo seu flanco inverso redobrado coaxialmente, formando o Sinclinal Gandarela, uma dobra recumbente com o Supergrupo Minas em seu núcleo. A dobra é, portanto, um sinclinal antifórmico que adquiriu uma conformação de dobra reclinada, com eixo de caimento em torno de 35° para ESE, durante o evento Brasileiro, por efeito de uma sucessão de dobramentos e falhas que afetou principalmente seu segmento oriental. O Sinclinal Moeda, bordeja o limite oeste do Quadrilátero Ferrífero, tendo estrutura geral simples, porém com muitas dobras transversais internas na sua área central (Dorr 1969). O sinclinal pode ser traçado por cerca de 40 km para sul a partir da serra do Curral, até a sua junção com o Sinclinal Dom Bosco. Tem eixo de direção norte-sul, fechamento para norte e flanco oriental invertido. O flanco oeste, conhecido como serra da Moeda, mergulha regularmente para E com 30°- 40°, enquanto seu flanco leste, conhecido como serra do Itabirito é muito mais complexo, cortado por muitas falhas transversais e transversalmente redobrado sendo, por grande extensão, quase vertical ou invertido para oeste. A estrutura homoclinal da Serra do Curral, em sua junção com o Sinclinal Moeda foi interpretada por Pires (1979), Pires *et al.* (1993) e Alkmim & Marshak (1998) como o flanco invertido de um anticlinal recumbente, com eixo de direção NE-SW e vergente para NW. O Anticlinal Mariana é uma dobra aberta, com fechamento e caimento de eixo para sudeste, abrindo-se para noroeste onde se une ao Soerguimento Rio das Velhas. É uma dobra aberta, normal, com caimento de eixo suave para SE (Nalini Jr. *et al.* 1992).



LEGENDA

	Supergrupo Espinhaço		Falhas de empurrão arqueanas
	Grupo Itacolomi		Falhas de empurrão e extensional transamazônicas
	Supergrupo Minas		Falhas de empurrão brasileiras
	Supergrupo Rio das Velhas		Falha transcorrente
	Complexos Granito-gnáissicos		Anticlinal, anticlinal invertido
			Sinclinal, sinclinal invertido

Figura 12 - Mapa das principais feições estruturais do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Baltazar e Zucchetti 2004). Dobras: 1 - Sinclinal Piedade, 2 - Homoclinal Serra do Curral, 3 - Anticlinal da Serra do Curral, 4 - Sinclinal Moeda, 5 - Sinclinal Dom Bosco, 6 - Anticlinal de Mariana, 7 - Sinclinal Santa Rita, 8 - Anticlinal Conceição, 9 - Sinclinal Gandarela, 10 - Sinclinal Vargem do Lima, 11 - Sinclinal Ouro Fino. Complexos granito-gnáissicos: 12 - Belo Horizonte, 13 - Bonfim, 14 - Bação, 15 - Santa Bárbara, 16 - Caeté, 17 - Santo Antônio do Pirapetinga, 18 - Mantiqueira. Falhas: 19 - Bem-Te-Vi, 20 - São Vicente, 21 - Sistema de Empurrões Córrego do Garimpo, 22 - Falha das Cambotas, 23 - Fundão, 24 - Água Quente, 25 - Sistema de empurrões do sinclinal Dom Bosco, 26 - Sistema de empurrões da serra do Caraça, 27 - Zona de cisalhamento extensional Moeda-Bonfim, 28 - Falha transcorrente do Engenho. Cidades: BH - Belo Horizonte, CC - Cachoeira do Campo, IT - Itabirito, NL - Nova Lima, CA - Caeté, CG - Congonhas, OP - Ouro Preto.

Falhas compressionais

Predominam no setor oriental do QF, destacando-se os sistemas de cisalhamento Fundão-Cambotas e Córrego do Garimpo e de falha de empurrão Sinclinal Dom Bosco e serra do Caraça (Figura 12).

SISTEMA DE CISALHAMENTO FUNDÃO-CAMBOTAS

Representa uma frente de empurrões e dobras compreendida pelas falhas do Fundão (Dorr II 1969) e das Cambotas (Crocco-Rodrigues *et al.* 1989), que se articulam ao sul do Sinclinal Gandarela (Chemale Jr. *et al.* 1994), com diversas escamas de empurrão imbricadas delimitadas pelas falhas de Ouro Fino, da Flechas, Alegria, Frazão e Água Quente (Endo & Fonseca 1992). São zonas de cisalhamento de empurrão, de direção geral norte-sul, com vetor de transporte tectônico orientado de leste para oeste.

SISTEMA DE CAVALGAMENTO CÓRREGO DO GARIMPO

São falhas de empurrão e dobras associadas, com direções norte-sul e vergência oeste, observadas na seqüência quartzítica da serra das Cambotas e nos granitos do Complexo Caeté, posicionando este por sobre o Grupo Nova Lima (Crocco-Rodrigues *et al.* 1989).

SISTEMA DE FALHAS DE EMPURRÃO DO SINCLINAL DOM BOSCO

Segundo Dorr (1969) o Sistema de Falhas Dom Bosco começa no extremo este do sinclinal com uma falha de empurrão de grande deslocamento superpondo o Grupo Nova Lima ao Grupo Itacolomi, com sua extensão para norte sendo denominada de Falha da Água Quente. No seu extremo norte esta falha, com extensão de cerca de 50 km, desaparece nas rochas do Grupo Nova Lima. Ribeiro & Alkmim (1997), descrevem o sistema de falhas Dom Bosco como um sistema de empurrões nucleado no interior da dobra pré-existente, com traços extremamente curvos e assimétricos, rampas laterais muito extensas com as do sul mais desenvolvidas que as do norte. Os indicadores cinemáticos apontam movimento de ESE para WNW.

SISTEMA DE FALHAS DE EMPURRÃO DA SERRA DO CARAÇA

É um sistema de empurrões descrito por Dorr (1969) no interior da Serra do Caraça como um intrincado sistema de falhas de empurrão com direção geral norte-sul, mergulhando com ângulos de 30° a 50° para este. Segundo Ribeiro Rodrigues *et al.* (1993) o Sistema de Falhas do Caraça, um segmento do Sistema de Falhas Fundão-Cambotas, é caracterizado por uma intensa tectônica compressiva. Teve seu desenvolvimento controlado por altos e

baixos estruturais que funcionaram como anteparos limitando e canalizando seu movimento de massa. Estruturas pré-existentes, como falhas de direção leste-oeste e zonas de contato litológico, reativados e/ou rotacionados, também controlaram sua evolução. A estrutura geral corresponde a um típico sistema de falhas com rampas frontais, laterais e oblíquas, formado durante o evento Brasileiro, em regime compressivo e com vergência oeste.

Falhas extensionais

Ocorrem preferencialmente na metade ocidental do QF, nos contatos das seqüências supracrustais com os complexos de embasamento (Figura 12).

ZONA DE CISALHAMENTO MOEDA-BONFIM

É uma zona de cisalhamento extensional no contato do Complexo Bonfim com quartzitos da Formação Moeda, no flanco oeste do Sinclinal Moeda. Tem direção norte-sul, com cerca de 70-100 m de espessura e bloco baixo para leste (Endo & Nalini Jr. 1992; Hippertt *et al.* 1992). Hippertt (1995) afirma, entretanto, que esta zona de cisalhamento normal pode ser interpretada como resultado de deslizamento flexural dos estratos basais das seqüências supracrustais sem necessariamente retratar um ambiente tectônico distensional, e ainda que o dobramento e a inversão do Sinclinal Moeda podem ter ocorrido em um único evento tectônico, relacionado principalmente à ascensão e transporte para oeste do Complexo Bação.

Outras falhas extensionais ocorrem nas bordas ocidental e setentrional do Complexo Bonfim nos seus contatos, respectivamente com xistos do Grupo Nova Lima e quartzitos do Grupo Caraça. No extremo oeste da serra do Curral, o contato entre o Complexo Belo Horizonte e o Grupo Sabará é também por falha extensional (Chemale Jr. *et al.* 1994; Alkmim & Marshak 1998).

Falhas Transcorrentes

FALHA DO ENGENHO

A falha do Engenho foi definida por Guild (1957) como de caráter direcional. Situa-se no extremo sul do QF, bordejando o flanco meridional do Sinclinal Dom Bosco (Figura 12). Tem direção geral leste-oeste, com deslocamento direcional dextral de segmentos do Supergrupo Rio das Velhas, do Grupo Itacolomi e de complexos do embasamento (Chemale Jr. *et al.* 1994; Baltazar & Silva 1996).

Outras falhas menores ocorrem principalmente no setor ocidental do QF, com características de falhas direcionais de rasgamento (*tear faults*), com deslocamentos ora dextrais ora sinistrais, truncando rochas metassedimentares do Supergrupo Minas nos flancos do Sinclinal Moeda. Destacam-se as falhas das Abóboras, do Bonga, da Cata Branca e Sobradinho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim, F. F., 1985. Sedimentologische, Lithostratigraphische und Tektonische Untersuchungen in der serra de Ouro Branco. Minas Gerais, Brasilien. Tese de doutorado, TU Clausthal, Alemanha, 217 p.
- Alkmim, F. F., Jordt-Evangelista, H., Marshak, S., Brueckner, H., 1994. Manifestações do evento Trans-Amazonico no Quadrilátero Ferrífero, MG. 38º Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia, Camboriú, 75-76.
- Alkmim, F. F.; Amorim, L. Q.; Freitas, C. A.; Oliveira, F. M.; Barbosa, V. C.; Santos, G. J. I.; Cavalcanti, J. A. D.; Sousa, K.; Lanfranchi, R. A., 1996. Levantamento geológico da junção do sinclinal Moeda com o homoclinal da serra do Curral. Mapa geológico, 1:25.000. MBR/COPASA/UFOP.
- Alkmim, F. F. & Marshak, S., 1998. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco craton region, Minas Gerais: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research* 90: 29-58.
- Alves-Pereira, V. C., 2003. Metalogenia do ouro em formações ferríferas bandadas do *greenstone belt* Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, com base em sistemas de informações geográficas. Dissertação de mestrado. Departamento de Geologia, IGC-UFMG, 160 p.
- Baars, F. J.; Lobato, L. M.; Pereira V. C. A.; Achtschin, A. B.; Baltazar, O. F.; Fontes, C. R., 2004. Base de dados-modelo aplicada à metalogenia quantitativa de ouro, *greenstone belt* arqueano Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero. *In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, maio 2004, CD-ROM, ADIMB, Brasília.*
- Baltazar, O. F.; Raposo, F. O.; Mattos, G.M.M., 1993. PLGB - Folha Mariana em escala 1:100.000. DNPM/CPRM, Brasília.
- Baltazar, O. F. & Silva, S. L., 1996. Projeto Rio das Velhas. Mapa geológico integrado do Supergrupo Rio das Velhas, em escala 1:100.000. DNPM/CPRM, Brasília.
- Baltazar, O. F.; Achtschin, A. B.; Pereira, V. C. A.; Lobato, L. M.; Baars, F. J.; Ribeiro-Rodrigues, L. C., 2004. Metalogenia preditiva de ouro em formações ferríferas bandadas, *greenstone belt* arqueano Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, com uso de SIG. *In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, maio 2004, CD-ROM, ADIMB, Brasília.*
- Baltazar, O. F., Zucchetti, M., 2005. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*, no prelo.
- Barbosa, A.L.M. 1969. Mapa geológico das quadrículas de Ouro Preto e Santa Rita de Ouro Preto (escala 1:25.000), Minas Gerais, Brasil. U.S. Geological Survey, 1969. Washington D.C.
- Belo de Oliveira, O. A., 1986. As falhas de empurrão e suas implicações na estratigrafia e metalogênese do Quadrilátero Ferrífero. 34º Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia, Goiânia, 5-15.
- Belo de Oliveira, O. A. & Vieira, M. B. H., 1987. Aspectos da deformação dúctil e progressiva no Quadrilátero Ferrífero. IV Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Belo Horizonte, SBG, Núcleo Minas Gerais, 7: 237-253.

- Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Gonçalves, J. H.; Baars, F. J.; Delgado, I. M.; Abram, M. B.; Neto, R. L.; Matos, G. M. M.; Santos, J. O. S., 2002. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas- SIG e Mapas na Escala 1:2.500.000. CPRM, Brasília.
- Brandalise, L. A., 2000. PLGB- Folha Belo Horizonte em escala 1:100.000. DNPM/CPRM, Brasília.
- Chemale Jr, F., Rosière, C. A., Endo, I., 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: um modelo. Pesquisas 18(2): 104-127.
- Chemale Jr., F. & Rosière, C. A., 1993. Arquitetura de domo e bacia no Quadrilátero Ferrífero e suas implicações na deformação das formações ferríferas do Proterozóico Inferior. *In: IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, Belo Horizonte, SBG, Núcleo Minas Gerais, 12: 172-175
- Chamale Jr., F.; Rosière, C. A.; Endo, I., 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research* 65: 25-54.
- Corrêa Neto, A.V.; Baltazar, O.F., 1995. Compartimentação estrutural do Greenstone Belt Rio das Velhas no interior do Quadrilátero Ferrífero (MG). *V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, SBG, Gramado, p. 15-17.
- Costa, C.S.; Costa A.G.; Rosière, C.A.1992. Considerações preliminares sobre a ambiência magmática das rochas ultramáficas do Complexo Córrego dos Boiadeiros, Quadrilátero Ferrífero, MG. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37. São Paulo, 1992. Boletim de Resumos Expandidos. São Paulo, SBG, p.455-456.
- Crocco-Rodrigues, F. A.; Costa, A. F.; Souza, R. A. C.; Rosière, C. A., 1989. Sistemas de cavalgamento do nordeste do Quadrilátero Ferrífero. *In: Anais do 5º Simpósio de Geologia de Minas Gerais*. MG, SBG-MG, bol. 10: 06-10.
- Crocco-Rodrigues, F. A.; Ribeiro-Rodrigues, L. C.; Rosière, C. A., 1992. Análise crítica sobre a controvérsia do Grupo Tamanduá, Quadrilátero Ferrífero. *Anais 6º Simp. Geol. MG, Rev. Esc. Minas*, v. 45, n. 1/2: 47-48.
- Dorr II, J. v. N.; Gair, J. E.; Pomerene, J. B.; Rynearson, G. A., 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. Avulso 81. 31 p.
- Dorr II, J. v. N., 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS. Prof. Paper, 641-A, 110 pp, Washington.
- Endo, I. 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes, Minas Gerais. São Paulo, IGC-USP. Tese de Doutorado, 382 p.
- Endo, I. & Fonseca. M. A., 1992. Sistema de cisalhamento Fundão-Cambotas no Quadrilátero Ferrífero, MG: geometria e cinemática. *Anais 6º Simp. Geol. MG, Rev. Esc. Minas*, v. 45, n. 1/2: 28-31.
- Endo, I. & Nalini Jr., H. A., 1992. Geometria e cinemática das estruturas extensionais e compressionais na borda oeste do sinclinal Moeda, QF. *Anais 6º Simp. Geol. MG, Rev. Esc. Minas*, v. 45, n. 1/2 : 15-17.
- Endo, I.; Silva, L.G.; Zavaglia, G.; Rocha Fº, O.G.; Guimarães, M.L.V.; Rosas, C.F.; Lagoeiro, L.E.; Santos, G.J.L. 2004. Arcabouço Estrutural e Modelo Evolutivo do Sinclinal Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, MG. *Anais do XLII Congresso Brasileiro de Geologia*. Araxá, MG, CD-ROM.
- Franco, A.S.P.; Endo, I. 2004. Sinclinal Ouro Fino revisitado, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: uma hipótese sobre a sua origem e evolução. *Rev. Bras. Geoc.* 34(2):167-174.
- Freitas, M. E.; Crocco-Rodrigues, F. A.; Rosière, C. A., 1992. A correlação do quartzito Cambotas com a seqüência Espinhaço apoiada por mapeamento geológico em escala 1:10.000. *Anais 6º Simp. Geol. MG, Rev. Esc. Minas*, v. 45, n. 1/2: 51-53.
- Gair, J. E., 1962. Geology and ore deposit of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. U. S. Geological Survey Professional Paper, 341-A, 67 p.

- Guild, P. W., 1957. Geology and mineral resources of the Congonhas district, MG, Brazil. U.S. Geological Survey Paper 290, 1-89.
- Guild *et al.* (s.d.). Mapas geológicos das quadrículas Casa de Pedra, São Julião, Jeceaba e Congonhas, em escala 1:25.000. DNPM/USGS.
- Guimarães, D., 1931. Contribuição à geologia do estado de Minas Gerais. Boletim DNPM/SGMB, 55, 36p.
- Harder, E. C. & Chamberlain, R. T. A., 1915. The geology of central Minas Gerais, Brazil. *Journal of Geology*, 23(4):341-378, (5):385-424.
- Hippertt, J. F. M.; Borba, R. P.; Nalini Jr., H. A., 1992. O contato Formação Moeda-Complexo Bonfim: uma zona de cisalhamento normal na borda oeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. Anais 6º Simp. Geol. MG, Rev. Esc. Minas, v. 45, n. 1/2: 32-34.
- Hippertt, J.F.M. 1995. Significado dos movimentos normais na borda oeste do Sinclinal Moeda, Quadrilátero Ferrífero. Anais do 8º Simp. Geol. MG, SBG-Núcleo MG. Boletim 13: 130-131.
- Johnson, R.F. 1955. Mapa geológico das quadrículas de Dom Bocó e Ouro Branco (escala 1:25.000), Minas Gerais, Brasil. U.S. Geological Survey, 1955. Washington D.C.
- Ladeira, E. A., Viveiros, J. F. M., 1984. Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base nos dados disponíveis. Sociedade Brasileira de Geologia, Boletim Especial 4, Belo Horizonte, 1-14.
- Lipsky, M.; 2001. Tectonismo Cenozóico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Ouro Preto-MG. Departamento de Geologia, Escola de Minas, UFOP, Dissertação de Mestrado.
- Lipsky, M.; Endo, I.; Castro, P.T.A.; Trzaskos-Lipsky, B., 2001. Estudo do campo de tensões Cenozóico no Quadrilátero Ferrífero. VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, SBG. p 331-333.
- Lobato, L. M., Ribeiro-Rodrigues, L. C, Vieira, F. W. R., 2001. Brazil's premier gold Province. Part II: geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineralium Deposita*, 36, 249-277
- Loczy, L. & Ladeira, E. A., 1976. Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica. Edgard Blücher Ed. São Paulo, SP. 528 p.
- Maizatto, J.R. 2001. Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares. Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Tese de Doutorado, 249 p.
- Maizatto, J.R.; Castro, P.T.A.; Chiavegatto, J.R.S. 1993. Contribuição ao estudo dos depósitos sedimentares fanerozóicos do Gongo Sôco, Sinclinal do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, MG. IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, SBG-Núcleo MG, Boletim 12: 312-316.
- Maizatto, J.R.; Castro, P.T.A., 1993. Origem e evolução da bacia do Gandarela - Quadrilátero Ferrífero - MG. IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, SBG-Núcleo MG, Boletim 12: 325-329.
- Maizatto, J.R. 1997. Análise Paleoecológica e Bioestratigráfica dos Sedimentos da Bacia do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, com base nos Aspectos Palinológicos e Sedimentares. Departamento de Geologia, Escola de Minas, UFOP. Dissertação de Mestrado, 184 p.
- Marshak, S., Alkmim, F. F., 1989. Proterozoic contraction/extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. *Tectonics* 8, 555-571.
- Marshak, S., Tinkhan, M. D., Alkmim, F. F., Brueckner, H. K., Bornhorst, T., 1997. Dome-and-keel provinces formed during Paleoproterozoic orogenic collapse – core complexes, diapirs, or neither? Examples from Quadrilátero Ferrífero (Brazil) and the Penokean Orogen (USA). *Geology* 25, 415-418.
- Maxwell, C. H., 1972. Geology and ore deposits of the Alegria District, Brazil. USGS, Prof. Paper, 341-J, 43 p.

- Moore, S. L., 1969. Geology and ore deposits of Antônio dos Santos, Gongo Soco and Conceição do Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil. USGS, Prof. Paper, 341-I, 50 p.
- Nalini Jr., H. A., Rosière, C. A., Endo, I., 1992. Sobre a geologia estrutural do Anticlinal de Mariana, região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Uma revisão. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 45(1/2): 18-20.
- Noce, C. M., 2000. Geochronology of the Quadrilátero Ferrífero: a review. Geonomos 8(1): 15-23.
- O'Rourke, J. E., 1957. The stratigraphy of metamorphic rocks of the Rio de Pedras and Gandarela quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Ph.D. Thesis, University of Winsconsin. Winsconsin, 106 pp.
- O'Rourke, J. E., 1958. The stratigraphy of the metamorphic rocks of the Rio das Pedras and Gandarela Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Winsconsin, University of Winsconsin. Ph D. Thesis, 106 p.
- Padilha, A. V., 1984. Formação Córrego dos Boiadeiros - uma sequência komatiítica na base do Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: 33. Congresso Brasileiro de Geologia, Soc. Bras. Geol., Rio de Janeiro, 1984, ext. abstr. vol., 2668-2679.
- Padilha, A. V.; Vieira, V. S.; Bruno, E. M., 2000. PLGB- Folha Itabira em escala 1:100.000. DNPM/CPRM. Brasília.
- Pires, F.R.M. 1979. Structural Geology and Stratigraphy at the Junction of the Curral Anticline and the Moeda Syncline, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. PhD Thesis, Michigan Technological University, 220 p.
- Pires, F.R.M.; Guedes, S.C.; Raphael Cabral, A. 1993. A Estrutura Anticlinal Recumbente da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Anais do IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Soc. Bras. De Geol., Núcleo-MG, Bol. 12: 156-165.
- Quade, H., 1985. Deformation patterns of the Pre-cambrian Iron Quadrangle, Brazil. In: Int Conference on Tectonic and Structural Processes, Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht, pp 113-114
- Raposo, F. O., 1993. PLGB- Folha Rio Espera em escala 1:100.000. DNPM/CPRM. Brasília.
- 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: 1-11.
- Ribeiro, F. M.; Alkmim, F. F., 1997. O sistema de falhas de empurrão do Sinclinal de Dom Bosco, porção sul do Quadrilátero Ferrífero (MG), em modelagens físicas 3D. Anais do 9º Simpósio de Geologia de Minas Gerais-SBG Núcleo MG-Bol. 14: 74-76.
- Ribeiro-Rodrigues, L. C.; Chemale Jr. F., 1992. Relações de contato das rochas atribuídas ao Grupo Tamanduá na serra do Caraça, Quadrilátero Ferrífero-MG. Anais 6º Simp. Geol. MG, Rev. Esc. Minas, v. 45, n. 1/2: 49-50.
- Ribeiro-Rodrigues, L.C.; Chemale Jr., F.; Jost, H. 1993. O Sistema de Falhas do Caraça. Anais do IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Soc. Bras. Geol., Núcleo –MG, Boletim 12: 266-269.
- Saadi, A., 1991. Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais. Instituto de Geociências, UFMG< Belo Horizonte, Tese de Doutorado, 285 p.
- Saadi, A.; Sgarbi, G.N.C.; Rosière, C.A., 1992. A Bacia do Gongo Sôco, nova bacia terciária no Quadrilátero Ferrífero: Controle cárstico e/ou tectônico. 37o Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo.
- Schorscher, H. D., 1979. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento Arqueano do Quadrilátero Ferrífero. Anais Acad. Bras. Ciências, 51 (4): 767-768.
- Silva, S. L. & Monteiro. E. A., 2004. Projeto APA Sul RMBH. Mapa geológico em escala 1:50.000. CPRM. Belo Horizonte.
- Simmons, G. G., 1968. Geology and mineral resources of the Barão de Cocais area, Minas Gerais, Brazil. USGS, Prof. Paper, 341-H, 46 p.
- Simmons, G. G. & Maxwell, C. H., 1961. O Grupo Tamanduá da Série Rio das Velhas, Brasil. DNPM/DGM, Boletim 211, 30 p. Rio de Janeiro.

- Zucchetti, M. & Baltazar, O. F., 2000. Rio das Velhas Greenstone Belt lithofacies associations, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. 31th International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, CD-ROM.
- Zucchetti, M., Baltazar, O. F., Raposo, F. O., 1996. Estratigrafia. In: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto Rio das Velhas - Texto Explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000. Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, p. 13-42.
- Zucchetti, M., Baltazar, O. F., Raposo, F. O., 1998. Estratigrafia. In: M. Zucchetti, O.F. Baltazar (Eds.), Projeto Rio das Velhas - Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000. 2nd ed. Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, p. 13-42.