

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Julio Carlos Destro Sanglard

**Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero
Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe**

Nº 130

**BELO HORIZONTE
DATA 29/05/2013**

Julio Carlos Destro Sanglard

Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

Versão final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Rosière

Belo Horizonte
2013

S225g
2013

Sanglard, Júlio Carlos Destro.
Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral,
Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de
alto teor em Fe /Júlio Carlos Destro Sanglard– 2013.
xii, 92 f., enc. (principalmente color.)

Orientador: Carlos Alberto Rosière.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,
Instituto de Geociências, 2013.

Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Bibliografia: f. 74-79.

Inclui anexos.

1. Geologia econômica – Minas Gerais – Teses. 2. Geologia
estrutural – Minas Gerais – Teses. 3. Quadrilátero Ferrífero (MG) –
Teses. I. Rosière, Carlos Alberto. II. Universidade Federal de Minas
Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 553(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

JÚLIO CARLOS DESTRO SANGLARD

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA.

Aprovada em 29 de maio de 2013, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Carlos Alberto Rosiere - Orientador
UFMG

Prof(a). Atlas Vasconcelos Corrêa Neto
UFRJ-Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof(a). Ricardo Diniz da Costa
UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 10 de maio de 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela conclusão de mais um projeto de vida.

Ao meu orientador Prof. Carlos Alberto Rosière pela oportunidade, paciência, e pelas discussões que muito me ensinaram.

Ao CNPQ pela manutenção de bolsa de estudos e suporte financeiro.

Ao geólogo Henrile Meireles e à equipe da geologia e do galpão de testemunhos da Mina Esperança (Ferrous Resource do Brasil) por me permitirem acessar à cava e descrever os testemunhos de sondagem.

Ao geólogo Victor Suckau bem como as equipes de geólogos e técnicos das minas da USIMINAS na Serra do Curral pelos dados fornecidos, apoio logístico e por me permitirem acesso às áreas das minas.

Aos colegas geólogos Luis Fernando, Frederico Lima, Daniel Galvão, Raul Sabadini, Matheus Kuchenbecker, Daniel Gradim, Ana Hensler, Marina Magalhães, Guilherme Suckau e Frederico Fava pela ajuda durante os trabalhos de campo.

Aos colegas do IGC e da pós-graduação pelas discussões técnicas e pela amizade.

Ao professor A.W. Romano pela constante ajuda durante as descrições petrográficas.

A J.O. Santos e N.J. McNaughton da Curtin University – Austrália pelas análises isotópicas geocronológicas.

Ao geólogo Vassily Rolim pelas discussões e ajuda com o manuscrito.

A minha família pelo apoio e incentivo.

A Marina pela paciência, compreensão e ajuda.

A Universidade Petrobras - Gerência do Programa de Capacitação em Geociências pelo apoio durante a conclusão deste manuscrito.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho, obrigado!

Resumo

O segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, representa a exposição parcial de sinclinal vergente para NNW – Sinclinal Piedade. As dobras parasíticas dessa estrutura regional foram denominadas B_{1A} e estão redobradas por dobras B_{1B} também vergentes para NNW. Ambas são de direção NNE-WSW, acilíndricas e juntas configuram um padrão de superposição semelhante ao Tipo 3 de Ramsay. Esse redobramento ocorre em caráter de deformação progressiva e junto com falhas inversas de alto ângulo, de direção semelhante à das dobras, controlam a ocorrência de acumulações martíticas-hematíticas-especularíticas hipogênicas de alto teor. Essas acumulações possuem baixo conteúdo em ETR+Y, entre 6 e 97 ppm, e ocorrem como corpos hospedados em itabirito da Formação Cauê ou como veios maciços encaixados nas rochas do Grupo Piracicaba. Os veios possuem grãos de zircão detrítico arqueanos incorporados das rochas encaixantes e mostram enriquecimento de ETR pesados em relação aos leves quando normalizados ao PAAS. As acumulações hospedadas em itabirito possuem anomalia positiva de Eu e mostram dois padrões de normalização: um com concentração média de 14 ppm de ETR+Y que mostra enriquecimento de ETR pesados em relação aos leves, semelhante ao padrão do itabirito, e o outro, com concentração média de 85 ppm, mostra elevado conteúdo de ETR leves. Esse último grupo é marcado pela presença de monazita que ocorre como mineral acessório em equilíbrio textural com os óxidos de ferro. Sobre as estruturas que controlam a ocorrência das acumulações de alto teor em Fe estão desenvolvidas dobras de direção NNW-SSE com vergência para WSW (dobras B₂). Estas se limitam aos flancos das dobras B_{1A} e B_{1B} e configuram um padrão de superposição denominado *abutting fold*. Datação U/Pb SHRIMP dos grãos de monazita forneceu idade 2034 ± 11 Ma. Essa idade corresponde ao *timing* de formação das acumulações de alto teor em Fe e indica que o processo de mineralização, ao menos no segmento oeste da Serra do Curral, é contemporâneo ao pico metamórfico regional do Quadrilátero Ferrífero durante o ciclo orogênico Transamazônico.

Palavras-chave: Quadrilátero Ferrífero, Serra do Curral, Geologia estrutural, ETR, Datação U/Pb SHRIMP, Minério de ferro.

Abstract

The structure of western Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero represents the partial exposure of a syncline that verges to NNW – Piedade Syncline. This regional structure has parasitic folds denominated as B_{1A}, which are refolded by folds B_{1B} that also have vergence to NNW. Both of them have NNE-WSW direction, are non-cylindrical folds, and configure an interference pattern that is similar to Type 3 from Ramsay. This refolding occur during progressive deformation. The occurrence of hypogenic high-grade martitic-hematitic-specularitic accumulation is controlled by the combination of these folds and high angle thrust fault, both with the same direction. These accumulations have low REE+Y contents, between 6 and 97 ppm, and occur as itabirite's hosted bodies of Cauê Formation or as massive veins in Piracicaba Group's rocks. Inside the veins, there are detritic archean zircon grains incorporated from the host rocks and they show heavy REE enrichment compared with light REE when normalized by PAAS. The itabirite hosted accumulations show positive Eu anomaly and two different normalization patterns: one with mean REE+Y concentration of 14 ppm and heavy REE enrichment compared with light REE, such as the itabirite pattern, the other one shows mean REE+Y concentration of 85 ppm and high light REE content. This last pattern is characterized by its content on monazite grains that occur on textural balance with the iron oxides. Over the ENE-WSW structures there is a development of folds with NNW-SSE direction and WSW vergence (B₂ folds). These folds are restricted to the B_{1A} and B_{1B} limbs and they configure an interference pattern named 'abutting fold'. The age obtained by U/Pb SHRIMP on monazite grains is 2034 ± 11 Ma. This age corresponds to the formation timing of the high-grade bodies and suggests that the mineralization process, at least at the western Serra do Curral, is contemporary to the metamorphic peak of Quadrilátero Ferrífero region during the Transamazonian orogeny.

Key words: Quadrilátero Ferrífero, Serra do Curral, Structural geology, REE, Geochronology U/Pb SHRIMP, Iron ore.

Lista de Figuras

- Figura 1.1 - A) Localização do segmento oeste da Serra do Curral (polígono vermelho). B) identificações de locais onde foram feitas as coletas de dados no segmento oeste da Serra do Curral. Mapa extraído do GoogleMaps. Norte para o topo da página..... 18
- Figura 1.2 - Imagem de satélite com indicação em linhas vermelhas das seções verticais onde estão localizados os 40 testemunhos de sondagem descritos na região da Mina Esperança. As seções com a localização e a descrição simplificada dos testemunhos estão no Anexo B. 21
- Figura 1.3 - A) Mapa regional do Cráton do São Francisco com identificação das faixas móveis marginais e a localização do Quadrilátero Ferrífero (retângulo vermelho). Extraído de Alkmim & Marshak (1998). B) Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com a indicação da Serra do Curral e da área de trabalho (polígono vermelho). Mapa editado de Spier et al. (2008). 22
- Figura 1.4 – A) Modelo digital de terreno da região do segmento ocidental da Serra do Curral com a indicação da área de estudo pelo polígono vermelho. B) Detalhe da área de pesquisa com indicação dos nomes locais de cada segmento da serra. Modelo gerado a partir de imagem ASTER/GDEM fornecida pela NASA. C) Perfil topográfico de direção Sul-Norte nas proximidades do Pico do Itatiaiuçu. A localização do perfil está indicada pela linha preta tracejada na Figura 1.4 B. 23
- Figura 2.1 – Coluna estratigráfica para a região do Quadrilátero Ferrífero. Extraído de Rosière et al. 2008. 24
- Figura 2.2 – Mapa geológico regional do Quadrilátero Ferrífero com indicação das principais estruturas da região. SM:Sinclinal Moeda, SDB:Sinclinal Dom Bosco, SC:Serra do Caraça, SPI:Sinclinal Piedade, SG:Sinclinal Gandarela, SSR: Sinclinal Santa Rita, SI:Sinclinório Itabira, SJM: Sinclinório João Monlevade, FFC: Falha Fundão-Cambotas, AM: Anticlinal de Mariana, AC: Anticlinal de Conceição. B) Localização dos domínios metamórficos e estruturais do Quadrilátero Ferrífero. Área sombreada é o domínio de baixa deformação. Zonas metamórficas: ZG: zona da grunerita, ZC: zona da cumingtonita, ZA: zona da actinilita, ZTA: zona da tremolita-antofilita. As faixas escuras em destaque correspondem à Fm. Cauê. Extraído de Rosière et al. 2008..... 28
- Figura 2.3 – A Bacia Minas após o primeiro evento extensional. 1-baixo estrutural; 2-alto estrutural; 3-Sg. Minas; 4- Sg. Rio das Velhas; 5-embasamento; SaC-Serra do Curral; SM-Sinc. Moeda; SDB-Sinc. Dom Bosco; SSR-Sinc. Santa Rita; SG-Sinc. Gandarela; SaCa-Serra do Caraça; CBa-Complexo Bação; CBo-Complexo Bonfim (extraído de Chemale Jr. et al. 1994)..... 36
- Figura 2.4 – Seções ilustrando o modelo de evolução tectônica do QF. A - configuração pré-Transamazônica. B - colisão inicial. C - estágio final da colisão. D - início do colapso extensional. E - formação dos domos e quilhas (extraído de Alkmim & Marshak 1998)..... 39
- Figura 3.1 – A) Exemplo de dobra B1A com geometria “Z” em Itabirito. B) Exemplo de dobra B1B com geometria “S” - dobra superposta à B1A. Tanto os eixos quanto os planos axiais de B1A e B1B são subparalelos. C) Desenho esquemático relacionando as dobras B1 e a relação de superposição entre B1A e B1B. 46
- Figura 3.2 – Fotografia (acima) e traços do bandamento itabirítico (abaixo) de afloramento onde observa-se a relação superposição de dobras B1B em B1A em zona de charneira de dobra B1B. PA B1A: traço axial de dobra B1A. PA B1B = traço axial de dobra B1B. Visada para leste. Local: Camargos. 47
- Figura 3.3 – Exemplos de Itabirito quartzoso com saddle reefs nas suas zonas de charneira preenchidos por quartzo. Nos croquis ao lado de cada foto o quartzo está representado pela cor cinza. A) Local: Mina Central. B) Local: Mina Esperança, testemunho de sondagem FD087 (220m). C) Local: Mina Esperança, testemunho de sondagem FD 126 (155 m). D) Antiforme com saddle reef de quartzo e sinforme com charneira colapsada (círculo vermelho). Local: Mina Oeste, Local: Mina Central, UTM: 559624E/ 7772832N..... 48

Figura 3.4 – Representação das relações de superposição entre as dobras B1A, B1B e B2 e as foliações S1 e S2. As dobras B2 deixam de existir nas proximidades da zona de charneira das dobras B1.	49
Figura 3.5 – Mapa geológico simplificado com a indicação dos setores estruturais Oeste, Central e Leste do segmento oeste da Serra do Curral.....	52
Figura 3.6 – Seções verticais esquemáticas levantadas nas proximidades da Mina Central (Setor Oeste), em Camargos (Setor Central) e na área da Mina Esperança (Setor Leste).	52
Figura 3.7 – Estereograma de polos do acamamento (S0) no Setor Oeste. 239 medidas.	54
Figura 3.8 – Estereograma de polos da foliação S1 e Plano Axial das dobras B1 no Setor Oeste. 85 medidas.	54
Figura 3.9 – Estereograma de eixo B1 e lineação de interseção de S1 com S0. 89 medidas.	54
Figura 3.10 – Estereograma de polos de foliação S2 e plano axial das dobras B2 do Setor Oeste. 7 medidas.	54
Figura 3.11 – Estereograma de eixos B2 e lineação de interseção de S2 com S1 e com S0. 8 medidas.	54
Figura. 3.12 – Seções verticais de direção SE-NW fornecidas pela USIMINAS mostrando os limites (topo e base) da Formação Cauê entre as minas Oeste e Central.....	55
Figura 3.13 – A mesma Seção E da Figura 3.12 mostrando repetição estratigráfica da Fm. Cauê com a Fm. Cercadinho por dobra B1B.	56
Figura 3.14 – Estereograma com polos de acamamento (S0) do Setor Central. 115 medidas.	59
Figura 3.15 – Estereograma com polos de foliação S1 e plano axial de dobra B1 no Setor Central. 45 medidas.	59
Figura 3.16– Estereograma com medidas de eixo de dobra B1 e lineação paralela no Setor Oeste. 14 medidas.	59
Figura 3.17 – Estereograma com medidas de eixos B2 no Setor Central. 7 medidas.	59
Figura 3.18 – Estereograma com polos de foliação S2 e plano axial de dobra B2 no Setor Central. 10 medidas.	59
Figura 3.19 – Estereograma de polos do acamamento (S0) no Setor Leste. 82 medidas.	61
Figura 3.20 – Estereograma de polos da foliação S1 e plano axial de dobras B1 no Setor Leste. 76 medidas.	61
Figura 3.21 – Estereograma de eixo de dobra B1 no Setor Leste. 8 medidas.	61
Figura 3.22 – Estereograma de polos da foliação S2 e plano axial de dobra B2 no Setor Leste. 11 medidas.	61
Figura 3.23 – Estereograma de eixo de dobra B2 no Setor Leste. 6 medidas.	61
Figura 3.24 – Seção ESP 06 interpretada mostrando o principal corpo de minério de ferro compacto da Mina Esperança. A sudeste do corpo as camadas mergulham para noroeste enquanto a noroeste dele elas mergulham para sudeste. No anexo B está apresentada a descrição litológica dos testemunhos. 62	62
Figura 4.1 – Mapa de localização das amostras de minério de ferro e itabirito analisadas.	66
Figura 4.2 - Valores de ETR+Y de amostras de itabirito anfíbolítico e itabirito quartzoso da Formação Cauê normalizados ao PAAS.	74
Figura 4.3 - Valores de ETR+Y de amostras de minério hospedado por itabirito da Formação Cauê normalizados ao PAAS.	74

Figura 4.4 - Valores de ETR+Y de amostras de xisto especularítico que ocorre no contato entre as formações Cauê e Cercadinho normalizados ao PAAS.....	74
Figura 4.5 - Valores de ETR+Y de amostras de veio de óxido de ferro hospedados por quartzito e filito do Grupo Piracicaba normalizados ao PAAS.	74
Figura 5.1 - Exemplo de grão de zircão detrítico em veio de óxido de ferro na Formação Cercadinho nas proximidades da Mina Leste, UTM: E 565965/N 7775178 - zona 23K, cota: 1159 m. A) Lâmina JC-148 sob luz refletida não polarizada. B) Lâmina JC-148 sob luz transmitida e polarizada.....	75
Figura 5.2 - Image BSE (Backscattering Electrons Detector) dos grãos de zircão detríticos datados em amostra da Formação Cercadinho montados em epoxy e a idade obtida pelo spot B7. Cada área identificada está exibida em detalhe na Fig. 7.3.....	76
Figura 5.3 - Imagem BSE em detalhe de cada um dos grãos de zircão datado com a indicação do local onde foi realizado cada spot (círculo verde) e a idade e erro obtido em cada análise. Na tabela 7.1 estão apresentados os resultados das análises.	77
Figura 5.4 - A) Diagrama de concórdia dos zircões detríticos de amostra de filito/quartzito da Formação Cercadinho nas proximidades da Mina Leste. B) Diagrama de probabilidade das idades obtidas dos zircões de filito/quartzito da Formação Cercadinho.....	78
Figura 5.5 - A) Imagem SEM de grão de monazita em equilíbrio textural com martita/hematita e indicação da idade obtida em um dos spots (Spot F-4 da Tabela 5.2) da análise. B) Diagrama de concórdia das 16 monazitas que ocorrem junto do minério de ferro de alto teor. O intercepto da discórdia indica idade de cristalização das monazitas em 2034 ± 11 Ma.	78
Figura 6.1 – Bloco diagrama esquemático da estrutura do segmento oeste da Serra do Curral com a localização dos depósitos de ferro.....	80
Figura 6.2 – a) Seção vertical esquemática da Serra do Curral nas proximidades da Mina Esperança ilustrando falha inversa de alto ângulo gerada para acomodar a deformação durante o desenvolvimento das dobras B1B. b) Seção vertical em detalhe do condicionamento estrutural do corpo de minério magnetítico/martítico de alto teor da Mina Esperança.....	81
Figura 6.3 – Estereograma com eixos π de dispersão de S2 (quadrados) no segmento oeste da Serra do Curral. Os eixos π definem um plano de atitude 83/50.....	83
Figura 6.4 – Mapa de lineamentos que ocorrem ao longo do segmento oeste da Serra do Curral e segmentam a serra em setores de direções diferentes.....	83
Figura 6.5 - A) Comparação da distribuição de ETRY das amostras de itabirito anfíbolítico e quartzoso do segmento oeste da Serra do Curral com os dados obtidos por Spier et al. (2007) em amostras de itabirito quartzoso e dolomítico da mina de Águas Claras. B) Comparação da distribuição de ETRY das amostras de minério compacto hospedados em itabirito da Formação Cauê no segmento oeste da Serra do Curral com os dados obtidos por Spier et al. (2008) em amostras de minério duro das minas de Águas Claras, Tamanduá e Capão Xavier.	85
Figura 6.6 - Mosaico de fotomicrografias sob luz refletida não polarizada com destaque para os grãos de monazita (internos aos círculos amarelos) em meio a massa de cristais de magnetita/kenomagnetita martitizados. Em todas as imagens a barra da escala equivale a 100 μ m. Amostra JC-130.....	85

Lista de Croquis

Croqui 3.1 – Falha normal com brecha de falha associada em itabirito da Fm. Cauê. Local: Mina Leste. UTM: 566609,963E/ 7774860,409N.....	57
--	----

Croqui 3.2 – Falha inversa com bandamento itabirítico verticalizado. Local: Mina Leste. UTM: 566304,646E/ 7774949,957N.....	57
Croqui 3.3 – Zona de cisalhamento vertical em itabirito da Fm. Cauê. QZ=quartzo. Escala: martelo. Local: Mina Leste. UTM: 566298,982E/ 7774932,809N	57
Croqui 3.4 – Zona de cisalhamento com bandamento verticalizado em itabirito da Fm. Cauê com corpos tabulares concordantes e discordantes de quartzo (QZ) e hematita compacta (HC). Local: Mina Leste. UTM: 566298,982E/7774932,809N.....	57
Croqui 3.5 – Junção de duas zonas verticalizadas com hematita / magnetita compacta bandada entre elas (zona cinza escura) encaixadas em itabirito. Na zona verticalizada ocorre quartzo leitoso com hematita compacta e localmente clastos de quartzo cimentados por óxido de ferro. No itabirito ocorre mineralização concordante ao bandamento. Local: Mina Leste. UTM: 566688,107E/7774908,244N. ..	58
Croqui 3.6 - Seção em Banco 950 na Mina Esperança ilustrando dobra B _{1A} com flancos rompidos em itabirito e zona de cisalhamento paralela à seu plano axial. UTM do início da seção: 581124E /7776282N.....	63
Croqui 3.7 - Dobra B _{1B} fechada a isoclinal em itabirito quartzoso na cava da Mina Esperança. Visada para NE. Escala: caneta (15 cm).....	63
Croqui 3.8 - Dobra B _{1B} em foliação S ₁ de filito da Formação Batatal na cava da Mina Esperança. Visada para NE. UTM: 581241,629E/7776124,588N.....	63
Croqui 3.9 – Sigmóide de foliação S ₁ em filito da Formação Batatal indicando movimento reverso com topo para NW. Visada para SW. Escala: Moeda. Local: Cava da Mina Esperança. UTM: 581342E/ 7776084N.	63
Croqui 3.10 - Seção no Banco 940 da Mina Esperança mostrando falhas normais de direção N-S com brecha associada e veio de óxido de ferro compacto (HC) concordante a S ₀ e S ₁ em quartzitos e filitos da Formação Cercadinho. UTM do fim da seção: 581020E/777620N.	63

Lista de Fotos

Foto 3.1 – Itabirito silicoso da Fm. Cauê com acamamento e microbandamento. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 033 (85m).	44
Foto 3.2 – Itabirito anfibolítico da base da Fm. Cauê. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 087 (170m).	44
Foto 3.3 – Fotomicrografia sob luz transmitida não polarizada de banda quartzosa (nas margens direita e esquerda) e magnetítica/hematítica (no centro) com microbandamento em itabirito quartzoso. Amostra JC-195_2. Mina Oeste: 558086E/7772188N.....	44
Foto 3.4 – Intercalação de filito sericítico com metadolomito do topo da Formação Batatal. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 127 (265m).....	44
Foto 3.5 – Intercalação de quartzito médio com estratificação cruzada e camadas de filito na Formação Cercadinho. Visada para leste. Local: Mina Oeste. UTM: 555810,981E/7770533,635N.	44
Foto 3.6 – Estratificação cruzada tangencial invertida em Quartzito da Formação Cercadinho. A seta indica o topo. Visada para sul. Local: Camargos. UTM: 567999,811E/7775200,529N.....	44
Foto 3.7 – Foliação S ₁ em itabirito quartzoso. Visada para leste. Local: Mina Central. UTM: 559624,869E/7772832,549N.	45
Foto 3.8 – Foliação S ₁ oblíqua ao bandamento (S ₀) de itabirito quartzoso. Visada para oeste. Local: Mina Central. UTM: 559492,177E/ 7772777,236E.....	45

Foto 3.9 – Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada mostrando foliação S1 definida pela orientação de anfibólio em itabirito anfibolítico. Amostra F3: Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 127 (248,6 m).	45
Foto 3.10 - Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada da foliação S1 em filito sericítico da Formação Cercadinho. Amostra JC-195_1. Mina Oeste: 558086E/7772188N.	45
Foto 3.11 - Fotomicrografia sob luz transmitida não polarizada mostrando clivagem de crenulação S2 sobre foliação S1 definida pela orientação de clorita e flogopita em filito da Formação Batatal. Amostra JC-46. Local: Mina Esperança. UTM: 581253,977E/ 7776100,551N.	45
Foto 3.12 - Fotomicrografia sob luz transmitida não polarizada mostrando clivagem de crenulação S2 sobre foliação S1 definida pela orientação de sericita em filito da Formação Cercadinho. Amostra JC-219_2. Local: CEAM/MBL. UTM: 554189E/ 7767921N.	45
Foto 3.13 – Lineação de estiramento mineral (indicada em amarela) em foliação anastomosada de quartzito da Formação Moeda em zona de cisalhamento que ocorre no contato o Grupo Nova Lima. Ponto JC-93 Local: Camargos. UTM: 568059E/7774293N.	51
Foto 3.14 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de especularita xisto que ocorre em zona de cisalhamento paralela ao contato entre as formações Cauê e Cercadinho. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/ 7771187N.	51
Foto 3.15 – Itabirito com bandamento descontínuo e difuso no interior de zona de cisalhamento. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 009 (221 m).....	51
Foto 3.16 – Itabirito do interior de zona de cisalhamento com “porfiroclasto” de fragmento de banda de óxido de ferro com sombra de pressão quartzosa. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD056 (204 m).	51
Foto 3.17 - Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada mostrando foliação anastomosada interna à zona de cisalhamento interestratal na Fm. Cercadinho. Os grãos de quartzo tem contato serrilhado extinção ondulante. Amostra JC-219_1. Local: CEAM/MBL. UTM: 554189E/ 7767921N.....	51
Foto 3.18 - Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada mostrando foliação par de foliação ‘SC’ em zona de cisalhamento interestratal na Formação Cercadinho. Amostra JC-219_1. Local: CEAM/MBL. UTM: 554189E/ 7767921N.....	51
Foto 3.19 – Exemplo de dobra fechada B1A em “M” com plano axial de mergulho para SE em itabirito da Formação Cauê. Visada para WSW. Local: Mina Central: 559198,697E/ 7772574,86N.....	53
Foto 3.20 – Dobra B1B (isoclinal redobrada) em itabirito da Formação Cauê com plano axial de mergulho para SE. Visada para ENE. Local: Mina Central. UTM: 561389,717E / 7773843,234N.....	53
Foto 3.21 – Eixo de crenulação S2 em clivagem ardosiana S1 em filito da Fm. Cercadinho. Local: Camargos. UTM: 568107,743E/7775203,66N.....	53
Foto 3.22 – Sucessão de filito e quartzito da Formação Cercadinho envelopados por itabirito da Formação. Cauê. Visada para sudoeste. Local: Mina Central. UTM: 561078,29E/7774016,131N.	53
Foto 3.23 – Contato entre Gnaiss Souza Noschese e Formação Moeda em corte de Ferrovia na margem oeste do Rio Paraopeba. O contato entre as formações Moeda e Batatal também está indicado. Visada para oeste. UTM: 582642E/ 7777010N.....	64
Foto 3.24 – Zona de cisalhamento normal no contato entre o Gnaiss Souza Noschese e a Formação Moeda e indicação em linha amarela tracejada de dobra em filito da Formação Batatal associada à movimentação da zona cisalhamento. Local: Cava da Mina Esperança. Visada para SW. UTM: 581359E / 7776057N.....	64

Foto 3.25 – Dobras similares milimétricas em itabirito carbonático da Fm. Cauê. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 144 (40 m).	64
Foto 3.26 – Dobra isoclinal em itabirito da Fm. Cauê. Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 024 (312 m).	64
Foto 3.27 – Dobras em chevron em Itabirito carbonático da Fm. Cauê. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 144 (42m).	64
Foto 3.28 – Zona de charneira de bobra B1 em itabirito da Formação Cauê. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 009 (155 m).	64
Foto 4.1 – Veio de óxido de ferro concordante com a foliação S1 em filito da Formação Cercadinho. Local: Minas Leste. UTM 56668E/7774989N.....	68
Foto 4.2 – Vênulas de óxido de ferro em quartzito da Formação Taboões. UTM: 567080E/7775923N.	68
Foto 4.3 – Veio de óxido de ferro com quartzo encaixado em filito da Formação Cercadinho. Local: Mina Esperança. UTM: 581015E/7776221N.	68
Foto 4.4 – Mineralização concordante ao bandamento de itabirito. Local: Mina Oeste. UTM 558086E/7772188N.....	68
Foto 4.5 – Corpo de minério compacto hospedado em itabirito da Formação Cauê limitado por zonas verticalizadas. Na zona verticalizada ocorre óxido de ferro e quartzo e entre as duas zonas a acumulação de alto teor é bandada. Local: Mina Leste. UTM:566688,107E/7774908,244N – Croqui 3.5.	68
Foto 4.6 – Brecha em itabirito com cimento de óxido de ferro. Local: Mina Central. UTM: 561389E/7773843N.....	68
Foto 4.7 – Minério de ferro com bandamento preservado. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 008 (105 m de profundidade).	69
Foto 4.8 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de minério com bandamento marcado pela diferença de porosidade. As bandas escuras são mais porosas do que as claras. Amostra JC-163. Local: Mina Central. UTM: 559699E/7772912N.....	69
Foto 4.9 – Minério de ferro maciço. Local: Mina Esperança. Furo de Sonda FD 008 (90m de profundidade).	69
Foto 4.10 – Especcularita-xisto. Local: Camargos. UTM: 568126E/7775097N	69
Foto 4.11 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de cristal idiomórfico de magnetita/kenomagnetita em minério hospedado na Formação Cauê. Amostra JC-191. Local: Mina Oeste. UTM: 556636E/7770786N.	69
Foto 4.12 – Fotomicrografia sob luz refletida polarizada de martita em minério hospedado na Formação Cauê. Amostra JC-195_3. Local: Mina Oeste. UTM: 558086E/7772188N.	69
Foto 4.13 – Fotomicrografia sob luz refletida polarizada de pseudomorfo de massa de hematita serrilhada sobre magnetita/kenomagnetita. A linha tracejada amarela indica a borda do pseudomorfo. Amostra JC-128. Local: Mina Leste. UTM: 566669E/7774989N.	70
Foto 4.14 – Fotomicrografia sob luz refletida polarizada de massa de grãos de hematita lobada. Localmente é possível identificar pseudomorfo de massa de hematita lobada sobre magnetita/kenomagnetita. Relicto de kenomagnetita em meio a massa de hematita lobada está indicado. Amostra JC-130. Local: Mina Leste. UTM: 566540E/7774944N.....	70
Foto 4.15 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada mostrando grãos de hematita microlamelar ao redor de cristais martita. Amostra JC-195_3. Local: Mina Oeste: 558086E/7772188N.	70

Foto 4.16 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada mostrando detalhe dos grãos de hematita microlamelar ao redor de cristais de martita. Amostra JC-195_3. Local: Mina Oeste. UTM: 558086E/7772188N.....	70
Foto 4.17 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada mostrando agregado de grãos de hematita microlamelar como pseudomorfo sobre martita em veio na Formação Cercadinho. Amostra JC-148. Local: Mina Leste. UTM: 565965E/7775177N.....	70
Foto 4.18 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de massa de hematita granoblástica com contatos retos. Amostra JC-191. Local: Mina Oeste. UTM: 556636E/7770786N.	70
Foto 4.19 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de especularita xisto. A especularita envolve os cristais de magnetita. Barra da escala = 500 µm. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/7771187N.	71
Foto 4.20 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de especularita-xisto. A especularita envolve os cristais de magnetita. Relicto de kenomagnetita está indicado. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/7771187N.....	71
Foto 4.21 – Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada mostrando grão de zircão zonado, subarredondado e fraturado que ocorre em veio de óxido de ferro encaixado em quartzito da Formação Cercadinho. Amostra JC-148. Local: Mina Leste: 565965E/7775177N.	71
Foto 4.22 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada mostrando massa de grãos de goetita em veio de óxido de ferro encaixado em quartzito da Formação Cercadinho. Amostra JC-148. Local: Mina Leste: 565965E/7775177N.....	71
Foto 4.23 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de nódulo elíptico de mica branca que ocorre envolvido pela especularita em minério xistoso. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/7771187N.	71
Foto 4.24 – Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada de nódulo elíptico de mica branca que ocorre envolvido pela especularita em minério xistoso. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/7771187N.	71

Lista de Quadros e Tabelas

Quadro 2.1 – Evolução deformacional das sequências supracrustais do Quadrilátero Ferrífero (Ladeira & Viveiros 1984).....	34
Quadro 2.2 – Idades dos três principais períodos tectônicos que afetaram a região sul do Cráton do São Francisco (extraído de Marshak & Alkmim 1989).	35
Tabela 4.1 - Concentração dos elementos maiores dos diferentes tipos de acumulação compactas de alto teor em ferro e itabirito do segmento oeste da Serra do Curral.	65
Tabela 4.2 - Concentração (ppm) dos elementos terras raras mais Y dos diferentes tipos de minério de ferro compacto e itabirito do segmento oeste da Serra do Curral.	72
Tabela 4.3 – Razões La/Sm, La/Yb, Dy/Yb e valores de anomalia do Eu, Ce e Y das amostras de itabirito e minério de ferro compacto do segmento oeste da Serra do Curral.	72
Tabela 5.1 - Resultado de análise geocronológica de cada spot realizado nos zircões detriticos de filito/quartzito da Formação Cercadinho das proximidades da Mina Leste.	76
Tabela 5.2 - Resultado de análise geocronológica de cada spot realizado nos grãos de monazita que ocorrem em equilíbrio textural com os óxidos de ferro da amostra JC-130.	79

Sumário

1 - INTRODUÇÃO	16
1.1 - OBJETIVOS	16
1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	17
1.3 - MÉTODOS DE TRABALHO	18
1.4 - A ÁREA DE ESTUDO	21
2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	24
2.1 - COMPLEXOS GRANITO-GNÁISSICOS	24
2.2 - SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS	25
2.3 - SUPERGRUPO MINAS	26
2.4 - GRUPO ITACOLMI.....	27
2.5 - ROCHAS INTRUSIVAS PROTEROZÓICAS.....	29
2.6 - METAMORFISMO	29
2.7 - AS ESTRUTURAS REGIONAIS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	30
2.8 - MODELOS DE EVOLUÇÃO ESTRUTURAL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	32
<i>Dorr (1969)</i>	32
<i>Ladeira & Viveiros (1984)</i>	33
<i>Marshak & Alkmim (1989)</i>	34
<i>Chemale Jr. et al. (1994)</i>	36
<i>Chauvet et al. (1994)</i>	37
<i>Endo (1997)</i>	38
<i>Alkmim & Marshak (1998)</i>	39
<i>Hippertt & Davis (2000)</i>	40
<i>Dalstra & Rosière (2008)</i>	41
3 – ARCABOUÇO ESTRUTURAL DO SEGMENTO OESTE DA SERRA DO CURRAL	42
3.1 – ELEMENTOS ESTRUTURAIIS	42
<i>Acamamento (S₀)</i>	42
<i>Foliação S₁</i>	43
<i>Foliação S₂</i>	43
<i>Dobras B₁ e B₂</i>	43
<i>Zonas de cisalhamento</i>	49
3.2 – CARACTERIZAÇÃO DOS SETORES ESTRUTURAIIS	52
<i>Setor Oeste</i>	53
<i>Setor Central</i>	56
<i>Setor Leste</i>	60

4 – CARACTERIZAÇÃO DAS ACUMULAÇÕES DE FERRO DE ALTO TEOR	65
<i>Mineralogia</i>	<i>66</i>
<i>Geoquímica de elementos terras raras</i>	<i>72</i>
5 - GEOCROLOGIA	75
6 – DISCUSSÕES.....	80
7 - CONCLUSÕES.....	87
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXO A	95
ANEXO B	97
ANEXO C	106

1 - Introdução

Os resultados apresentados aqui compõem mais um dos trabalhos desenvolvidos dentro do escopo do projeto *"ORIGEM DOS CORPOS DE MINÉRIO DE FERRO DE ALTO TEOR: OS MAGNETITITOS E SUA OXIDAÇÃO"* sob coordenação do prof. Dr. Carlos Alberto Rosière, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e apoiado por empresas do segmento mineral.

Com a progressiva exaustão dos gigantescos depósitos de ferro hematíticos pelo mundo, ocorrências de acumulações menores de ferro tornam-se cada vez mais interessantes à indústria mineradora e, nesse sentido, busca-se entender a origem dos corpos magnetíticos que ocorrem associados ao Supergrupo Minas, na região oeste do Quadrilátero Ferrífero (Dorr 1969). O Quadrilátero Ferrífero é uma importante província mineral do Brasil e uma área intensamente investigada por estudos geológicos. No entanto, poucos foram os trabalhos realizados em sua porção extremo oeste, onde ocorrem corpos magnetíticos compactos que são explorados junto com minério de ferro friável.

1.1 - Objetivos

O objetivo maior é a compreensão da estrutura do segmento oeste da Serra do Curral e a relação dos corpos compactos de alto teor em ferro com ela. Assim, como objetivos específicos lista-se:

- definir o arcabouço estrutural do segmento oeste da Serra do Curral a partir da análise de diferentes elementos estruturais;
- caracterizar através de petrografia microscópica e geoquímica de elementos terras raras as ocorrências de acumulações compactas de Fe de alto teor bem como caracterizar as diferentes gerações de óxido de ferro que as compõem;
- determinar a relação dos corpos compactos de alto teor em ferro com o arcabouço estrutural para o entendimento da sua forma de ocorrência;
- obter a idade absoluta das acumulações de ferro de alto teor para subsidiar o entendimento do processo responsável pela sua origem.

1.2 - Localização e acesso

A área está situada na região central do Estado de Minas Gerais a aproximadamente 50 km a sudoeste de Belo Horizonte (Figura 1.1 A). A região estudada corresponde à parte do segmento ocidental da Serra do Curral, limitada entre o vale do Rio Paraopeba e a as proximidades da MG-431, onde a Serra perde sua expressão fisiográfica.

O acesso a partir de Belo Horizonte se faz pela BR-381 (Rodovia Fernão Dias), seguindo aproximadamente 50 km no sentido a São Paulo. A partir da BR-381 existem acessos para diferentes locais do segmento oeste da Serra do Curral. Os principais são a rodovia MG-155, que leva à Brumadinho e a estradas vicinais da região leste da área, e a rodovia MG-431, acesso à Itatiaiuçu e Itaúna. A partir dessa rodovia, estradas vicinais dão acesso às vertentes norte e sul da serra e às minas de ferro da região (Figura 1.1 B).

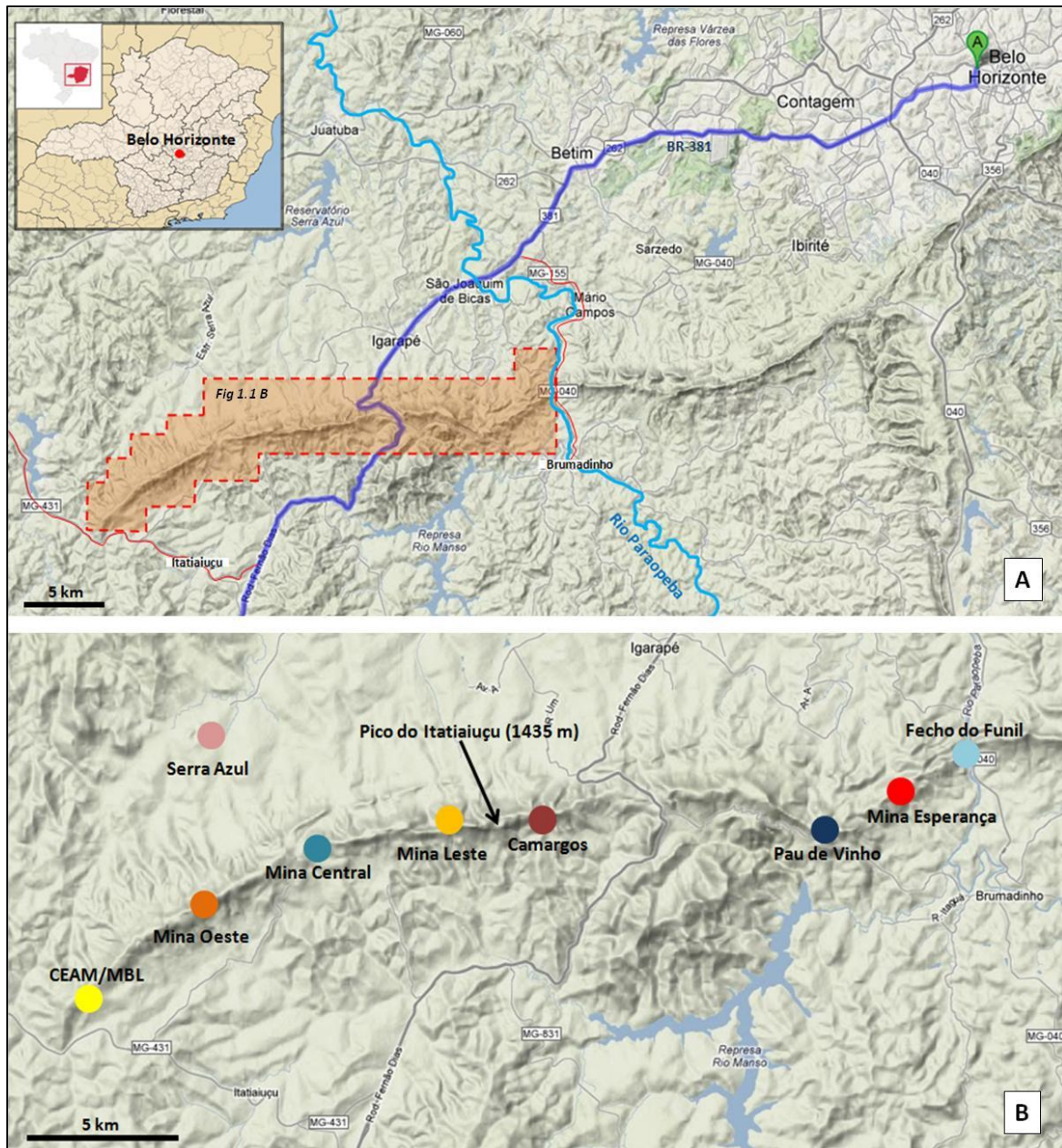


Figura 1.1 - A) Localização do segmento oeste da Serra do Curral (polígono vermelho). B) identificações de locais onde foram feitas as coletas de dados no segmento oeste da Serra do Curral. Mapa extraído do GoogleMaps. Norte para o topo da página.

1.3 - Métodos de trabalho

As etapas de trabalho e os métodos utilizados para atingir os objetivos listados acima foram:

- revisão bibliográfica sobre a geologia do Quadrilátero Ferrífero com ênfase nos modelos de evolução estrutural já propostos para a região;
- levantamento de campo para a coleta de dados estruturais (atitude de elementos lineares e planares) em 265 afloramentos na região das minas Oeste, Central e Leste (USIMINAS), na área de Camargos e Pau de Vinho,

também de propriedade da USIMINAS, na região da Mina Esperança (Ferrous Resources do Brasil), na margem oeste do Rio Paraopeba, na localidade conhecida como Fecho do Funil, na área de proteção da Estação de Tratamento de Água Rio Manso/COPASA, na região do município de Serra Azul, na região do CEAM/MBL (Centro de Educação Ambiental do Grupo MBL) e ao longo de estradas vicinais na vertente norte da serra. Na figura 1.1 B estão indicados os locais acima citados e no Anexo A é apresentado o mapa com a localização dos pontos descritos;

- levantamento de perfis geológico-estruturais de detalhe (escala 1:200) na cava da Mina Esperança;
- descrição de testemunhos de sondagens de quarenta e um furos de sonda realizados na região da Mina Esperança. O comprimento dos testemunhos varia entre 40 e 428 m, com média de aproximadamente 200 m. A inclinação varia entre 60° e 90°, sempre com direção NW-SE quando inclinados e sentidos de caimento para os azimutes 310° ou 130°. A figura 1.2 mostra a localização das oito seções na região da Mina Esperança o Anexo B apresenta a descrição litológica dos testemunhos e a posição deles em cada uma das seções;
- estudos petrográficos em lâminas delgadas e seções polidas. A petrografia microscópica foi realizada em microscópio ZEISS (Axiophot) e as fotomicrografias apresentadas neste volume foram obtidas através de câmera Leica EC3 conectada a um computador;
- análises químicas de rocha total em amostras compactas de alto teor em Fe e em itabirito pelos métodos ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometric*) e ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*), executadas pela AcmeLabs – ACME Analytical Laboratories Ltd. Os resultados da análise de Elementos Terras Raras (ETR) mais o Y foram normalizados ao PAAS (*Post Archean Australian Shale*) de McLennan (1989);
- estudo de isótopos radiogênicos para datação U/Pb (SHRIMP - *Sensitive High Resolution Ion Microprobe*) na Curtin University a partir de colaboração do Dr. João Orestes Santos e do Dr. Neil McNaughton. Procedeu-se a datação em zircões detríticos de filito/quartzito e em monazitas de corpos de alto teor em Fe. A concentração dos minerais pesados da amostra de filito/quartzito foi

feita por bateia e na separação dos zircões foi utilizado separador magnético Frantz. Os zircões foram separados manualmente e organizados numa montagem em epoxy. Os grãos de monazita foram identificados em seção polida e retirados dela com uso de uma microperfuratriz. A microperfuratriz extrai pequenos cilindros da amostra para realização da análise. Todos os zircões e monazitas foram montados em pequeno cilindro de epoxy de 2,5 cm de diâmetro e polidos até que os grãos estivessem expostos. Imagens dos grãos a serem analisados foram obtidas utilizando-se microscópio ótico, e as imagens de elétrons retroespalhados no MEV JEOL6400 do CMCA (Centre for Analytical and Characterization Analyses) da University of Western Australia. As imagens dos grãos são importantes para identificação de características internas, o que ajuda a evitar a realização da análise em áreas com conteúdo de Pb comumente altos (inclusões e fraturas, por exemplo). Para a realização das análises no SHRIMP as montagens em epoxy são cobertas por película de ouro e a maioria dos spots analisados foi com feixe de laser de diâmetro entre 20-30 μm . Os seguintes dados foram analisados: ($^{196}\text{Zr}2\text{O}$, ^{204}Pb , *background*, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{238}U , ^{248}ThO , ^{254}UO), e ($^{200}\text{TixOy}$, ^{204}Pb , *background*, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{238}U , ^{248}ThO , e ^{254}UO). Os padrões D23 e NBS611 foram usados para identificar a posição do pico de massa do ^{204}Pb , enquanto a calibração do conteúdo de Pb/U foi realizada usando padrão de zircão BR266 (559 Ma, 903 ppm U). As incertezas de idades individuais foram cotadas a 1σ , enquanto que a idade dos plots foram calculadas no nível 2σ (aproximadamente 95% confiança). Dados do SHRIMP foram reduzidos utilizando programa SQUID (Ludwig 2001) e *plots* foram preparados usando ISOPLOT/Ex (Ludwig 2003).

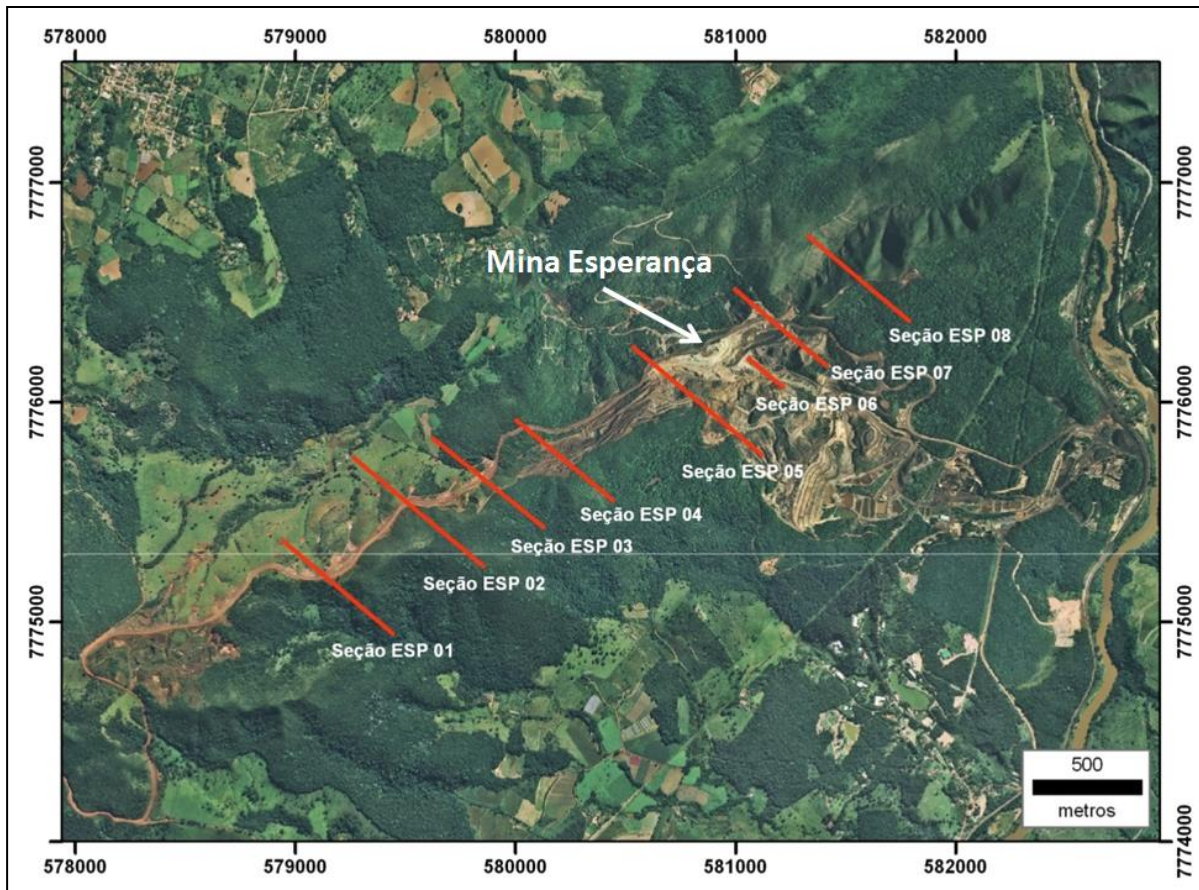


Figura 1.2 - Imagem de satélite com indicação em linhas vermelhas das seções verticais onde estão localizados os 40 testemunhos de sondagem descritos na região da Mina Esperança. As seções com a localização e a descrição simplificada dos testemunhos estão no Anexo B.

1.4 - A área de estudo

A Serra do Curral representa o limite norte do Quadrilátero Ferrífero (Dorr 1969) e estende-se por aproximadamente 100 km na direção NE-SW (Figura 1.3 B). Usualmente é dividida nos segmentos Oriental, Central e Ocidental, onde este último corresponde à porção desde a extremidade oeste da Serra, próximo à rodovia MG-431, até o Pico dos Três Irmãos (Figura 1.4 A). Dessa forma, a área de estudo insere-se integralmente no Domínio Ocidental da Serra do Curral com cerca de 30 km lineares. Localmente, o segmento entre o extremo oeste da serra até o Pico do Itatiaiuçu recebe o nome de Serra Azul. Desse pico até a rodovia BR-381 o nome dado é Serra do Itatiaia. Já a porção a leste da BR-381 e o trecho de direção NW é chamado de Serra do Barreiro e Mantiqueira, respectivamente. O segmento de direção NE no leste da área é a Serra das Farofas. Na figura 1.4 B estão identificados os segmentos da serra listados anteriormente. A fim de simplificar a

comunicação trataremos a área abordada neste trabalho como o "segmento oeste da Serra do Curral".

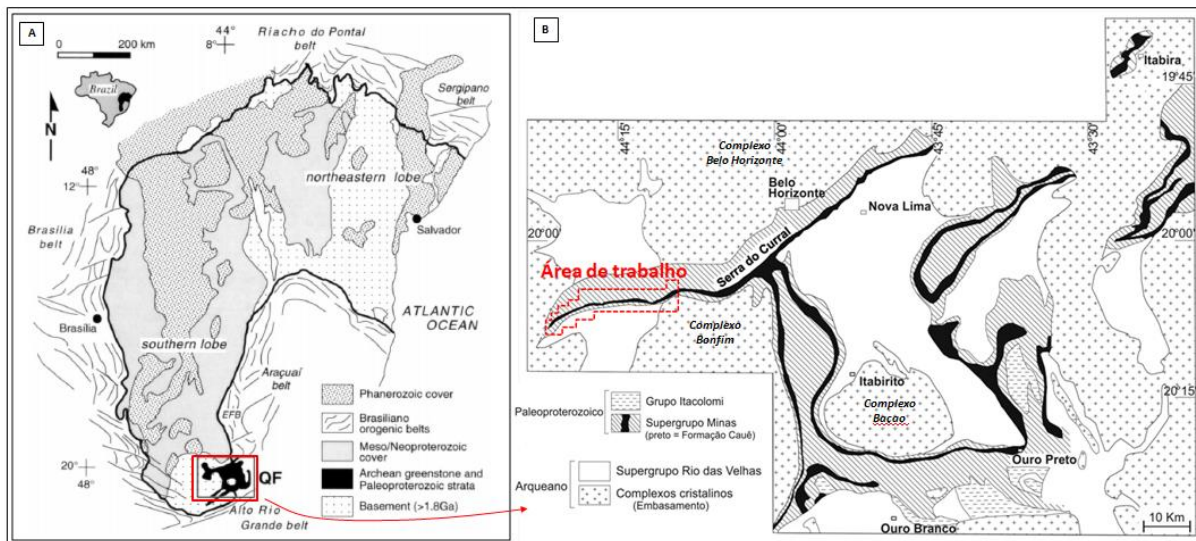


Figura 1.3 - A) Mapa regional do Cráton do São Francisco com identificação das faixas móveis marginais e a localização do Quadrilátero Ferrífero (retângulo vermelho). Extraído de Alkmim & Marshak (1998). B) Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com a indicação da Serra do Curral e da área de trabalho (polígono vermelho). Mapa editado de Spier et al. (2008).

Esse segmento de serra possui um perfil topográfico assimétrico (Figura 1.4 C) com a crista sustentada pelos itabiritos da Formação Cauê. O ponto mais alto é denominado Pico do Itatiaiuçu com cota de 1435 m (Figura 1.4 B). A vertente sul possui maior declividade e é nesse lado que afloram as unidades basais do Supergrupo Minas nas cotas mais elevadas e do Supergrupo Rio das Velhas e do Complexo Cristalino nas áreas mais baixas. Na vertente norte afloram as unidades superiores do Supergrupo Minas.

De maneira geral o desnível entre a crista da serra e as áreas adjacentes é da ordem de 350 m e as cotas mais baixas ocorrem no vale do Rio Paraopeba, em torno de 730 m (Figura 1.4 B). Embora o segmento oeste da Serra do Curral marque o limite entre as sub-bacias do Rio Manso, a sul, e do Ribeirão Serra Azul, a norte, ambas fazem parte da bacia do Rio Paraopeba que drena para o Rio São Francisco, com sua foz na represa de Três Marias.

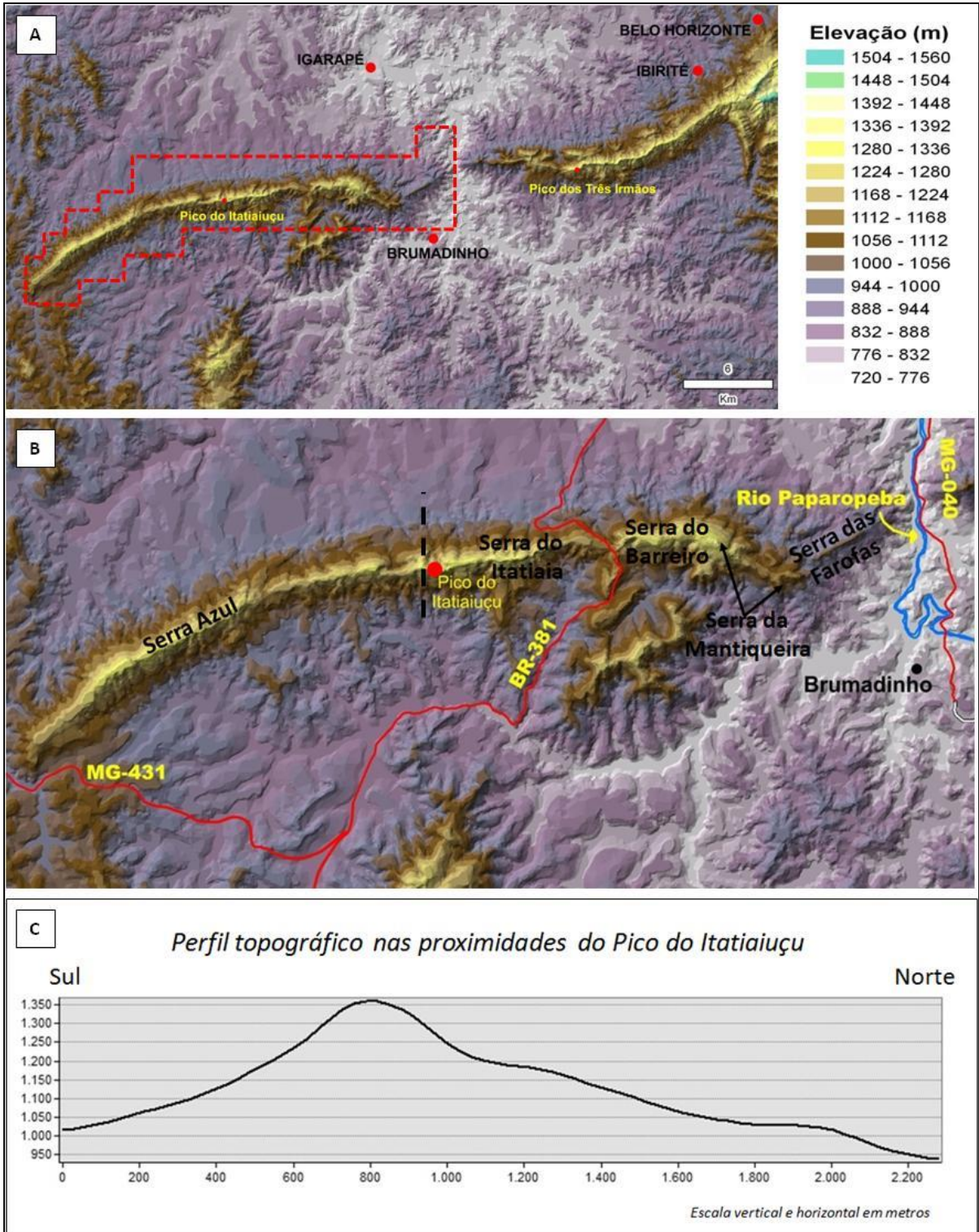


Figura 1.4 – A) Modelo digital de terreno da região do segmento ocidental da Serra do Curral com a indicação da área de estudo pelo polígono vermelho. B) Detalhe da área de pesquisa com indicação dos nomes locais de cada segmento da serra. Modelo gerado a partir de imagem ASTER/GDEM fornecida pela NASA. C) Perfil topográfico de direção Sul-Norte nas proximidades do Pico do Itatiaiuçu. A localização do perfil está indicada pela linha preta tracejada na Figura 1.4 B.

2 - Contexto Geológico Regional

Geologicamente a área se insere na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero (QF) que, por sua vez, localiza-se na zona de transição com a Faixa Araçuaí (Almeida 1977), e a Serra do Curral representa o limite norte/noroeste dessa região (Figura 1.3 B).

De maneira simplificada são quatro as principais unidades litoestratigráficas que ocorrem no QF: i) complexos cristalinos (embasamento granito-gnáissico arqueano); ii) Supergrupo Rio das Velhas; iii) Supergrupo Minas e iv) Grupo Itacolomi. As três primeiras ocorrem na região do segmento oeste da Serra do Curral (ver mapa geológico do Anexo C). O empilhamento das unidades litoestratigráficas do Quadrilátero Ferrífero está ilustrado na figura 2.1.

As seqüências metassedimentares do Supergrupo Minas ocorrem em grandes sinclinais regionais que bordejam o embasamento cristalino arqueano e compõem, assim, um padrão de domos e quilhas para a região (Marshak *et al.* 1997).

2.1 - Complexos Granito-Gnáissicos

São complexos granito-gnáissico-migmatíticos do tipo TTG (Trondhjemitó-Tonalito-Granodiorito) correspondentes a terrenos neoarqueanos que resultaram do retrabalhamento de crosta mais antiga (Carneiro 1992, Teixeira *et al.* 1996, Noce *et al.* 1998).

Os complexos ocorrem na forma de domos quilométricos circundados completamente ou em parte pelas seqüências metassedimentares (Figura 2.2 A). O complexo Bação aflora com forma elíptica no interior do QF enquanto os outros

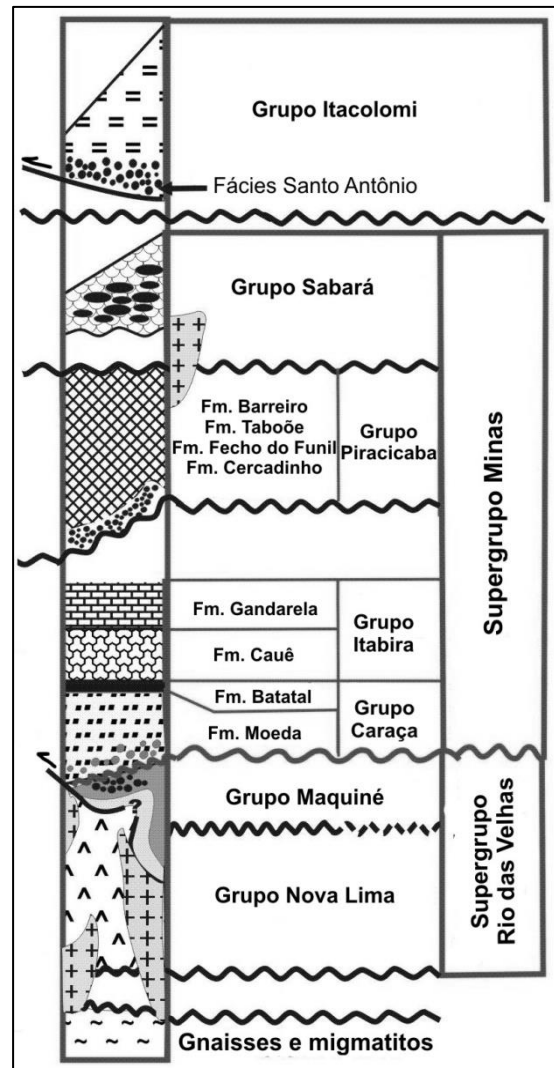


Figura 2.1 – Coluna estratigráfica para a região do Quadrilátero Ferrífero. Extraído de Rosière *et al.* 2008.

ocorrem às suas margens. O Complexo Belo Horizonte está a norte do QF e os complexos Caeté e Florestal localizam-se a nordeste e noroeste, respectivamente (Figura 2.2).

O Complexo Bonfim ocorre a oeste do QF e de acordo com Carneiro (1992), oito unidades litoestratigráficas compõem sua região setentrional. O *Gnaiss Alberto Flores* é a mais antiga delas com idade U/Pb de 2772 ± 6 Ma. É um gnaiss polideformado que aflora na porção central do complexo e possui composição trondjemítica. As outras sete unidades representam magmatismos félsicos e máficos variados e, entre essas, está o *Gnaiss Souza Noschese* (conforme Simmons 1968). Possui composição granítica e aflora ao longo do limite norte do Complexo Bonfim, em contato com as sequências metassedimentares arqueana e paleoproterozóica. Sua idade de cristalização foi recentemente determinada por Romano *et al.* (2013) em 2,73 Ga.

2.2 - Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas (Loczy & Ladeira 1976) é uma sequência metavulcanossedimentar arqueana composta pelos grupos Nova Lima e Maquiné (Dorr *et al.* 1957). O primeiro é basal e composto por uma unidade toleítica-komatiítica vulcânica (Schorsch 1978) com abundante associação de rochas sedimentares químicas, uma unidade intermediária vulcanoclástica com rocha félsica associada e a uma unidade clástica fina no topo. O Gr. Maquiné é uma associação de origem clástica com quartzitos e filitos na base e quartzitos e metaconglomerados no topo.

O Grupo Nova Lima ocorre ao longo da vertente sul do segmento oeste da serra do curral e nessa área é formado por uma associação de filito, xisto, itabirito, metachert, quartzito e, de forma subordinada, lentes de metaconglomerado, conforme descrito por Correia-Gomes & Sabadini (2009). A partir dos únicos três afloramentos frescos encontrados nessa região Simmons (1968) descreve as amostras como sericita-quartzo-filito e clorita-xisto. Além disso, ele relata a ocorrência de grãos de granada de até 2 mm em xisto próximo ao contato com o Gnaiss Souza Noschese.

Datação U/Pb em zircões das rochas vulcânicas félsicas do Grupo Nova Lima realizado por Machado *et al.* (1992) forneceram idades em torno de 2776 Ma para sua cristalização. A contemporaneidade desse vulcanismo com o alojamento de

granitóides nos complexos cristalinos permitiu a caracterização do Supergrupo Rio das Velhas como um terreno do tipo *greenstone belt* arqueano (Machado *et al.* 1992). O retrabalhamento e metamorfismo contemporâneo dos granitóides dos complexos cristalinos e do Supergrupo Rio das Velhas foi atribuído ao Evento Tectonotermal Rio das Velhas, entre 2780 – 2700 Ma (Carneiro *et al.* 1998).

2.3 - Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas (Pflug & Renger 1973) é uma sequência metassedimentar paleoproterozóica depositada em bacia intracratônica (Chemale Jr *et al.* 1994) ou em ambiente plataformal de margem passiva (Alkmim & Marshak 1998) que repousa sobre o Sg. Rio das Velhas em discordância erosiva e angular. Recentemente Ávila *et al.* (2012) propuseram que anfíbolitos que afloram no sul do Cráton do São Francisco representem produto metamórfico de basalto de crosta oceânica da bacia onde foi depositado o Supergrupo Minas, corroborando com a proposta de bacia de margem passiva de Alkmim & Marshak (1998).

O Supergrupo Minas é composto pelos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba (Dorr *et al.* 1957). O Grupo Caraça marca o início da sedimentação e possui metaconglomerados auríferos e os metarenitos da Formação Moeda (Wallace 1958) que gradam para metapelitos plataformais da Formação Batatal (Maxwell 1958). No segmento oeste da Serra do Curral o Grupo Caraça ocorre ao longo da vertente sul. Nessa região a Formação Moeda tem uma espessura de poucos metros e composição média subarcosiana, com grãos de microclina e plagioclásio e em menor quantidade sericita e minerais opacos (Oliveira & Neri 2009 e Correia-Gomes & Sabadini 2009). A Formação Batatal tem uma espessura média de 70 m e é composta predominantemente por filito sericítico com intercalações de filito carbonoso, metachert e metadolomito.

Sobreposto ao Grupo Caraça em contato transicional está o Grupo Itabira. Esse representa o maior período de sedimentação química plataformal da bacia, cartografadas como formações Cauê (Dorr 1958a) e Gandarela (Dorr 1958b). A Formação Cauê ocorre na base e é predominantemente composta pelo produto metamórfico de espessas formações ferríferas bandadas do tipo Lago Superior e seu contato com os mármore e metadolomitos da Formação Gandarela é transicional. É na Formação Cauê onde estão alojados os principais depósitos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Na região desse estudo a Formação Cauê

possui espessura de aproximadamente 190 m e é composta por diferentes tipos de itabirito (anfíbolítico, silicoso e carbonático). A Formação Gandarela está limitada à Serra das Farofas e seus afloramentos são raros.

O Grupo Piracicaba é uma sequência de origem clástica com alguma ocorrência de rochas originadas a partir de precipitação química (eg. metadolomitos da Fm. Fecho do Funil) sobreposto ao Grupo Itabira. É formalmente subdivido da base para o topo nas formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões, Barreiro e Sabará (Pomerene 1958a, Simmons 1958, Pomerene 1958b, Pomerene 1958c, Gair 1958, respectivamente). Sua deposição ocorreu após remodelamento da bacia, marcado pela emersão e erosão de parte do Grupo Itabira (Renger *et al.* 1994).

Há uma granodecrescência dos metaconglomerados e metarenitos basais ricos em óxido de ferro da Formação Cercadinho até os metapelitos, localmente carbonosos, da Formação Barreiro, depositado em ambiente euxínico junto ao quartzito da Formação Taboões (Dorr 1969).

A Formação Sabará ou Grupo Sabará, conforme sugestão de Barbosa (1968) e proposição de Renger *et al.* (1994), é a unidade de topo do Supergrupo Minas e pode alcançar espessura de 3 - 3,5 km (Dorr 1969). Sua variedade litológica, com os correspondentes metamórficos de pelitos, grauvacas, conglomerados, arenitos, tufos e vulcânicas máficas e ácidas, foi interpretada como resultado de deposição do tipo *flysch* (Barbosa 1968, Dorr 1969), e atualmente é entendida como produto de deposição em bacia *foreland* (Alkmim & Marshak 1998). Na região do segmento oeste da Serra do Curral os grupos Piracicaba e Sabará ocorrem ao longo de toda a vertente norte. O primeiro aflora nas partes mais altas e o último nas áreas mais baixas.

O acervo geocronológico existente para o Quadrilátero Ferrífero permite limitar a deposição do Supergrupo Minas entre 2580 Ma e 2050 Ma (Renger *et al.* 1994). Datação Pb/Pb realizada por Babinski *et al.* (1995) forneceu idade de 2420 ± 19 Ma para carbonato estromatolítico da Formação Gandarela, e foi assumida como idade de deposição da rocha.

2.4 - Grupo Itacolomi

O Grupo Itacolomi tem ocorrência restrita à porção sul e sudeste do Quadrilátero Ferrífero e é composto por rochas de origem clástica (psamitos e

ruditos) com maior contribuição pelítica para o topo (Dorr 1969). Barbosa (1968) observou que clastos de itabirito ocorrem nos conglomerados dessa unidade.

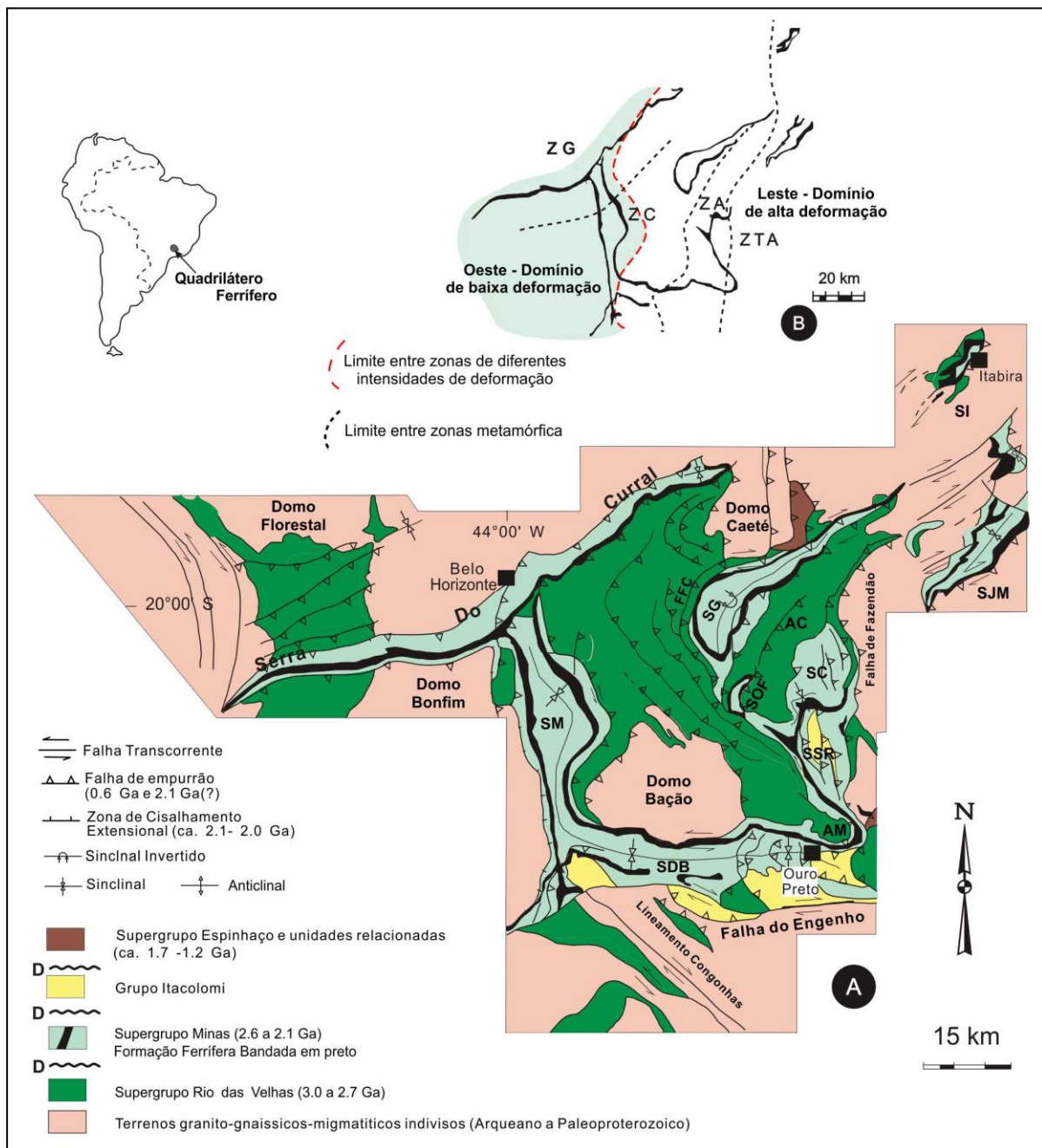


Figura 2.2 – Mapa geológico regional do Quadrilátero Ferrífero com indicação das principais estruturas da região. SM: Sinclinal Moeda, SDB: Sinclinal Dom Bosco, SC: Serra do Caraça, SPI: Sinclinal Piedade, SG: Sinclinal Gandarela, SSR: Sinclinal Santa Rita, SI: Sinclinório Itabira, SJM: Sinclinório João Monlevade, FFC: Falha Fundão-Cambotas, AM: Anticlinal de Mariana, AC: Anticlinal de Conceição. B) Localização dos domínios metamórficos e estruturais do Quadrilátero Ferrífero. Área sombreada é o domínio de baixa deformação. Zonas metamórficas: ZG: zona da grunerita, ZC: zona da cumingtonita, ZA: zona da actinilita, ZTA: zona da tremolita-antofilita. As faixas escuras em destaque correspondem à Fm. Cauê. Extraído de Rosière et al. 2008.

Idades Pb/Pb em zircões detríticos de quartzitos do Grupo Itacolomi, apresentadas por Machado *et al.* (1996), forneceram idade mínima de 2059 ± 58 Ma,

mostrando, assim, que essa unidade é mais jovem do que o Supergrupo Minas. Estes mesmos autores mostraram que tanto o Grupo Itacolomi quanto o Grupo Sabará tiveram como principais fontes de sedimentos os terrenos gerados na orogenia Tranzamazônica (ca. 2,0 Ga; Noce *et al.* 1998, Teixeira *et al.* 1996, Alkmim & Marshak 1998, Noce 2000) e interpretam que a sedimentação de ambos foi contemporânea a esse evento tectônico.

2.5 - Rochas intrusivas proterozóicas

Rochas intrusivas proterozóicas, embora com ocorrência restrita, também foram descritas no Quadrilátero Ferrífero. Noce *et al.* (1998) mostraram que na região sudoeste do Quadrilátero Ferrífero ocorre corpo granítico intrusivo nos metassedimentos do Grupo Nova Lima com idade de cristalização em 2124 ± 1 Ma. Além disso, veios pegmatíticos em gnaiss e em xisto do Grupo Nova Lima forneceram idades de cristalização em 2030 Ma e 2022 Ma, respectivamente (Machado *et al.* 1992).

Diques máficos ocorrem em todo o Quadrilátero Ferrífero e seu alojamento está relacionado, segundo Noce (2000), ao início da abertura do rifte Espinhaço (ca. 1,8 – 1,7 Ga) e à abertura da Bacia Araçuaí, ca. 1,0 – 0,9 Ga. Silva *et al.* (1995) dataram um dique gabróico na região de Ibirité pelo método U/Pb em badeleíta e obtiveram idade de 1714 ± 5 Ma, entendida como sendo sua idade de cristalização.

2.6 - Metamorfismo

Dois tipos de metamorfismo foram reconhecidos por Herz (1978) nas rochas do Supergrupo Minas. Um é regional e o outro é localizado nas proximidades dos complexos cristalinos.

A ocorrência de metamorfismo de grau maior que o regional localizado ao redor de rochas do embasamento também foi documentada por Jordt-Evangelista *et al.* (1992) nas rochas do Grupo Sabará em Ibirité. Silimanita-granada-moscovita-xisto dessa mesma região forneceu idade Sm/Nd de 2095 ± 65 Ma (Marshak *et al.*, 1997).

A partir da variação textural e mudanças químicas/mineralógicas nos metapelitos e itabiritos da Fm. Cauê, Pires (1995) mostrou que há aumento do grau metamórfico de NW (xisto verde baixo) para SE/E (anfíbolito médio) no Quadrilátero Ferrífero (Figura 2.2 B). Rosière *et al.* (2001) relataram que junto do aumento do

metamorfismo há o aumento do grau de deformação interna das rochas e, a partir dessa variação, dividiram a região do Quadrilátero Ferrífero em dois domínios estruturais com zona de transição a leste do Sinclinal Moeda (Figura 2.2 B). O domínio de baixa deformação corresponde à região oeste, onde estruturas primárias como microbandamento, por exemplo, ainda podem ser encontradas nas formações ferríferas da Formação Cauê. Já o domínio de alta deformação ocorre a leste e é caracterizado pelo desenvolvimento de trama xistosa marcada pela presença de especularita (Rosière *et al.* 2001).

Datações K/Ar em anfibólio, biotita e moscovita mostram que houve abertura desse sistema isotópico durante o Neoproterozóico tal como no Paleoproterozóico, registrando assim, a provável influência dos ciclos orogênicos Transamazônico e Brasileiro na região do Quadrilátero Ferrífero (Noce 2000; Endo & Machado 2002). Segundo Noce *et al.* (1998), o pico metamórfico da Orogênese Transamazônica nessa região ocorreu em 2041 ± 5 Ma.

2.7 - As estruturas regionais no Quadrilátero Ferrífero

As maiores estruturas do Quadrilátero Ferrífero são os sinclinais formados pelas unidades do Supergrupo Minas ao redor dos complexos cristalinos que configuram o padrão de domos e quilhas da região (Figura 2.2 A). Além deles, uma série de falhas (inversas, transcorrentes e oblíquas) completa o acervo das principais estruturas da região. As principais delas serão descritas abaixo e estão indicadas na figura 2.2 A.

O Sinclinal Moeda é uma das estruturas mais proeminentes e possui orientação geral N-S. Seu flanco normal, a oeste, é fisiograficamente marcado pela Serra da Moeda e nessa localidade o Supergrupo Minas está em contato com as rochas do Complexo Bonfim. Apenas na extremidade norte da serra o Grupo Caraça repousa sobre o Supergrupo Rio das Velhas. O flanco leste é invertido e está sotoposto aos metassedimentos do Grupo Nova Lima. Acompanhando o contorno do Complexo Bação a leste, o Sinclinal Moeda conecta-se ao Sinclinal Dom Bosco de orientação E-W. Em sua metade leste o sinclinal Dom Bosco exibe um sistema de falhas inversas curvas, convexas para W. O limite sul desse sinclinal é marcado pela Falha do Engenho - transcorrência dextral que define o limite meridional do Quadrilátero Ferrífero.

O limite norte do Quadrilátero Ferrífero é definido pelo Serra do Curral. Essa serra corresponde, de maneira geral, a uma estrutura homoclinal de direção geral NE-SW, com aproximadamente 100 km de extensão. Ao longo de praticamente toda ela as unidades do Supergrupo Minas estão invertidas com mergulho das camadas predominantemente para SE. Na sua extremidade NE as unidades se repetem a norte em posição normal configurando a geometria de um sinclinal, o Sinclinal Piedade (Alves 1961). Simmons (1968) também entendeu que a serra corresponde ao flanco invertido desse sinclinal parcialmente preservado a norte, e, Romano (1989) descreveu parte do flanco norte dessa estrutura na região sudoeste da serra, nos arredores do município de Serra Azul. Pomerene (1964), Pires (1979), Alkmim *et al.* (1996) e Endo (1997) atribuem o homoclinal da Serra do Curral não só ao flanco do Sinclinal Piedade como também a um anticlinal a sul, preservado apenas na junção com o Sinclinal Moeda. Endo *et al.* (2005) relacionam a Serra do Curral ao que restou de uma megadobra alóctone vergente para norte, denominada de Nappe Curral.

Na região leste do Quadrilátero Ferrífero ocorre um sistema de falhas arqueadas com direção geral N-S. As principais delas são as falhas do Fundão, Cambotas e Fazendão. As duas primeiras são arqueadas com convexidade para W e juntas definem o Sistema de Falhas Fundão-Cambotas. No *hanging wall* dessas falhas ocorrem o Anticlinal de Conceição e os sinclinais Gandarela, Ouro Fino, Alegria e Conta História. O Sinclinal Gandarela é o maior deles e possui *trend* NE-SW com inflexão para sul que paraleliza seu domínio SW aos traços das falhas do Fundão e Cambotas nesse local. De maneira semelhante, o Sinclinal Ouro Fino tem um domínio norte de direção NE-SW e um sul NW-SE, também paralelo à falha Fundão-Cambotas.

O Anticlinal de Conceição ocorre a SSW do Sinclinal Gandarela e a NNW da Serra do Caraça. Nele afloram rochas dos grupos Nova Lima e Maquiné com direção geral NE-SW. O Anticlinal de Mariana é uma exposição do Supergrupo Rio das Velhas com direção NW-SE confinado a porção NE do Sinclinal Dom Bosco e a SW do Sistema de Falhas Fundão-Cambotas. Sua continuidade para noroeste é denominada Alto do Rio das Velhas, na porção central do Quadrilátero Ferrífero.

Na região NE ocorrem os sistemas de dobras isoladas de Itabira e João Monlevade. Ambas são quilhas sinclinais com rochas dos supergrupos Rio das Velhas e Minas cercadas por rochas cristalinas.

De modo geral as estruturas no Quadrilátero Ferrífero definem dois *trends* principais, um aproximadamente NS e outro NE-SW. Na direção meridional ocorrem os sinclinais Moeda, Santa Rita e as grandes falhas da região ocidental, além de parte dos sinclinais Gandarela e Ouro Fino. Com direção NE-SW ocorrem a Serra do Curral/Sinclinal Piedade, os Sinclínorios Itabira e João Monlevade e parte dos sinclinais Ouro Fino e a maior parte do Sinclinal Gandarela.

2.8 - Modelos de Evolução Estrutural do Quadrilátero Ferrífero

Entre as inúmeras publicações que resultaram de pesquisas realizadas na região do Quadrilátero Ferrífero algumas apresentaram modelos de evolução estrutural/tectônica para a região. Apresenta-se a seguir uma síntese dos trabalhos que versaram sobre o tema com ênfase nos modelos propostos para a estruturação subsequente à deposição do Supergrupo Minas.

Dorr (1969)

A partir de acordo firmado entre o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) foi realizado entre os anos de 1946 e 1965 mapeamento geológico sistemático do Quadrilátero Ferrífero em escala 1:25.000, e a partir de então, um significativo avanço foi dado ao conhecimento geológico da região. Com os resultados dos levantamentos geológicos das décadas anteriores Dorr (1969) apresentou de forma integrada a geologia regional do Quadrilátero Ferrífero, e junto dela, sua proposta de evolução para a região.

Ele reconheceu a existência de três períodos de deformação em sequência, mas sem associar a eventos geotectônicos cronologicamente definidos. O primeiro teria afetado apenas as rochas do Supergrupo Rio das Velhas, enquanto o segundo teria ocorrido entre a deposição da Série Minas e Itacolomi. O terceiro seria simplesmente “pós-Itacolomi”.

O estágio intermediário, pós-Minas e pré-Itacolomi, foi considerado como um período de agitação crustal, com algum arqueamento, mas não como um ciclo orogênico. Assim, apenas uma orogênese denominada *pós-Itacolomi* a SE do Quadrilátero Ferrífero teria sido responsável pela estruturação regional. Sua principal direção de *stress* era W e posteriormente NW, com direção de movimento sendo fortemente influenciada por anteparos rígidos. A primeira manifestação dessa fase

seria o provável soerguimento do Complexo Bação e áreas graníticas a sul e norte já deformadas durante a orogenia pós-Rio das Velhas. Esse soerguimento é bastante anterior a fase de deformação compressiva e, portanto, acredita-se que tenha tido início durante a sedimentação Itacolomi. É nesse período que os sinclinais Dom Bosco e a parte sul do Sinclinal Moeda teriam sido nucleados como dobras abertas.

Com o início da compressão dirigida a W e NW, os outros sinclinais foram formados e, com a progressão da deformação, suas quilhas foram aprofundadas e as dobras passaram a ser cada vez mais apertadas e até invertidas.

Variações na direção do stress causaram a formação de dobras cruzadas (*cross folds*) na porção leste e em menor intensidade no Sinclinal Moeda. O autor destacou ainda que a complexidade e o fechamento das dobras são menores na região NW do Quadrilátero Ferrífero.

Após a fase de dobramento as falhas inversas começaram a se desenvolver. A Falha do Fundão, com vergência para NW, por exemplo, formou-se a partir do rompimento da porção leste do Sinclinal Gandarela enquanto sua porção oeste estava protegida pela “massa monolítica” do Caraça. Na região sul as falhas foram dirigidas a W por estarem confinadas entre o Complexo Bação e as rochas mais ao sul.

O aumento de profundidade e temperatura que as rochas supracrustais estiveram submetidas provavelmente possibilitaram a anatexia. O magma gerado e/ou percolação de fluidos geraram focos quentes que levaram à gnaissificação e granitização das rochas metassedimentares e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de auréolas de metamorfismo termal nas rochas não granitizadas ao redor.

Ladeira & Viveiros (1984)

A partir de trabalhos localizados de descrição e interpretação de elementos estruturais planares e lineares nas rochas dos supergrupos Rio das Velhas e Minas, principalmente nas formações ferríferas do Grupo Itabira aflorantes nas cavas de minas de ferro, esses autores descreveram seis eventos deformacionais (D1, D2,...,D6) para a região do Quadrilátero Ferrífero. As diferentes deformações foram definidas através da relação de superposição de estruturas e da análise de interferências entre elas e, segundo os autores, cada um dos eventos teria tido seu próprio campo de tensões.

As principais estruturas, orientação e vergência de cada evento definido por Ladeira & Viveiros (1984) estão sumarizadas no quadro 2.1. Com exceção do evento D1, exclusivo à sequência do Supergrupo Rio das Velhas, todos foram sucessivamente impostos nas rochas supracrustais do Quadrilátero Ferrífero.

O evento D2 é o mais marcante e suas feições foram deformadas e/ou rotacionadas nos eventos posteriores. Os eventos D3 e D4 são co-axiais e vistos como uma única fase de deformação com vergência para N. Durante D5 houve a geração de estruturas de direção geral N-S enquanto D6, diferentemente dos outros, foi de natureza rúptil com geração de fraturas e falhas normais.

Quadro 2.1 – Evolução deformacional das sequências supracrustais do Quadrilátero Ferrífero (Ladeira & Viveiros 1984).

	Vergência	Dobramento		Foliação		Lineação	Falhamento / Faturamento	Influência dos complexos granito-gnaissícos
		Tipo	Charneira	Tipo	Transposição			
D1	NE (?)	isoclinal recumbente	N60E/35 S60E/35	xistosidade bandamento	intensa	lineação mineral lineação de interseção, <i>mullions</i> , boudins e barras de quartzo	cavalgamentos / empurrões de baixo ângulo	ativa
D2	N (?)	apertado, invertido	E	clivagem de transposição, crenulação e fratura	moderada (localmente intensa)	lineação mineral lineação de interseção lineação de crenulações	empurrões de ângulo moderado	
D3	N							
D4	N							
D5	W	aberto, <i>en chevron, kink</i>	N		inexistente a moderada		falhas normais e empurrões de alto ângulo localizados	passiva
D6	-	arqueamento		juntas	-	-	falhas normais	

Para Ladeira & Viveiros (1984) os grandes sinclinais do Quadrilátero Ferrífero são partes de um grande sinclinório com charneiras horizontais desenvolvido durante o evento D2 e segmentado pelos dobramentos posteriores. Além disso, afirmam que os sinclinais não se fecham em profundidade e que as grandes falhas de empurrão da região foram geradas a partir do rompimento dos flancos invertidos das dobras do sinclinório. Durante os eventos D5 e D6 todas as estruturas pretéritas tiveram sua atitude modificada, o que segundo os autores, induz interpretações errôneas a respeito da vergência geral das estruturas do Quadrilátero Ferrífero.

Marshak & Alkmim (1989)

Esses autores apresentam evidências para um modelo de evolução tectônica pós-Minas com quatro estágios: D1, D2, DE e D3. Os estágios D1, D2 e D3 foram relacionados aos períodos tectonometamórficos Transamazônico, Uruaçuano e Brasiliano, respectivamente (Quadro 2.2).

O estágio D1 resultou de encurtamento crustal com desenvolvimento de dobras e falhas com vergência para NW e descolamento sobre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas. É possível que o embasamento cristalino estivesse envolvido nesta deformação. Foi associada a este evento a geração da xistosidade filítica (NE-SW com mergulho para SE) plano axial de dobras assimétricas que ocorrem em toda sequência do Supergrupo Minas. O Sinclinal Gandarela, parte do Sinclinal Ouro Fino, o Anticlinal Conceição e o cinturão que compõe a Serra do Curral também teriam sido gerados durante D1. A parte de direção NW-SE da Falha do Fundão, com lineação paralela ao seu traço em mapa, foi interpretada como uma rampa lateral que rotaciona as estruturas nas suas proximidades (eg. parte sul do Sinclinal Ouro Fino) durante D1. O evento D1 teria sido acompanhado de metamorfismo progressivo que atingiu fácies anfíbolito baixo.

D2 foi descrito como encurtamento crustal raso na direção N-S, sem metamorfismo associado, e relacionado aos reflexos do evento Uruaçuano (Almeida *et al.* 1976, *apud* Marshak & Alkmim 1989) no seu *foreland*. Estruturas relacionadas a este evento seriam as dobras abertas normais com caimento para leste e falhas reversas de direção WNW-ESSE de alto ângulo com dobras associadas. Os sinclinais Dom Bosco e Moeda tiveram sua nucleação iniciada durante D2 como dobras forçadas ao redor do limite curvo do bloco do Complexo Bação, limitado a oeste e sul por falhas reversas.

O evento DE é de natureza extensional posterior a D2 e anterior a D3. Segundo os autores estaria relacionado à abertura da Bacia Espinhaço a leste do Cráton do São Francisco. No Quadrilátero Ferrífero as estruturas relacionadas são falhas normais e a intrusão de diques máficos.

O último evento, D3, é compressivo com transporte tectônico para oeste acompanhado de metamorfismo de fácies xisto verde médio. As estruturas penetrativas desse evento foram proeminentemente desenvolvidas na margem leste do Quadrilátero Ferrífero, onde ocorre uma série de falhas inversas e dobras menores com xistosidade e lineação associada. O envolvimento do complexo Bação

Quadro 2.2 – Idades dos três principais períodos tectônicos que afetaram a região sul do Cráton do São Francisco (extraído de Marshak & Alkmim 1989).

Idade Ma	Período tectônico	Eventos descritos por Marshak & Alkmim, 1989
500	Brasiliano	Evento compressivo D3
1000		Extensão DE
1500	Uruaçuano	Evento compressivo D2
2000	Transamazônico	Evento compressivo D1
2500		Deposição do Sg. Minas

implicou na modificação - amplificação e inversão - dos sinclinais Dom Bosco e Moeda durante o estágio D3.

Chemale Jr. et al. (1994)

Apresentaram análise estrutural de seis domínios por eles separados na região do Quadrilátero Ferrífero e propuseram que a estrutura regional resulta da superposição de dois eventos tectônicos. O primeiro é de caráter extensional e teria ocorrido durante o Paleoproterozóico, entre 2,1 e 1,7 Ga (evento Transamazônico), representando o provável desenvolvimento de um terreno do tipo *metamorphic core complex*. O segundo é compressivo e relacionado à formação de um *fold and thrust belt* durante orogenia Brasiliana (650-500 Ma) com vergência para oeste.

Para os autores os principais sinclinais do Quadrilátero Ferrífero foram nucleados durante o evento extensional (Figura 2.3) e modificados (amplificados, rotacionados e invertidos) no evento compressivo.

A extensão estaria registrada nas zonas de cisalhamento que ocorrem junto ao contato das sequências supracrustais com o embasamento cristalino. Além da cinemática normal dessas zonas de cisalhamento, a presença de auréolas metamórficas nas rochas dos supergrupos Rio das Velhas e Minas ao redor dos domos Bonfim e Bação foi associada ao soerguimento destes complexos metamórficos.

Chemale Jr. et al. (1994) reconheceram três fases de deformação para o segundo evento que ocorreu no Quadrilátero Ferrífero e mostraram que o relevo do

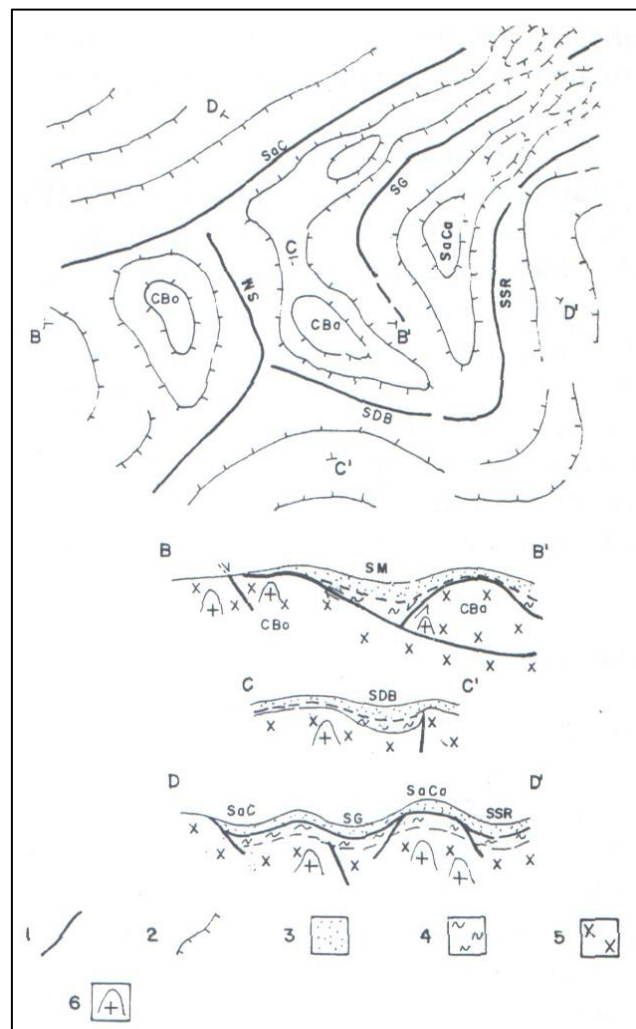


Figura 2.3 – A Bacia Minas após o primeiro evento extensional. 1-baixo estrutural; 2-alto estrutural; 3-Sg. Minas; 4- Sg. Rio das Velhas; 5-embasamento; SaC-Serra do Curral; SM-Sinc. Moeda; SDB-Sinc. Dom Bosco; SSR-Sinc. Santa Rita; SG-Sinc. Gandarela; SaCa-Serra do Caraça; CBa-Complexo Bação; CBo-Complexo Bonfim (extraído de Chemale Jr. et al. 1994).

embasamento arquitetado durante a extensão paleoproterozóica influenciou diretamente na geometria das estruturas compressivas. A primeira fase, D1, é a que tem as feições mais proeminentes na região. Foi uma deformação dúctil sob condições de fácies xisto verde a anfibolito. Dobras abertas a isoclinais, e também em bainha, e zonas de cisalhamento relacionadas a falhas inversas, transcorrências conjugadas e falhas de rasgamento foram desenvolvidas nessa fase. Foliação milonítica com lineação mineral e de estiramento, ambas com caimento para E e, localmente, SE, estão associadas às estruturas.

O sistema de falhas Fundão-Cambotas e as falhas curvas que ocorrem no interior do Sinclinal Dom Bosco são exemplos de estruturas geradas durante D1 confinadas a anteparos rígidos do embasamento e que tiveram sua geometria influenciada por eles. O fato do bloco do Complexo Bação estar sobre as rochas do Supergrupo Minas em parte do flanco leste do Sinclinal Moeda mostra que além de atuar como anteparo frente à propagação de algumas estruturas, esse bloco foi envolvido no transporte tectônico para oeste, amplificando e invertendo o Sinclinal Moeda.

A segunda e terceira fase de deformação (D2 e D3) desenvolveram-se sob condição de fácies xisto verde e, embora tenham *trends* ortogonais, E-W e N-S, respectivamente, são provavelmente contemporâneas. Os autores relacionam D2 à deformação transpressiva com geração de dobras abertas a apertadas e falhas transcorrentes. D3 é atribuída à reativação de rampas frontais que atingiram níveis crustais mais rasos. As dobras dessa fase são abertas e do tipo *kink*.

Chauvet *et al.* (1994)

A partir de estudos realizados na região de Ouro Preto esses autores propuseram três estágios de evolução estrutural para o Quadrilátero Ferrífero.

O primeiro é caracterizado pela intrusão forçada dos complexos metamórficos nas sequências supracrustais a partir de extensão relacionada ao evento Transamazônico. A partir da instalação de zonas de cisalhamento normais transcrustais os complexos metamórficos teriam sido soerguidos enquanto os grandes sinclinais e anticlinais da região eram nucleados. Atividade magmática discreta no interior do Complexo Bação foi relacionada a este estágio.

O segundo estágio teria ocorrido no Neoproterozoico e foi atribuído ao Evento Brasileiro. Corresponde a geração de dobras e falhas inversas vergente para WNW

com provável envolvimento do embasamento. A inversão do movimento dessas falhas a partir de um relaxamento tectônico completa o quadro evolutivo proposto por Chauvet *et al.* (1994) para a região do Quadrilátero Ferrífero.

Endo (1997)

Nesse trabalho o autor propõe que a evolução tectono-deformacional, posterior à deposição do Supergrupo Minas, na região do Quadrilátero Ferrífero e adjacências, resulta da sobreposição de cinco eventos geodinâmicos. O primeiro foi denominado orogênese Minas e ocorreu entre 2,25 e 2,1 Ga. É marcado por deformação compressiva (DCTr1) com vetor tectônico para SW em regime transpressivo e seguido por fase extensional com polaridade para SE (DETr1). Segundo o autor, durante DETr1 houve a nucleação dos grandes sinclinais interconectados, ascensão dos domos gnáissicos e deposição do Grupo Itacolomi.

O segundo evento foi limitado entre 2,06 e 2,0 Ga e denominado orogênese Itacolomi. Também contempla uma fase compressiva seguida por outra de natureza extensional. Durante a compressão (DCTr2) o vetor tectônico era dirigido para N-NW e, nesse período, foram formadas as estruturas de dobramento e cavalgamentos vergentes para NW, inclusive a inversão do flanco sudeste do Sinclinal Curral. Durante a fase extensional (DETr2), entre 2,0 e 1,9 Ga, formaram-se falhas normais e enxames de veios mineralizados em ouro, como os que ocorrem na Mina da Passagem em Mariana, Minas Gerais.

O terceiro evento está relacionado à abertura da Bacia Espinhaço por volta de 1,7 Ga e, na região, as estruturas relacionadas são falhas normais de direção N-S e a intrusão de diques máficos. O quarto e quinto eventos são neoproterozóicos e relacionados ao ciclo orogênico Brasileiro. O primeiro deles, orogênese Brasileira I (ECBr1), datado em ca. de 0,6 Ga, teve vergência para NW na região sul e para W na região norte. Durante esta fase houve a reativação de estruturas, geração de falhas e dobras sub-regionais e regionais com foliação/xistosidade associada e a inversão do Sinclinal Moeda, conduzida pela movimentação para oeste do Domo do Bação. O último evento, orogênese Brasileira II (ca. de 0,5 Ga) teve vetor compressivo para N-NW e foi responsável pela formação de dobras suaves normais de direção E-W e clivagem espaçada de mesma direção.

Alkmim & Marshak (1998)

Propuseram um modelo de evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero que envolve uma contração vergente para NW e uma distensão que arquitetou o padrão de domos e quilhas da região. Essas fases foram relacionadas à edificação e colapso de um orógeno Transamazônico durante o Paleoproterozóico. Posteriormente, no Neoproterozóico, grande parte das estruturas da região teriam sido sobrepostas e obliteradas por outras geradas durante evento Brasiliano.

As estruturas paleoproterozóicas compressivas possuem uma melhor preservação na região noroeste do Quadrilátero Ferrífero e indicam transporte tectônico para NW. As grandes estruturas regionais de *trend* NE-SW foram relacionadas a esta fase que, segundo os autores, não teria tido desenvolvimento de foliação penetrativa associada. Os sinclinais Gandarela, Piedade e Ouro Fino, o anticlinal que ocorre na junção do Sinclinal Moeda com a Serra do Curral e dobras na Serra do Caraça são exemplos de estruturas formadas durante a contração Transamazônica.

Durante a fase extensional foram geradas zonas de cisalhamento normais que justapõem rochas supracrustais com o embasamento cristalino. A relação de superposição das estruturas indica que o alojamento dos domos arqueanos é posterior à deformação contracional e que metamorfismo termal, datado em 2095 Ma (Marshak *et al.* 1997), ocorreu ao redor deles durante sua ascensão.

A figura 2.4 é o esquema de evolução transamazônica

apresentado por Alkmim & Marshak (1998) para a região do Quadrilátero Ferrífero. Esse modelo também postula que a deposição do Supergrupo Minas ocorreu em

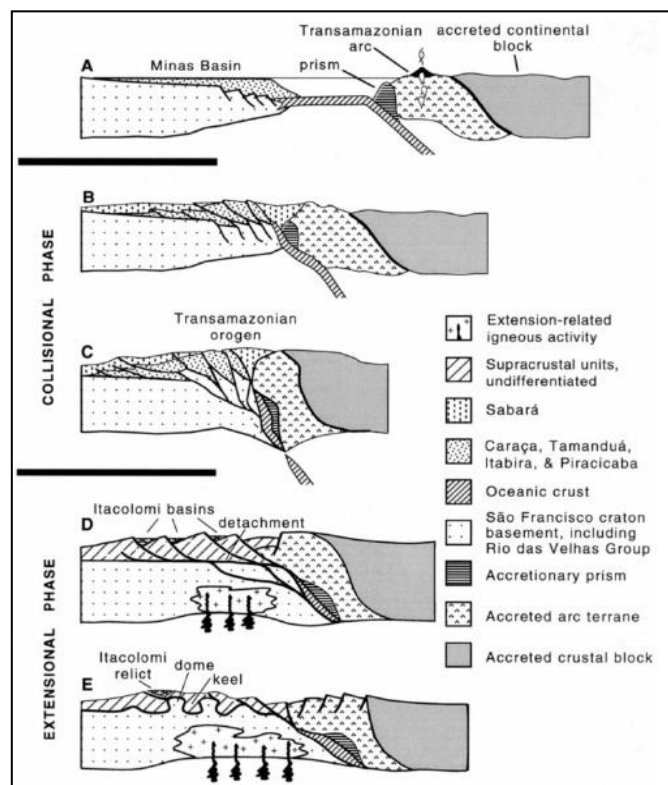


Figura 2.4 – Seções ilustrando o modelo de evolução tectônica do QF. A - configuração pré-Transamazônica. B - colisão inicial. C - estágio final da colisão. D - início do colapso extensional. E - formação dos domos e quilhas (extraído de Alkmim & Marshak 1998).

margem continental passiva enquanto o Grupo Sabará se depositou em bacia do tipo *foreland*. O Grupo Itacolomi, pouco mais jovem, seria resultado da deposição em estreitas bacias intramontanas durante o colapso orogênico.

Para esses autores as famílias de estruturas Brasileiras ocorrem em quase todo a região, sendo ausentes apenas na região NW. Elas são dobras, foliações e falhas inversas que registram transporte tectônico para WNW superpostas às estruturas Transamazônicas. Zonas de cisalhamento transpressivas neoproterozóicas também teriam sido desenvolvidas ao longo das zonas de cisalhamento pretéritas reativadas e ao longo de contatos litológicos.

Os traços curvilíneos das falhas vergentes para W foram relacionados à existência de saliências do embasamento geradas durante o colapso gravitacional Paleoproterozóico. Além disso, Alkmim & Marshak (1998) inferiram que o *hinterland* do Orógeno Transamazônico estava a SE do Quadrilátero Ferrífero numa região completamente sobreposta pelo tectonismo Brasileiro.

Hippertt & Davis (2000)

A partir da integração de análise microestrutural com dados de campo, propuseram que o alojamento dos domos e a formação dos grandes sinclinais do Quadrilátero Ferrífero ocorreram durante o encurtamento regional Brasileiro, ente 800 e 600 Ma, com intenso transporte de massa para W. É durante esse evento que teria se desenvolvido a foliação penetrativa observada nas sequências dobradas da região e contemporaneamente havido o crescimento de porfiroblastos associados à instalação das zonas de cisalhamento que ocorrem na interface dos domos cristalinos com as sequências supracrustais.

Esses autores ressaltam que houve concentração de deformação no contato dos domos com os metassedimentos, e que, nos flancos invertidos das dobras regionais a deformação finita é menos intensa do que nos flancos normais.

No trabalho é reconhecida ainda a possibilidade dos precursores dos domos e dos sinclinais da região terem sido formados durante uma extensão Paleoproterozóica. No entanto, afirmam que é durante a orogênese Brasileira que as heterogeneidades do embasamento são acentuadas e que os sinclinais são nucleados e amplificados.

Assim, o modelo por eles proposto envolve a ascensão dos domos durante a compressão regional dirigida para WNW. O contraste de densidade entre a

sequência sedimentar e as rochas do embasamento teria favorecido o abatimento gravitacional da primeira, mais densa, e o surgimento de estruturas complexas com geometrias que não são, portanto, relacionadas ao campo de *stress* tectônico regional.

Dalstra & Rosière (2008)

Para esses autores a estrutura regional do Quadrilátero Ferrífero resulta da superposição de dois eventos deformacionais. O primeiro (D1) é de natureza compressional quando houve a geração de falhas e dobras tanto de direção NE-SW quanto NNW-SSE nas sequências supracrustais. Após D1 há a ascensão dos domos granito-gnáissicos que configura o padrão domo e bacia da região. Para eles essa ascensão pode ser produto do colapso de orógeno Transamazônico, como proposto por Alkmim & Marshak (1998), ou poderia ter sido influenciada por intrusões graníticas (Rosière & Rios 2004).

O segundo evento, D2, é relacionado ao desenvolvimento de um cinturão de dobras e falhas vergentes para oeste que causa inversão, amplificação, translação e rotação dos sinclinais, com gradiente tectônico que permite a divisão da região em um domínio leste marcado pela alta taxa de deformação interna e um oeste de baixa deformação, conforme proposto por Rosière *et al.* (2001).

Os autores reconheceram a existência de três fases extensionais na região e a primeira é anterior à deposição do Supergrupo Minas. A segunda é uma fase que se iniciou imediatamente após D1 e continuou durante a deposição do Grupo Itacolomi em pequenas bacias limitadas por falhas. A terceira extensão é anterior a D2 e pré-data a deposição do Supergrupo Espinhaço (Paleo-Mesoproterozóico).

3 – Arcabouço estrutural do segmento oeste da Serra do Curral

Apresenta-se neste capítulo a descrição dos elementos estruturais, como eles se distribuem e se orientam ao longo da serra e ainda a concepção de um modelo integrado para todo o segmento oeste da Serra do Curral. No mapa do anexo A estão indicados todos os locais nos quais foi realizada descrição de afloramento com obtenção de atitude dos diferentes elementos estruturais.

3.1 – Elementos estruturais

Para elaboração do modelo estrutural do segmento oeste da Serra do Curral foram obtidas atitudes de vários elementos estruturais planares e lineares em afloramentos ao longo da serra. Apresenta-se a seguir a descrição desses elementos:

Acamamento (S₀)

É uma superfície sedimentar primária e o principal elemento utilizada na construção do modelo estrutural da área. No Itabirito, rocha onde foi obtida a maior parte dos dados estruturais, o acamamento é caracterizado como uma laminação onde se intercalam lâminas de óxido de ferro com lâminas de quartzo, calcita, dolomita e anfibólio (cummingtonita-grunerita; Foto 3.1, 3.2 e 3.3). Lâminas compostas por diferentes proporções desses últimos elementos também ocorrem. Nos metassedimentos de origem siliciclástica o acamamento é definido pela variação granulométrica dos grãos de quartzo, principalmente em quartzito da Formação Cercadinho, e por variações composicionais. Na Formação Batatal a variação composicional mais evidente é a intercalação de lâmina/camadas dolomíticas com camadas argilosas escuras (Foto 3.4). Na rochas das formações Moeda e Cercadinho essa variação é caracterizada pela intercalação de quartzito (com suas variações granulométricas) com filito (Foto 3.5).

Nos quartzitos do segmento oeste da serra do Curral é comum a ocorrência de estruturas sedimentares trativas primárias preservadas. Elas são estratificações cruzadas tabular ou tangencial que ocorrem em sets centimétricos de 5 a 20 cm de espessura (Foto 3.6). Na estratificação cruzada tangencial o ângulo da base do *foreset* é menor que o do topo. Assim, esta estrutura é um indicador de topo e base útil na elaboração do arcabouço estrutural da serra.

Foliação S₁

É um elemento planar definido pela orientação de minerais com hábito lamelar. Essa orientação pode ser discreta ou penetrativa e ocorre ao longo de todo o segmento oeste da Serra do Curral. No Itabirito a foliação S₁ é predominantemente discreta e caracterizada pela orientação de hematita especular, sericita e, localmente na Serra dos Franceses, por anfibólio (grunerita; Foto 3.7, 3.8 e 3.9). Nos filitos, seja do Grupo Caraça ou do Grupo Piracicaba ou Sabará, a foliação S₁ é penetrativa e definida predominantemente pela orientação de sericita e clorita (Foto 3.10).

Foliação S₂

A foliação S₂ é uma clivagem de crenulação desenvolvida sobre a foliação S₁ e ocorre de maneira discreta ao longo da serra (Foto 3.11 e 3.12).

Dobras B₁ e B₂

Os elementos geométricos das dobras medidos e utilizados na construção do modelo estrutural do segmento oeste da Serra do Curral são os planos axiais e os eixos das dobras aqui classificadas como B₁ e B₂.

As dobras B₁ são harmônicas ou desarmônicas e a foliação S₁ é plano axial delas. A interseção de S₁ com S₀ define uma lineação paralela ao eixo das dobras B₁. Estas dobras podem ser subdivididas em dois conjuntos: dobras B_{1A} e B_{1B}.

As dobras B_{1A} são centimétricas a métricas, isoclinais a apertadas, harmônicas ou desarmônicas e acilíndricas com eixos bastante curvilíneos. É comum a zona de charneira ser mais espessa do que os flancos, enquadrando-se nas classes de dobras 2 (similares) ou 3 segundo a classificação de Ramsay (1967). Essas dobras possuem plano axial com mergulho geral para SSE e são parasíticas do flanco invertido da Sinclinal Piedade (Figura 3.1 A).

As dobras B_{1B} são métricas a decamétricas e, como B_{1A}, são apertadas a isoclinais, e também harmônicas ou desarmônicas e acilíndricas. Estas dobras possuem plano axial com mergulho para SSE e indicam rotação anti-horária das camadas em visada para leste (Figura 3.1 B). Elas ocorrem sobrepostas às dobras B_{1A} redobrando-as ao redor do eixo B_{1B} que é subparalelo aos eixos de B_{1A} (Figura 3.1 C). A superposição de dobras B_{1B} sobre as dobras B_{1A} se aproxima, em termos geométricos, à superposição do Tipo 3 de Ramsay (1967; Figura 3.2).

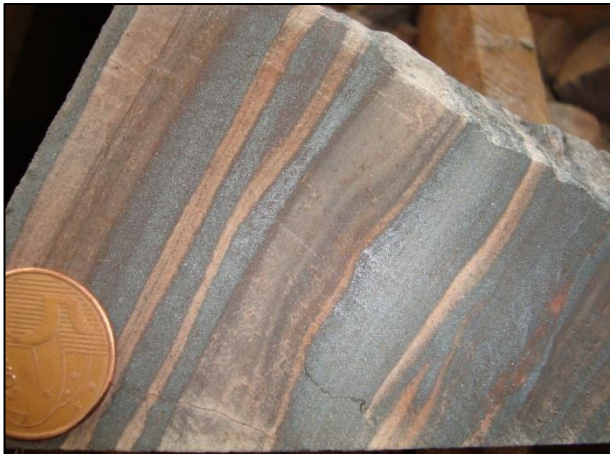


Foto 3.1 – Itabirito silicoso da Fm. Cauê com acamamento e microbandamento. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 033 (85m).

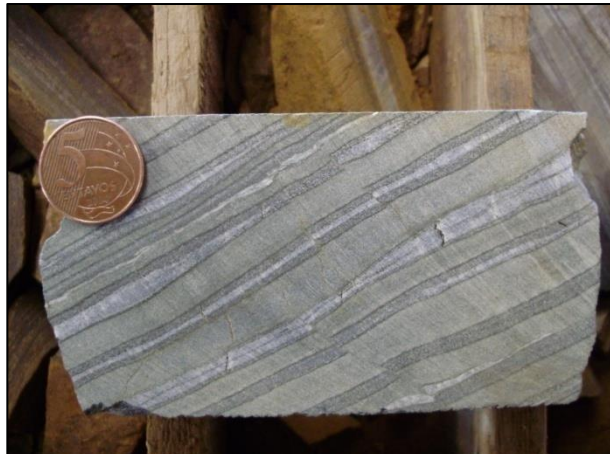


Foto 3.2 – Itabirito anfibólico da base da Fm. Cauê. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 087 (170m).

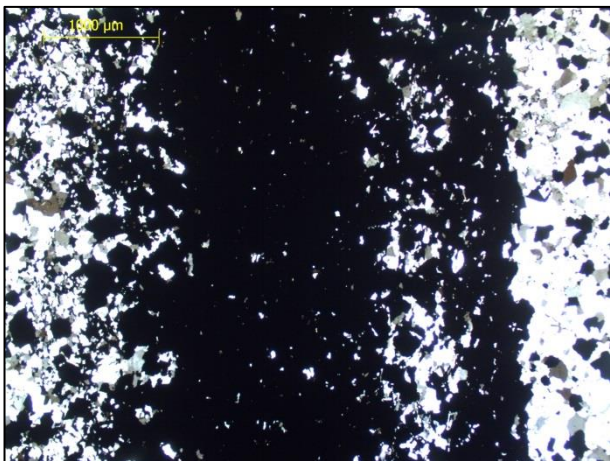


Foto 3.3 – Fotomicrografia sob luz transmitida não polarizada de banda quartzosa (nas margens direita e esquerda) e magnetítica/hematítica (no centro) com microbandamento em itabirito quartzoso. Amostra JC-195_2. Mina Oeste: 558086E/7772188N.



Foto 3.4 – Intercalação de filito sericítico com metadolomito do topo da Formação Batatal. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 127 (265m).

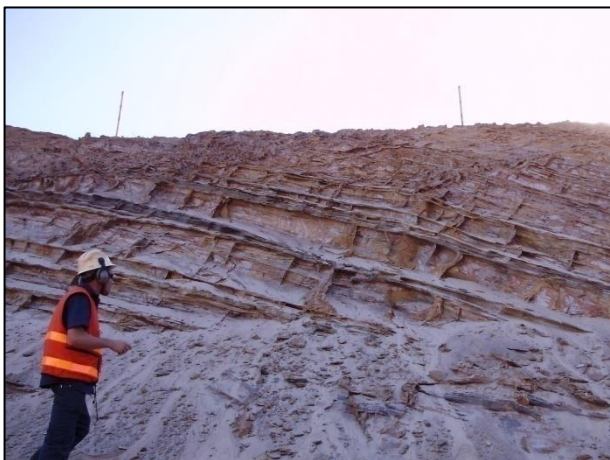


Foto 3.5 – Intercalação de quartzito médio com estratificação cruzada e camadas de filito na Formação Cercadinho. Visada para leste. Local: Mina Oeste. UTM: 555810,981E/7770533,635N.



Foto 3.6 – Estratificação cruzada tangencial invertida em Quartzito da Formação Cercadinho. A seta indica o topo. Visada para sul. Local: Camargos. UTM: 567999,811E/7775200,529N.



Foto 3.7 – Foliação S_1 em itabirito quartzoso. Visada para leste. Local: Mina Central. UTM: 559624,869E/7772832,549N.

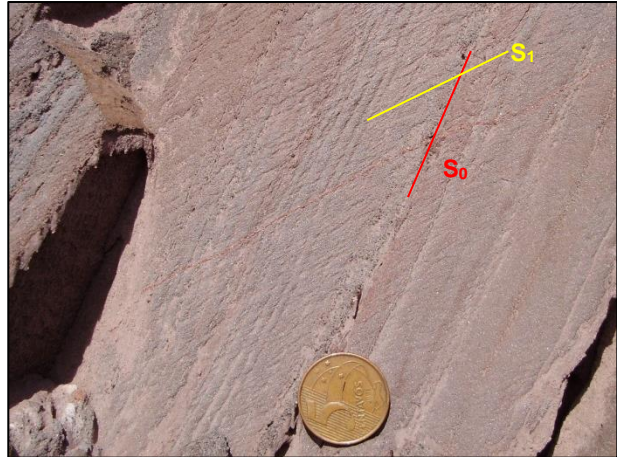


Foto 3.8 – Foliação S_1 oblíqua ao bandamento (S_0) de itabirito quartzoso. Visada para oeste. Local: Mina Central. UTM: 559492,177E/ 7772777,236E.

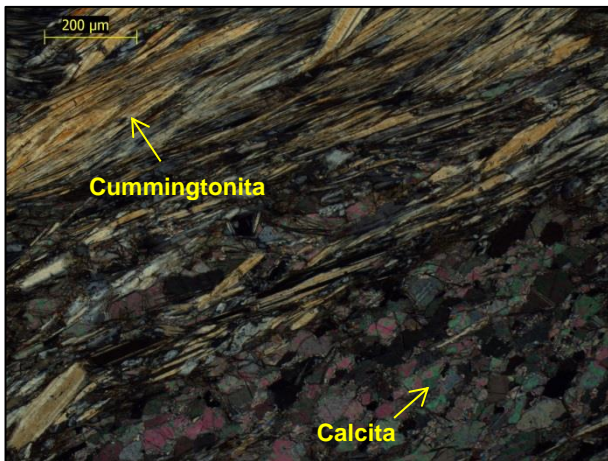


Foto 3.9 – Fotomicrografia sob luz transmitida mostrando foliação S_1 definida pela orientação de anfíbólio em itabirito anfibolítico. Amostra F3: Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 127 (248,6 m).

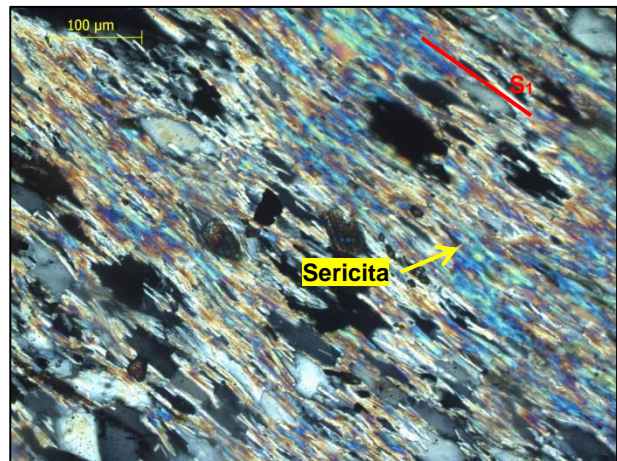


Foto 3.10 - Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada da foliação S_1 em filito sericítico da Formação Cercadinho. Amostra JC-195_1. Mina Oeste: 558086E/7772188N.

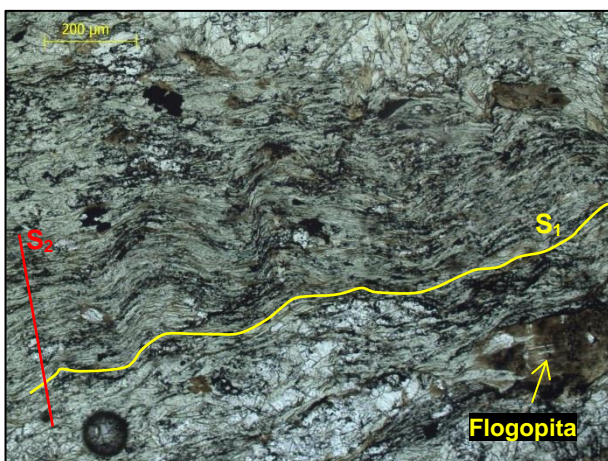


Foto 3.11 - Fotomicrografia sob luz transmitida não polarizada mostrando clivagem de crenulação S_2 sobre foliação S_1 definida pela orientação de clorita e flogopita em filito da Formação Batatal. Amostra JC-46. Local: Mina Esperança. UTM: 581253,977E/ 7776100,551N.

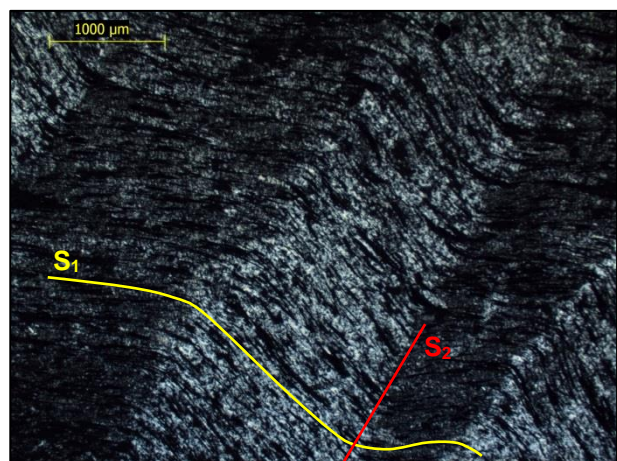


Foto 3.12 - Fotomicrografia sob luz transmitida não polarizada mostrando clivagem de crenulação S_2 sobre foliação S_1 definida pela orientação de sericita em filito da Formação Cercadinho. Amostra JC-219_2. Local: CEAM/MBL. UTM: 554189E/ 7767921N.

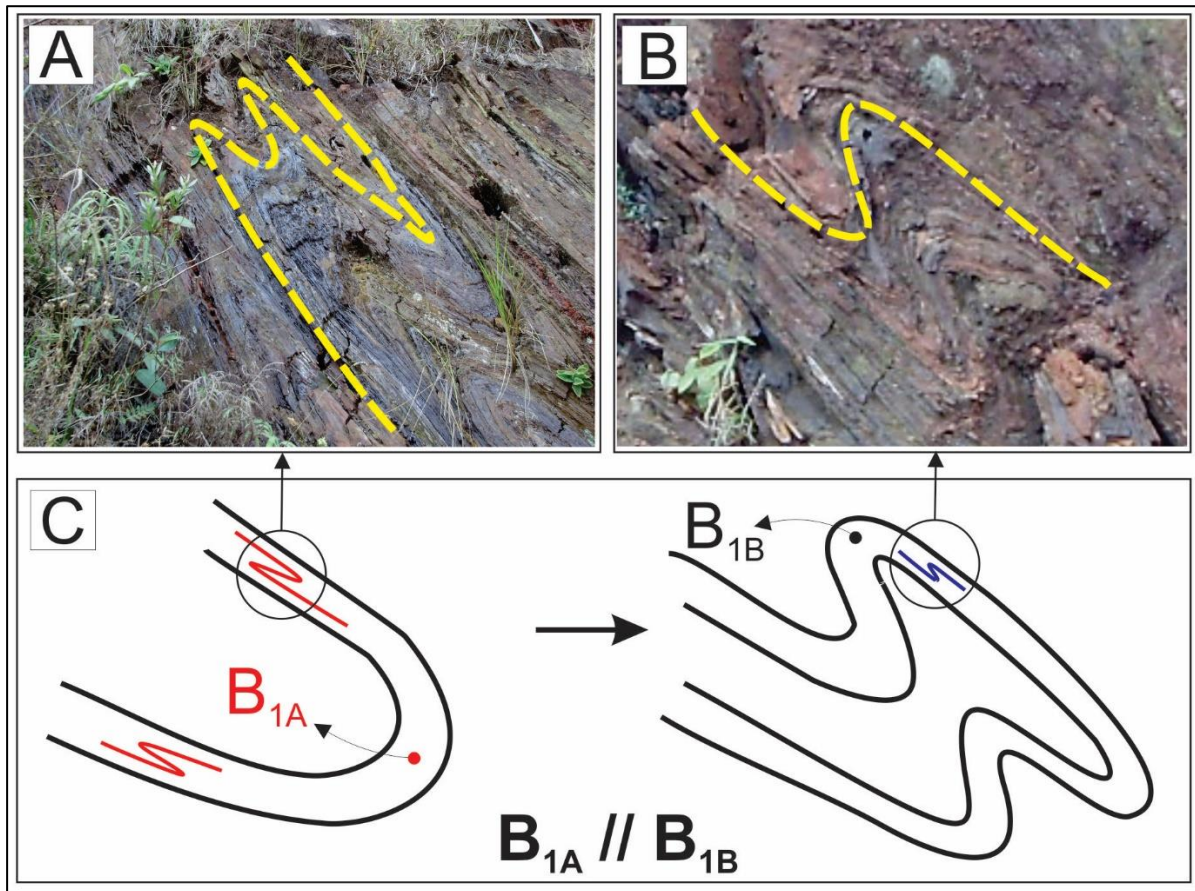


Figura 3.1 – A) Exemplo de dobra B_{1A} com geometria “Z” em itabirito. B) Exemplo de dobra B_{1B} com geometria “S” - dobra superposta à B_{1A} . Tanto os eixos quanto os planos axiais de B_{1A} e B_{1B} são subparalelos. C) Desenho esquemático relacionando as dobras B_1 e a relação de superposição entre B_{1A} e B_{1B} .

Tanto B_{1A} quanto B_{1B} são dobras em que há deslizamento flexural durante sua formação e a consequente abertura de espaço nas suas zonas de charneira. Estes espaços são locais de menor pressão no sistema e tornam-se favoráveis à precipitação de fluidos (*saddle reef* conforme Ramsay & Huber, 1987; Figura 3.3). Se durante o dobramento há a geração de espaço mas não ocorre seu preenchimento por qualquer fluido, a charneira se colapsa e causa deflexão da curvatura das camadas ou lâminas (Ramsay & Huber, 1987). A figura 3.3 D mostra em um mesmo afloramento a presença de *saddle reef* (antiforme) e charneira colapsada (sinforme).

Sobre as dobras B_{1A} e B_{1B} estão desenvolvidas as dobras B_2 com direções praticamente ortogonais às anteriores. As dobras B_2 são de dimensões centimétricas a métricas com perfil aberto a fechado e ocorrem de maneira discreta ao longo do segmento oeste da Serra do Curral. A ocorrência das dobras B_2 se limita aos flancos das dobras B_1 , desaparecendo nas proximidades das charneiras dessas últimas e,

definindo então, o padrão de superposição denominado de *abutting fold* por Simón (2004) em situação em que o mecanismo de dobramento é o deslizamento flexural.

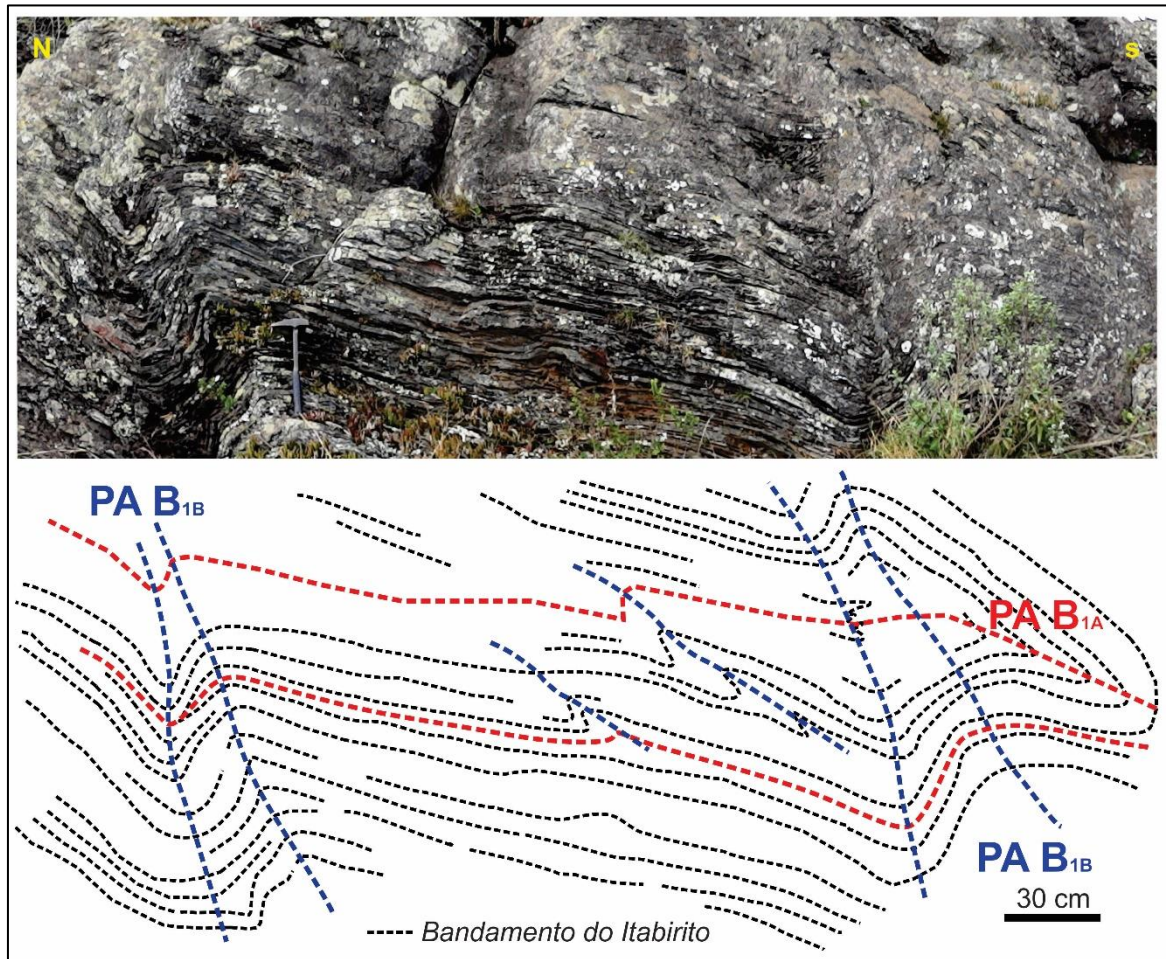


Figura 3.2 – Fotografia (acima) e traços do bandamento itabirítico (abaixo) de afloramento onde observa-se a relação superposição de dobras B_{1B} em B_{1A} em zona de charneira de dobra B_{1B} . PA B_{1A} : traço axial de dobra B_{1A} . PA B_{1B} = traço axial de dobra B_{1B} . Visada para leste. Local: Camargos.

A foliação S_2 é paralela ao plano axial das dobras B_2 e sua interseção com as superfícies S_1 ou S_0 define lineação de interseção paralela ao eixo das dobras B_2 . A figura 3.4 é a representação das relações de superposição entre as dobras B_{1A} , B_{1B} e B_2 e as foliações S_1 e S_2 .

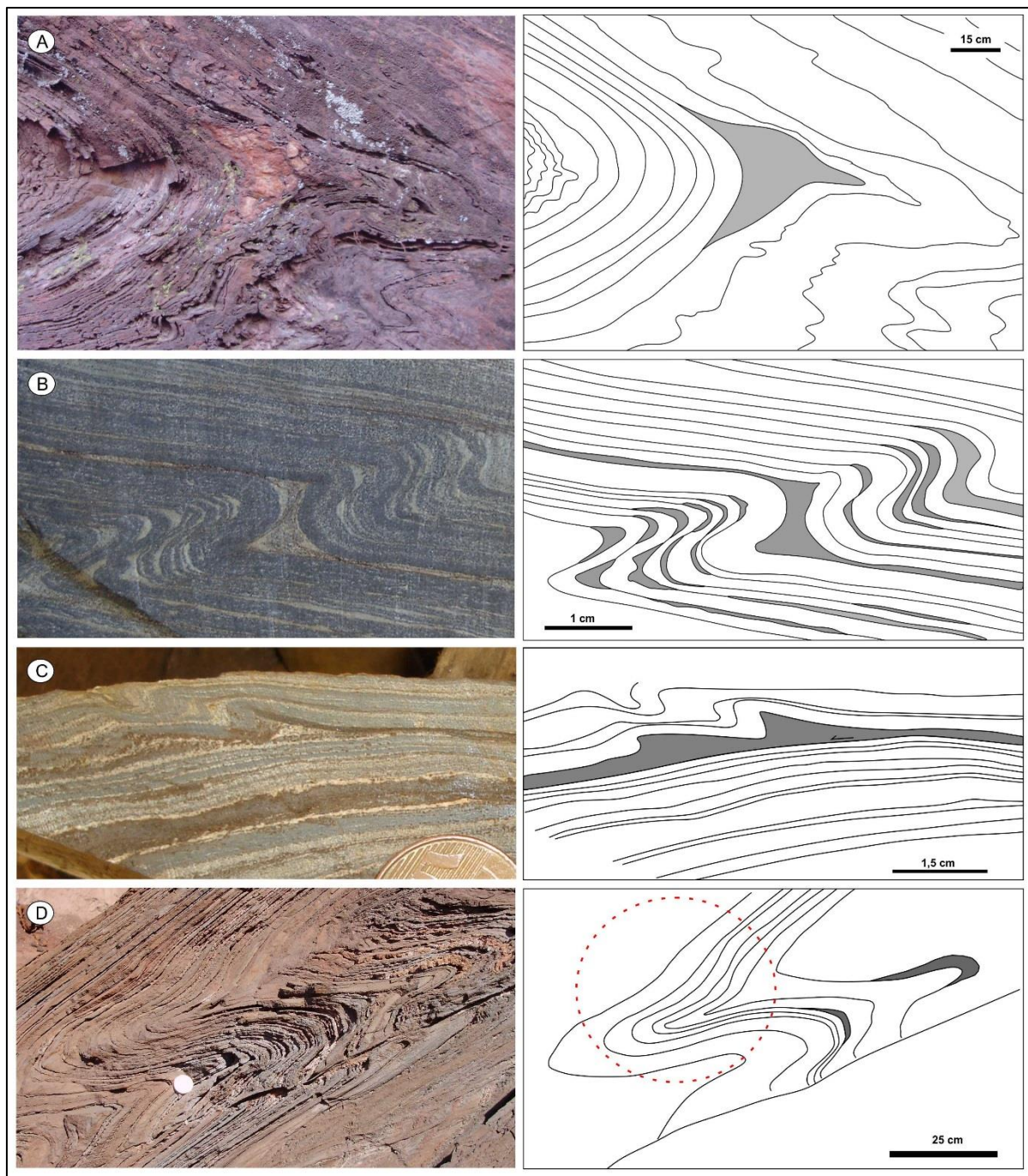


Figura 3.3 – Exemplos de itabirito quartzoso com saddle reefs nas suas zonas de charneira preenchidos por quartzo. Nos croquis ao lado de cada foto o quartzo está representado pela cor cinza. A) Local: Mina Central. B) Local: Mina Esperança, testemunho de sondagem FD087 (220m). C) Local: Mina Esperança, testemunho de sondagem FD 126 (155 m). D) Antiforme com saddle reef de quartzo e sinforme com charneira colapsada (círculo vermelho). Local: Mina Oeste, Local: Mina Central, UTM: 559624E/ 7772832N.

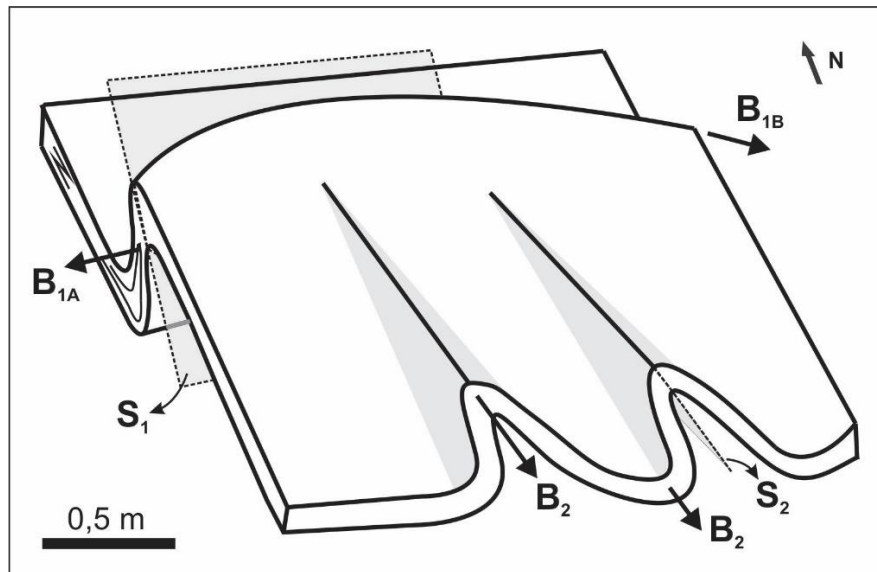


Figura 3.4 – Representação das relações de superposição entre as dobras B_{1A} , B_{1B} e B_2 e as foliações S_1 e S_2 . As dobras B_2 deixam de existir nas proximidades da zona de charneira das dobras B_1 .

Zonas de cisalhamento

Zonas de cisalhamento paralelas à S_0 são comuns no segmento oeste da Serra do Curral e as mais expressivas se desenvolveram sobre as discordâncias sedimentares reativadas durante o dobramento das sequências metassedimentares. Assim, as principais zonas de cisalhamento do segmento oeste da Serra do Curral estão localizados no contato do Gr. Nova Lima com o Gr. Caraça (discordância angular), da Fm. Cauê com a Fm. Cercadinho (discordância erosiva) e da Fm. Moeda com o Complexo granito-gnaissico Souza Noschese (não conformidade).

Nas zonas de cisalhamento as rochas apresentam trama que indica grau de deformação interna maior do que o registrado na rochas adjacentes. No acesso à região de Camargos é onde ocorre o melhor afloramento do contato do Gr. Nova Lima com a Fm. Moeda e nas proximidades do contato (cerca de 30 cm) o quartzito conglomerático da Fm. Moeda mostra uma foliação penetrativa anastomosada ao redor dos clastos com lineação mineral marcada pelo estiramento de mica branca e *ribbons* de quartzo (Foto 3.13). Ao longo do contato da Formação Cauê com a Formação Cercadinho, entre Camargos e o CEAM/MBL o itabirito passa gradualmente a especularita-xisto e marca zona de cisalhamento de aproximadamente 4 m paralela ao acamamento S_0 . A zona de cisalhamento entre o Complexo granito-gnaissico e a Fm. Moeda, na região da Serra das Farofas, possui mergulho de aproximadamente 75° para NNW. O granito foliado com mineralogia principal definida por quartzo, feldspato, muscovita e biotita de granulação média a

grossa passa a quartzo-feldspato-mica-xisto com xistosidade anastomosada que envolve porfiroclastos de feldspato e é paralela ao contato.

Zonas de cisalhamento menos expressivas, com espessuras centimétricas, também foram identificadas no interior do pacote de itabirito da Fm. Cauê (Foto 3.15 e 3.16) e também entre camadas quartzíticas da Fm. Cercadinho. As fotos 3.17 e 3.18 são de uma zona de cisalhamento inversa com cerca de 3 cm de espessura. No seu interior ocorre foliação “SC” e os grãos de quartzo exibem extinção ondulante e contato serrilhado.



Foto 3.13 – Lineação de estiramento mineral (indicada em amarela) em foliação anastomosada de quartzito da Formação Moeda em zona de cisalhamento que ocorre no contato o Grupo Nova Lima. Ponto JC-93 Local: Camargos. UTM: 568059E/7774293N.

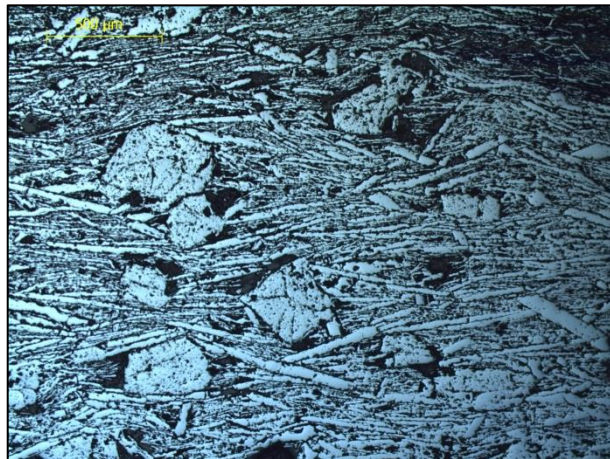


Foto 3.14 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de especularita xisto que ocorre em zona de cisalhamento paralela ao contato entre as formações Cauê e Cercadinho. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/ 7771187N.



Foto 3.15 – Itabirito com bandamento descontínuo e difuso no interior de zona de cisalhamento. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 009 (221 m).

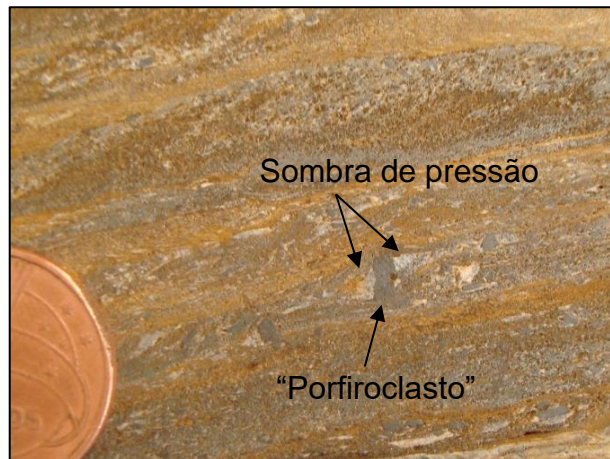


Foto 3.16 – Itabirito do interior de zona de cisalhamento com “porfiroclasto” de fragmento de banda de óxido de ferro com sombra de pressão quartzosa. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD056 (204 m).

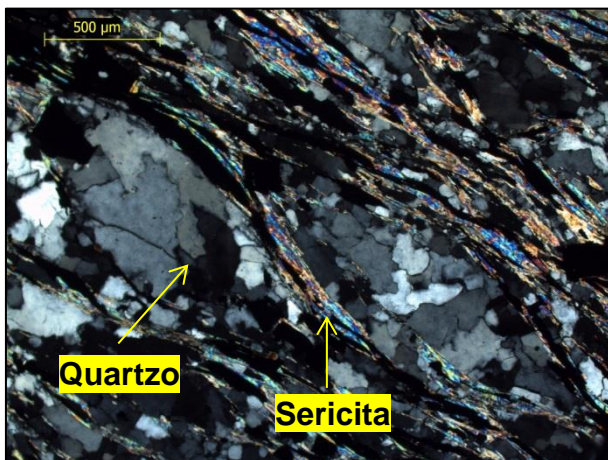


Foto 3.17 - Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada mostrando foliação anastomosada interna à zona de cisalhamento interestratal na Fm. Cercadinho. Os grãos de quartzo tem contato serrilhado extinção ondulante. Amostra JC-219_1. Local: CEAM/MBL. UTM: 554189E/ 7767921N.

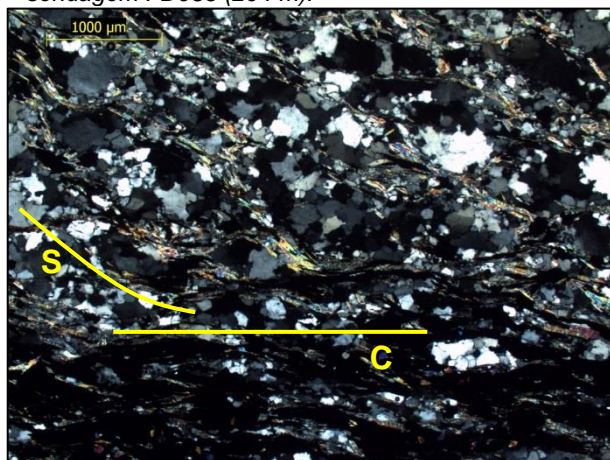


Foto 3.18 - Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada mostrando foliação par de foliação 'SC' em zona de cisalhamento interestratal na Formação Cercadinho. Amostra JC-219_1. Local: CEAM/MBL. UTM: 554189E/ 7767921N.

3.2 – Caracterização dos setores estruturais

A partir da variação dos elementos estruturais S_0 , S_1 e eixo das dobras B_1 , que de maneira geral controlam a direção dos diferentes segmentos da serra, o segmento oeste da Serra do Curral foi aqui dividido em três setores: Oeste, Central e Leste (Figura 3.5). Segue abaixo a caracterização de cada um destes setores bem como a apresentação de outras particularidades.

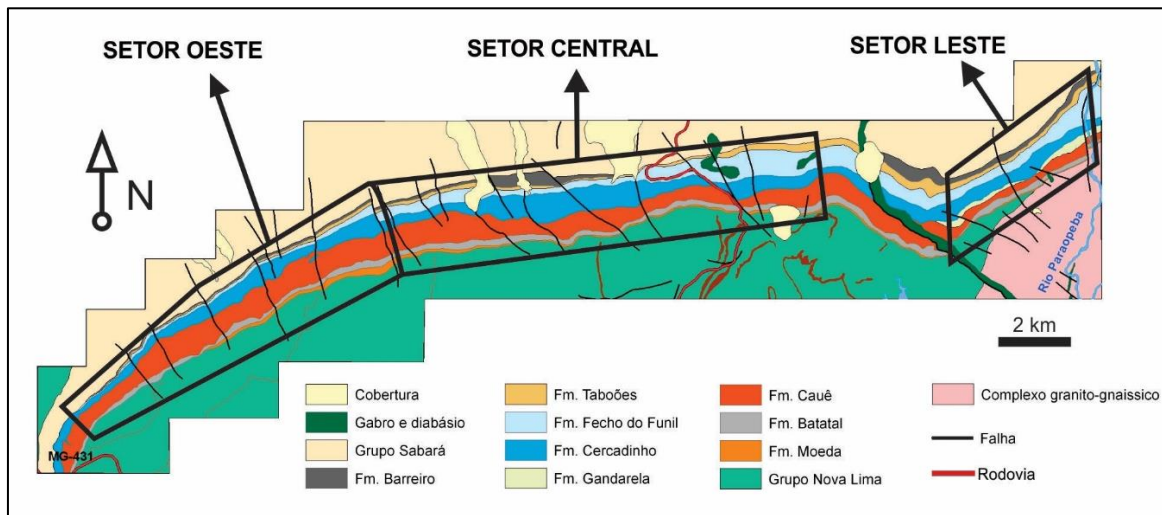


Figura 3.5 – Mapa geológico simplificado com a indicação dos setores estruturais Oeste, Central e Leste do segmento oeste da Serra do Curral.

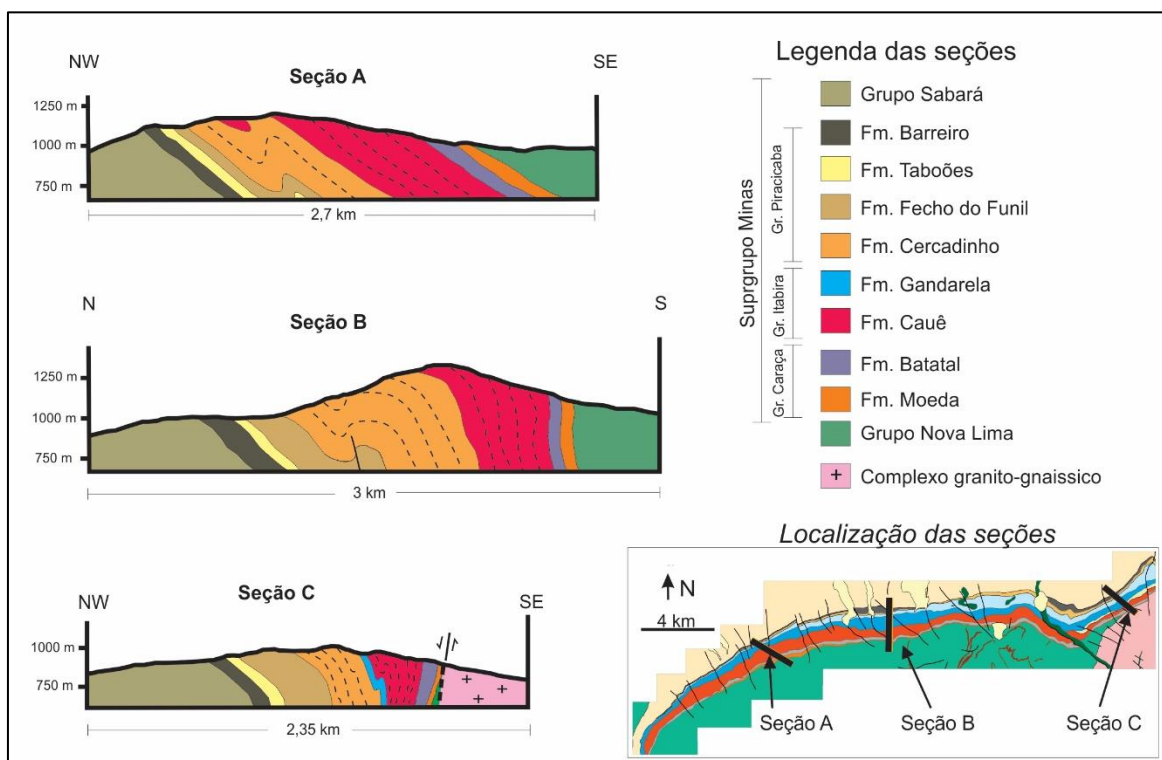


Figura 3.6 – Seções verticais esquemáticas levantadas nas proximidades da Mina Central (Setor Oeste), em Camargos (Setor Central) e na área da Mina Esperança (Setor Leste).

Setor Oeste

Neste setor a serra está alinhada segundo N60E e toda a sequência estratigráfica do Sg. Minas está invertida com mergulho médio de 40 graus para SE e os metapelitos do Grupo Nova Lima repousam sobre o Grupo Caraça (Figura 3.6 – seção A e Anexo C – mapa geológico). Os planos S_0 e S_1 são subparalelos e mostram homogeneidade de atitude com direção predominante NE-SW e mergulho para sudeste (Figura 3.7 e 3.8; Foto 3.19 e 3.20).

Os eixos das dobras B_{1A} e B_{1B} (tratados em conjunto como B_1) são de baixo caimento com sentido que varia entre NE, SE e SW. Em projeção estereográfica (Figura 3.9) a dispersão desses eixos define uma guirlanda de direção NE-SW com mergulho para SE, refletindo seu caráter curvilíneo sobre o plano axial. A guirlanda é subparalela ao plano obtido pela média da foliação S_1 (Figura 3.8).



Foto 3.19 – Exemplo de dobra fechada B_{1A} em “M” com plano axial de mergulho para SE em itabirito da Formação Cauê. Visada para WSW. Local: Mina Central. UTM: 559198,697E / 7772574,86N.

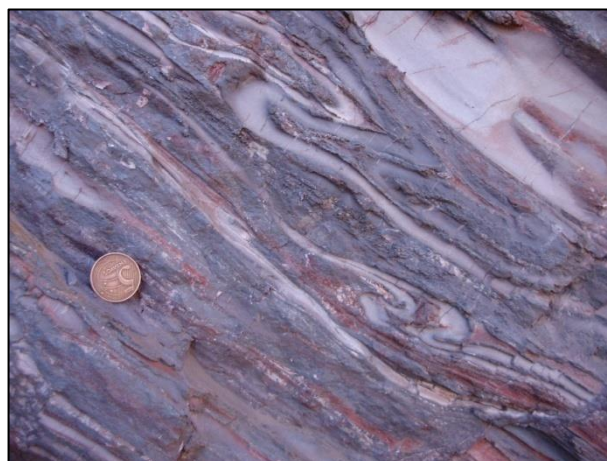


Foto 3.20 – Dobra B_{1B} (isoclinal redobrada) em itabirito da Formação Cauê com plano axial de mergulho para SE. Visada para ENE. Local: Mina Central. UTM: 561389,717E / 7773843,234N.



Foto 3.21 – Eixo de crenulação S_2 em clivagem ardosiária S_1 em filito da Fm. Cercadinho. Local: Camargos. UTM: 568107,743E/7775203,66N.



Foto 3.22 – Sucessão de filito e quartzito da Formação Cercadinho envelopados por itabirito da Formação Cauê. Visada para sudoeste. Local: Mina Central. UTM: 561078,29E/7774016,131N.

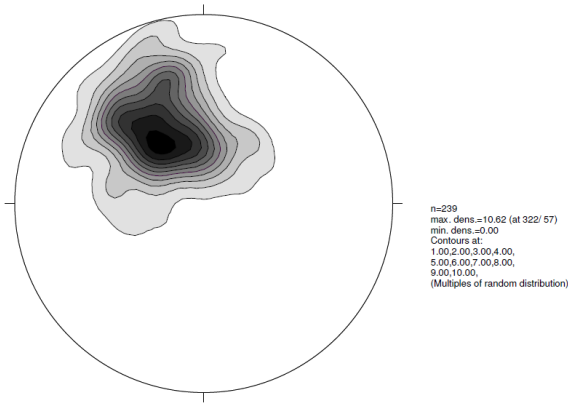


Figura 3.7 – Estereograma de polos do acamamento (S_0) no Setor Oeste. 239 medidas.

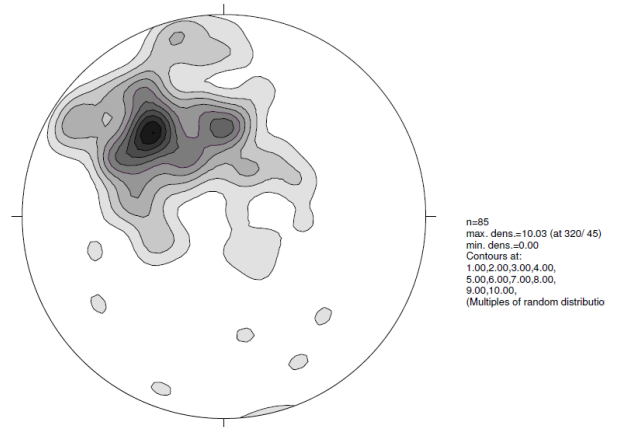


Figura 3.8 – Estereograma de polos da foliação S_1 e Plano Axial das dobras B_1 no Setor Oeste. 85 medidas.

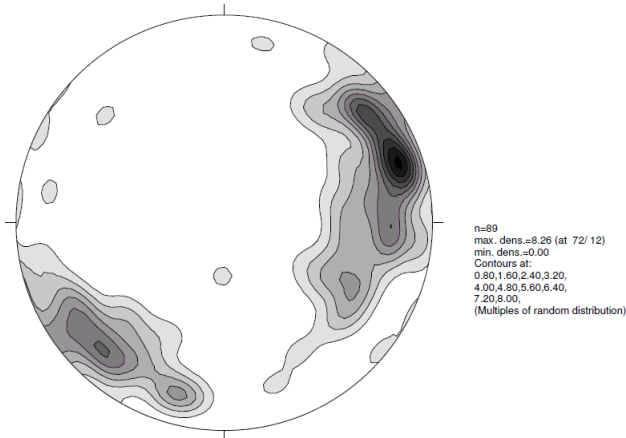


Figura 3.9 – Estereograma de eixo B_1 e linhação de interseção de S_1 com S_0 . 89 medidas.

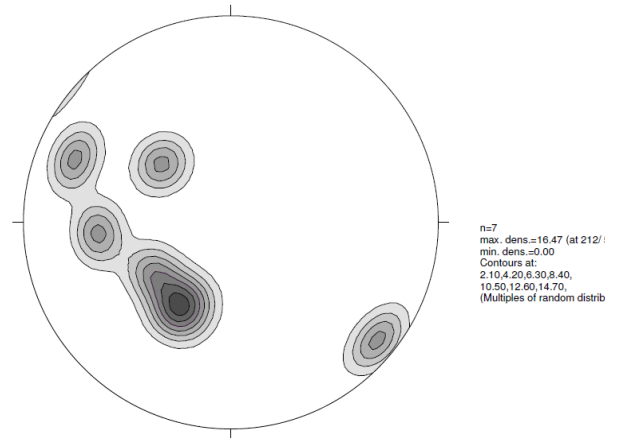


Figura 3.10 – Estereograma de polos de foliação S_2 e plano axial das dobras B_2 do Setor Oeste. 7 medidas.

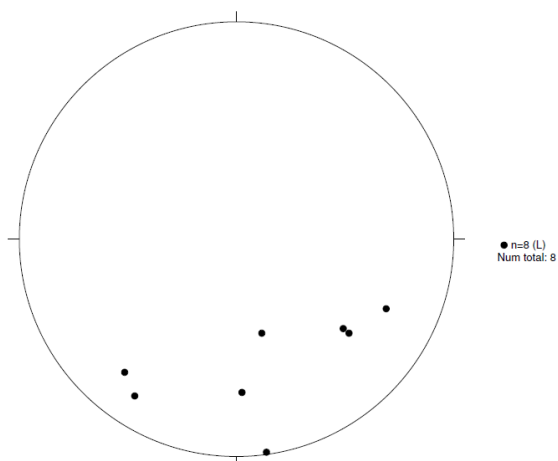


Figura 3.11 – Estereograma de eixos B_2 e linhação de interseção de S_2 com S_1 e com S_0 . 8 medidas.

Os planos axiais de B₂ e a foliação S₂ mergulham predominantemente para NE e SW e a distribuição de seus pontos polares sugere uma guirlanda de direção NW-SE com eixo de dispersão de atitude 36/40 (Figura 3.10). Os eixos das dobras B₂ mais a lineação de interseção entre S₂ e S₁ e S₂ e S₀ possuem caimento suave a moderado entre os quadrantes SE e SW (Figura 3.11 e Foto 3.20).

Nas seções verticais deste segmento (Figura 3.12) nota-se que de sudoeste (Seção A) para nordeste (Seção F) há uma gradativa inflexão e horizontalização de parte superior da Formação Cauê (seção A a D). Na Seção E ocorre repetição estratigráfica e daí para nordeste a Formação Cauê mostra novamente inflexão e horizontalização. Essa repetição ocorre por dobramento (dobra B_{1B}; Figura 3.13) e aflora na cava da Mina Central. Nesse local ocorre sinclinal antiforme isoclinal onde uma sucessão de filito e quartzito da Formação Cercadinho está envelopada por itabirito quartzoso da Formaçã Cauê (Foto 3.18 e Figura 3.13).

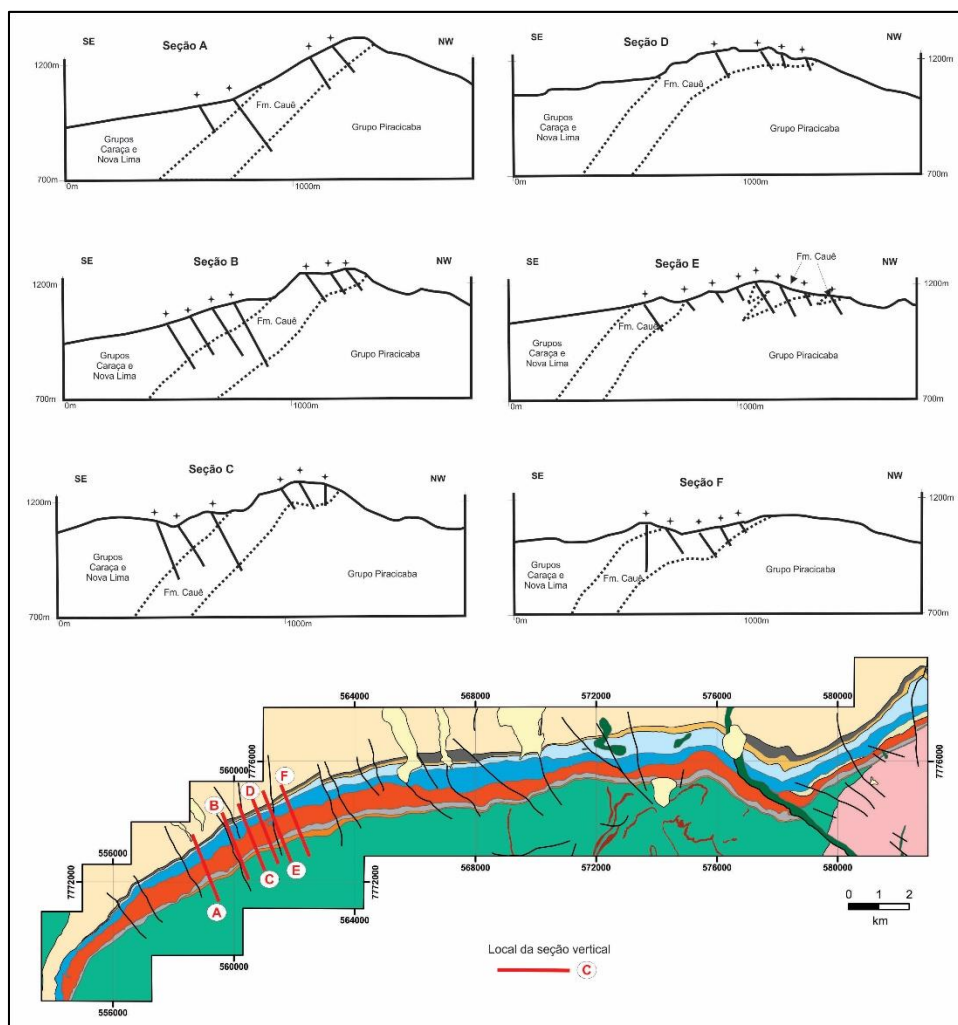


Figura. 3.12 – Seções verticais de direção SE-NW fornecidas pela USIMINAS mostrando os limites (topo e base) da Formação Cauê entre as minas Oeste e Central.

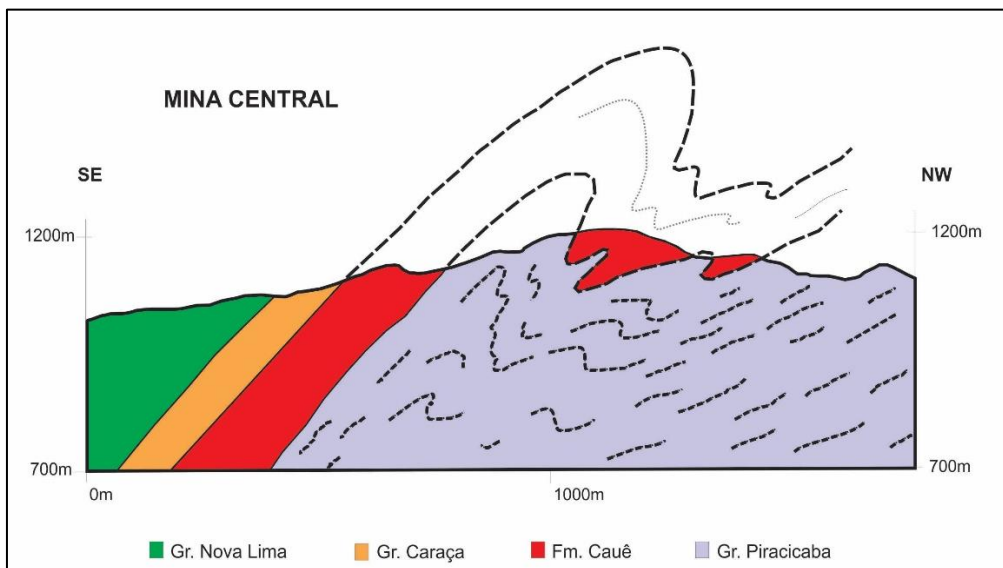


Figura 3.13 – A mesma Seção E da Figura 3.12 mostrando repetição estratigráfica da Fm. Cauê com a Fm. Cercadinho por dobra B_{1B} .

Setor Central

O setor central da serra tem direção N84E e toda a sequência do Supergrupo Minas também está invertida. No entanto, diferente do setor oeste, as unidades basais (Grupo Caraça e Formação Cauê) afloram com mergulhos elevados para SSE e as superiores (Grupo Piracicaba), na vertente norte da serra, apresentam mergulho suave a moderado também para SSE (Figura 3.6 – seção B e Anexo C – Mapa geológico).

Em projeção estereográfica os polos de S_0 e S_1 possuem distribuição muito semelhante configurando guirlandas de atitude N5E/70NW e N15E/65NW, respectivamente (Figura 3.14 e 3.15). Além da distribuição mais evidente em guirlanda N-S de S_1 , também há uma distribuição mais discreta ao longo de guirlanda de direção E-W com eixo de distribuição de caimento suave para SSE.

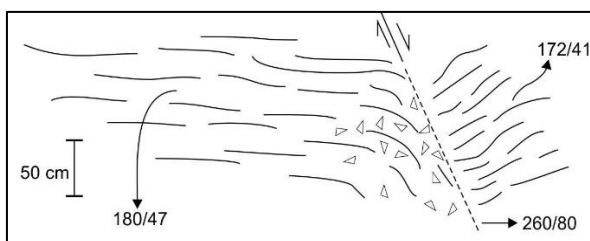
Os eixos das dobras B_1 possuem caimento suave entre as direções ENE e ESE com predomínio para E (Figura 3.16) enquanto os das dobras B_2 são sub-horizontais com caimento para SSE e NNW (Figura 3.17). Nesse setor a foliação S_2 e os planos axiais das dobras B_2 possuem atitude relativamente homogênea com mergulho de aproximadamente 55° para E e ESE (Figura 3.18).

Nesse setor a zona de cisalhamento que ocorre no contato da Formação Moeda com o Grupo Nova Lima tem alto ângulo para sul (Figura 3.6 - seção B) e

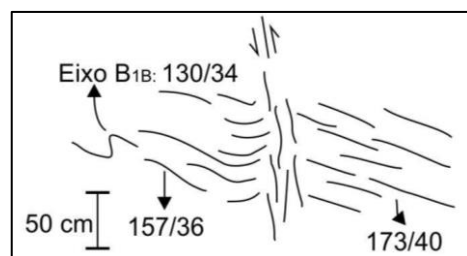
possui lineação mineral marcada pela orientação de mica branca e *ribbons* de quartzo *down dip* na foliação (Foto 3.13).

A figura 3.2 (página 32) representa afloramento desse setor, na região de Camargos. Nesta figura está representado zona de charneira de dobra B_{1B} onde seu plano axial é perpendicular ao bandamento do itabirito e ao plano axial B_{1A} , elementos paralelos que dobrados configuram as dobra B_{1B} .

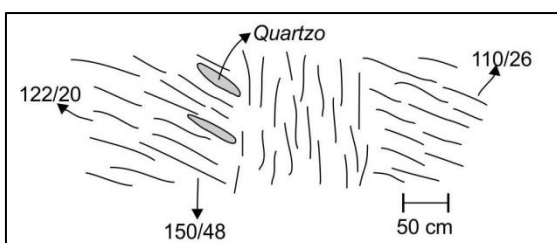
Uma série de zonas de cisalhamento de alto ângulo com zonas de bandamento itabirítico verticalizado e transposto, e falha com brechas associada, ocorre na região da Mina Leste. O croqui 3.1 ilustra uma falha normal de direção NNW que inflexiona o bandamento e possui brecha na lapa enquanto o croqui 3.2 ilustra zona de cisalhamento inversa com direção ENE-WSW. A inflexão do bandamento indica movimento da capa para NNW. Os croquis 3.3 e 3.4 são exemplos de zonas de cisalhamento verticais de direção aproximadamente E-W onde há concentração de óxido de ferro. Veios de quartzo e óxido de ferro ocorrem concordantes a essas zonas e delas ramificam-se como apófises discordantes ou não ao bandamento do itabirito (Croqui 3.4). O croqui 3.5 ilustra corpo compacto de alto teor em ferro limitado por zonas de cisalhamento subverticais. Adjacente ao corpo de alto teor ocorre mineralização concordante ao bandamento do itabirito.



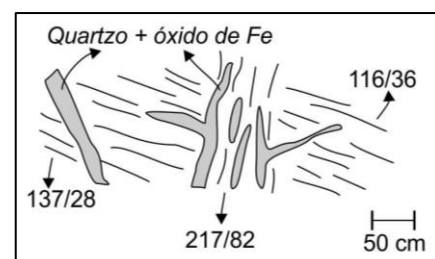
Croqui 3.1 – Falha normal com brecha de falha associada em itabirito da Fm. Cauê. Local: Mina Leste. UTM: 566609,963E/ 7774860,409N.



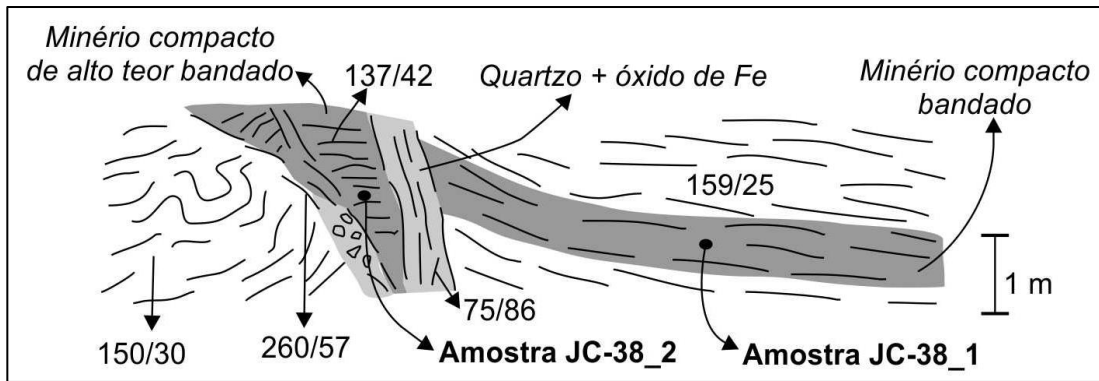
Croqui 3.2 – Falha inversa com bandamento itabirítico verticalizado. Local: Mina Leste. UTM: 566304,646E/ 7774949,957N.



Croqui 3.3 – Zona de cisalhamento vertical em itabirito da Fm. Cauê. QZ=quartzo. Escala: martelo. Local: Mina Leste. UTM: 566298,982E/ 7774932,809N



Croqui 3.4 – Zona de cisalhamento com bandamento verticalizado em itabirito da Fm. Cauê com corpos tabulares concordantes e discordantes de quartzo (QZ) e hematita compacta (HC). Local: Mina Leste. UTM: 566298,982E/7774932,809N.



Croqui 3.5 – Junção de duas zonas verticalizadas com hematita / magnetita compacta bandada entre elas (zona cinza escura) encaixadas em itabirito. Na zona verticalizada ocorre quartzo leitoso com hematita compacta e localmente clastos de quartzo cimentados por óxido de ferro. No itabirito ocorre mineralização concordante ao bandamento. Local: Mina Leste. UTM: 566688,107E/7774908,244N.

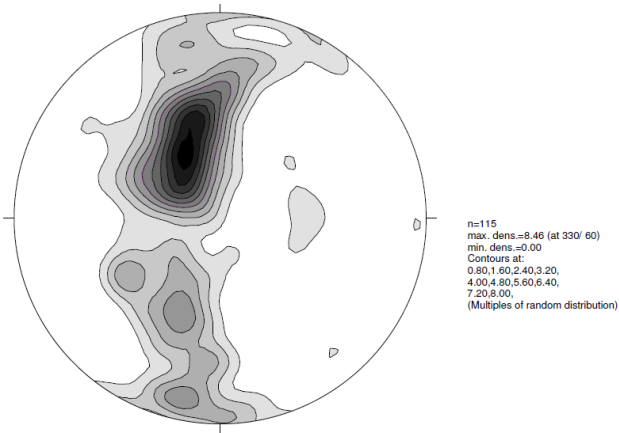


Figura 3.14 – Estereograma com polos de acamamento (S_0) do Setor Central. 115 medidas.

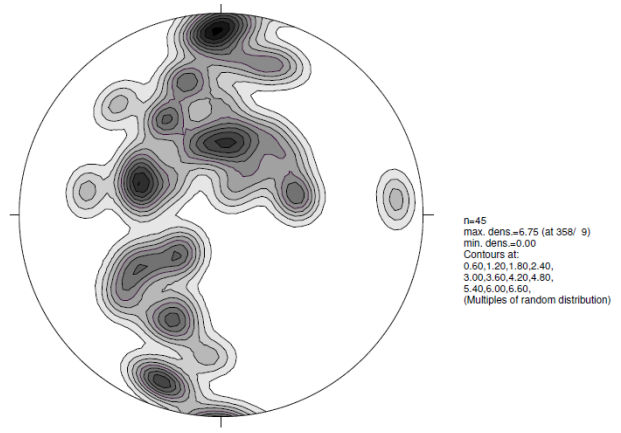


Figura 3.15 – Estereograma com polos de foliação S_1 e plano axial de dobra B_1 no Setor Central. 45 medidas.

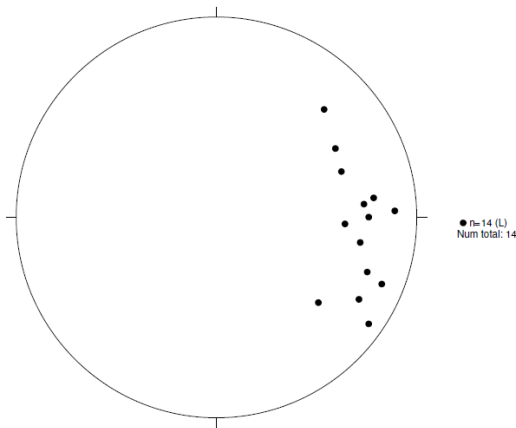


Figura 3.16 – Estereograma com medidas de eixo de dobra B_1 e lineação paralela no Setor Oeste. 14 medidas.

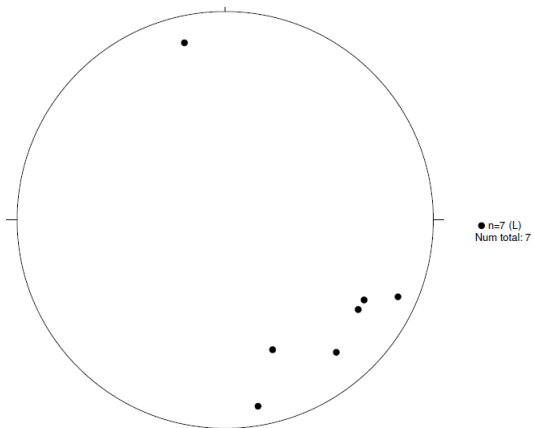


Figura 3.17 – Estereograma com medidas de eixos B_2 no Setor Central. 7 medidas.

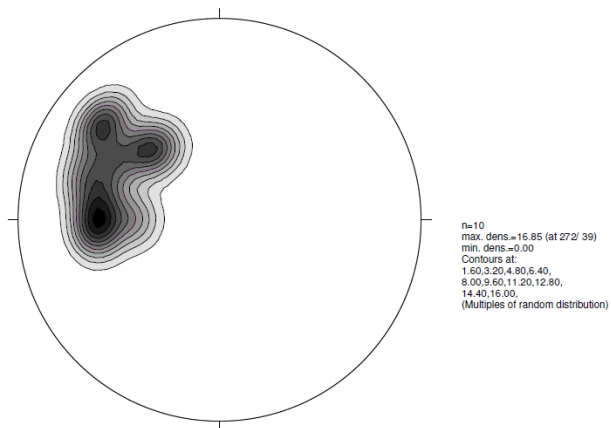


Figura 3.18 – Estereograma com polos de foliação S_2 e plano axial de dobra B_2 no Setor Central. 10 medidas.

Setor Leste

Neste setor a serra tem direção N55E e a Formação Moeda está, em parte da vertente sul, em contato com o Grupo Nova Lima, e em outra, em contato com o Gnaiss Souza Noschese (Complexo granito-gnáissico Bonfim; Figura 3.5 e Figura 3.6 – seção C). Enquanto nos setores Oeste e Central o Grupo Nova Lima ocorre ao longo de toda a vertente sul da serra, neste setor ele se acunha para nordeste entre o complexo granito-gnaissico e o Supergrupo Minas até as proximidades da Mina Esperança (Anexo C – Mapa geológico). A partir daí o contato basal da Formação Moeda é com o Gnaiss Souza Noschese e marcado por zona de cisalhamento normal com mergulho de aproximadamente 75° para NNW (Foto 3.23 e 3.24).

As unidades basais do Supergrupo Minas não estão invertidas nesse setor e suas camadas possuem mergulho íngreme (ca. 70°) para noroeste. Já as unidades superiores, a semelhança dos outros setores, estão invertidas com mergulho para SE (Figura 3.6 – seção C). A descrição e correlação dos dados dos 41 testemunhos dos furos de sonda da região da Mina Esperança distribuídos ao longo de oito seções ortogonais à direção da serra (Anexo B) mostra que esse comportamento das camadas é mantido em profundidades da ordem de 200 a 300 m.

No setor leste a superfície S_0 mergulha predominantemente para SE e NW, configurando dispersão de polos em guirlanda de direção NW-SE (Figura 3.19) com polo de atitude 60/25. De modo semelhante a foliação S_1 também mostra mergulho mais freqüente para ESSE e, de maneira mais sutil, mostra dispersão ao longo de duas guirlandas (Figura 3.20), uma de direção NNW com polo de dispersão 78/50 e outra mais discreta com direção NW-SE com polo 211/27. O croqui 3.6 de dobra B_{1A} em itabirito e os croquis 3.7 e 3.8 são de pequenas dobras B_{1B} em itabirito e filito, respectivamente. No croqui 3.9 está representado arranjo sigmoidal da foliação S_1 .

Os eixos das dobras B_1 tem direção geral E-W e possuem caimento mais suave para E do que para W (Figura 3.21) indicando dispersão em torno de eixo sub-horizontal com direção aproximadamente N-S.

A foliação S_2 ocorre nesse setor predominantemente como clivagem de crenulação e possui mergulho para ESE e ENE. Em projeção estereográfica (Figura 3.22) observa-se que a dispersão dos polos de S_2 ocorre ao longo de possível guirlanda de direção NE-SW com eixo de dispersão 130/42. Os eixos B_2 mostram caimento suave a moderado para SSW e para NE (Figura 3.23).

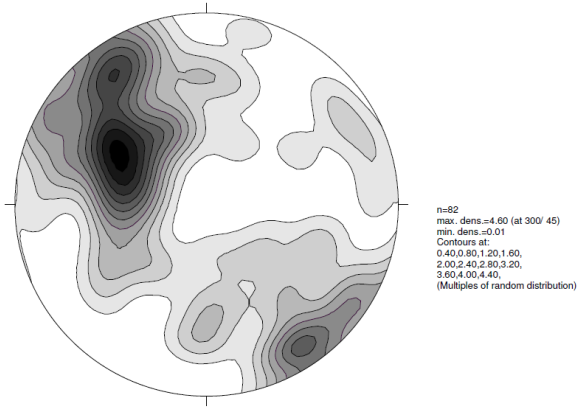


Figura 3.19 – Estereograma de polos do acamamento (S_0) no Setor Leste. 82 medidas.

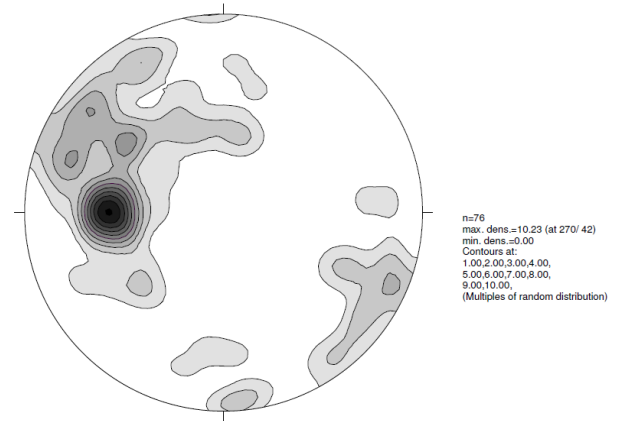


Figura 3.20 – Estereograma de polos da foliação S_1 e plano axial de dobras B_1 no Setor Leste. 76 medidas.

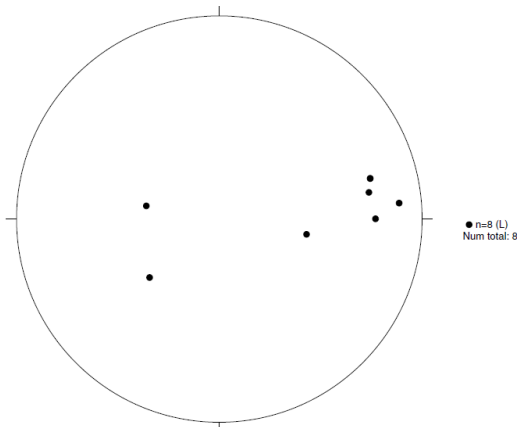


Figura 3.21 – Estereograma de eixo de dobra B_1 no Setor Leste. 8 medidas.

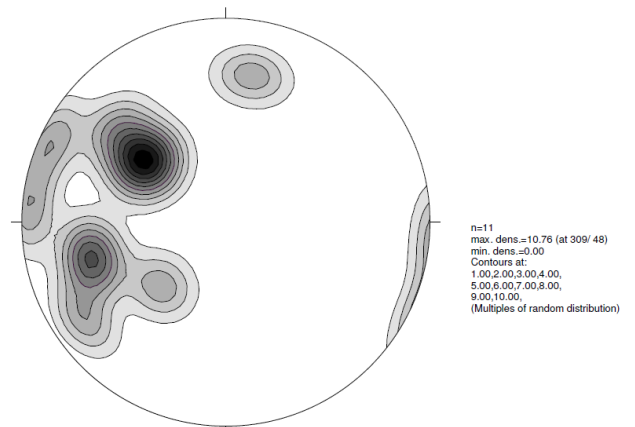


Figura 3.22 – Estereograma de polos da foliação S_2 e plano axial de dobra B_2 no Setor Leste. 11 medidas.

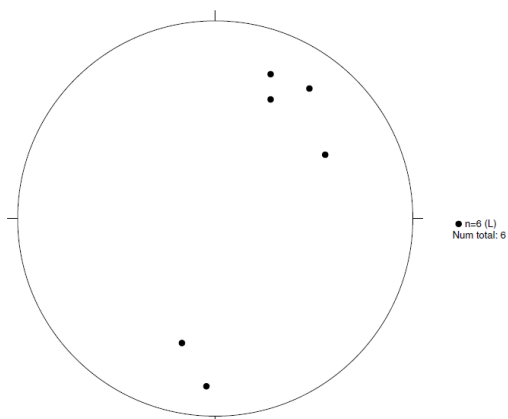


Figura 3.23 – Estereograma de eixo de dobra B_2 no Setor Leste. 6 medidas.

No croqui 3.10 estão representadas falhas normais com brecha associada. Essas falhas têm direção aproximadamente N-S com mergulho para leste e, normalmente, possuem nas suas proximidades dobras com plano axial de baixo mergulho para WSW e eixos com caimento suave para norte ou sul.

As fotos 3.25, 3.26, 3.27 e 3.28 são exemplos de dobras B_1 descritas nos testemunhos de sondagem da região da Mina Esperança. Elas são fechadas a isoclinais e ilustram como os perfis dessas dobras podem variar.

Nessa mina ocorre o maior corpo de minério de ferro compacto do segmento oeste da Serra do Curral. Esse corpo é subvertical com direção NE-SW, paralelo à serra, e tem geometria em cunha que se afina em profundidade (Figura 3.24). Ele representa o limite entre o domínio de camadas invertidas com mergulho para sudeste e a região onde as camadas não estão invertidas e possuem mergulho elevado para noroeste. Dessa forma este corpo de minério é em parte concordante às camadas e em parte discordante.

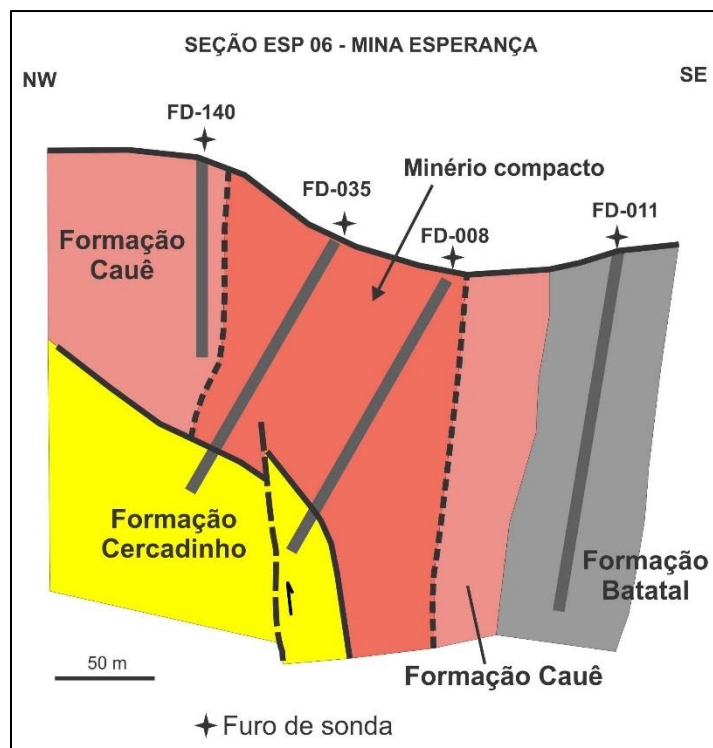
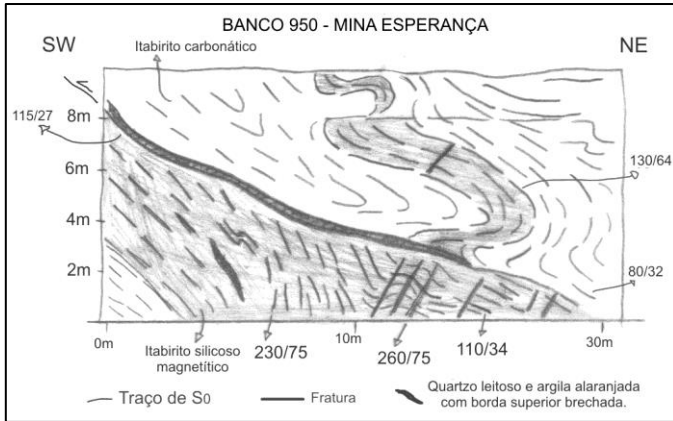
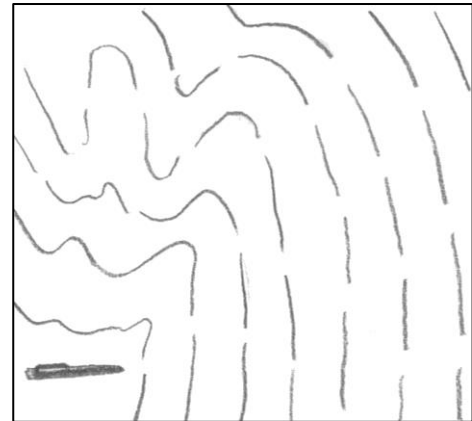


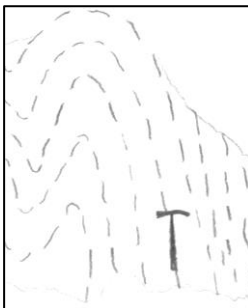
Figura 3.24 – Seção ESP 06 interpretada mostrando o principal corpo de minério de ferro compacto da Mina Esperança. A sudeste do corpo as camadas mergulham para noroeste enquanto a noroeste dele elas mergulham para sudeste. No anexo B está apresentada a descrição litológica dos testemunhos.



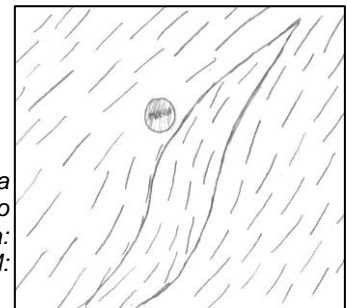
Croqui 3.6 - Seção em Banco 950 na Mina Esperança ilustrando dobra B_{1A} com flancos rompidos em itabirite e zona de cisalhamento paralela ao seu plano axial. UTM do início da seção: 581124E/7776282N.



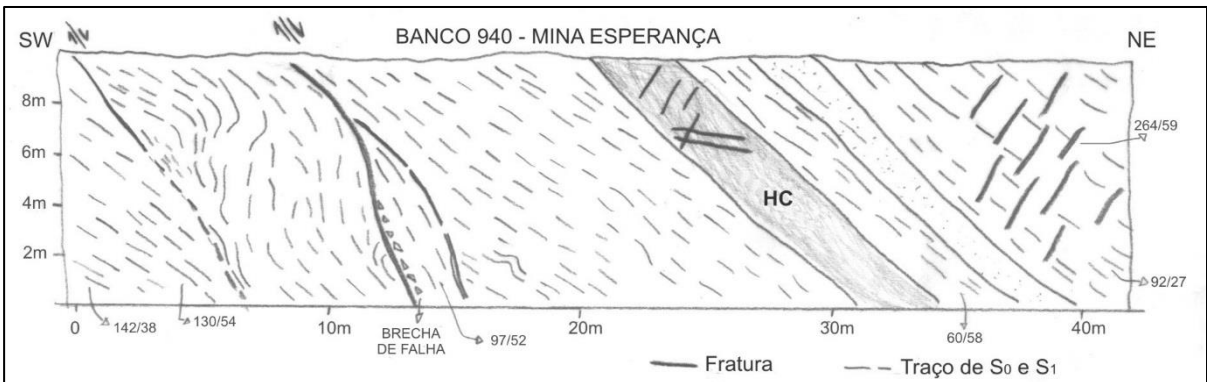
Croqui 3.7 - Dobra B_{1B} fechada a isoclinal em itabirite quartzoso na cava da Mina Esperança. Visada para NE. Escala: caneta (15 cm).



Croqui 3.8 - Dobra B_{1B} em foliação S_1 de filito da Formação Batatal na cava da Mina Esperança. Visada para NE. UTM: 581241,629E/7776124,588N.



Croqui 3.9 - Sigmóide de foliação S_1 em filito da Formação Batatal indicando movimento reverso com topo para NW. Visada para SW. Escala: Moeda. Local: Cava da Mina Esperança. UTM: 581342E/7776084N.



Croqui 3.10 - Seção no Banco 940 da Mina Esperança mostrando falhas normais de direção N-S com brecha associada e veio de óxido de ferro compacto (HC) concordante a S_0 e S_1 em quartzitos e filitos da Formação Cercadinho. UTM do fim da seção: 581020E/777620N.

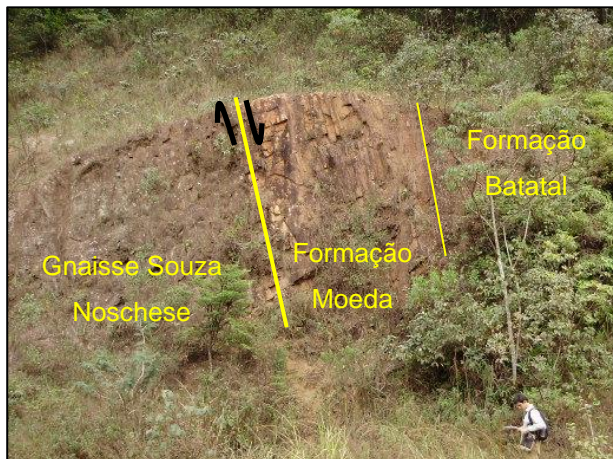


Foto 3.23 – Contato entre Gnaisse Souza Noschese e Formação Moeda em corte de Ferrovia na margem oeste do Rio Paraopeba. O contato entre as formações Moeda e Batatal também está indicado. Visada para oeste. UTM: 582642E/ 7777010N

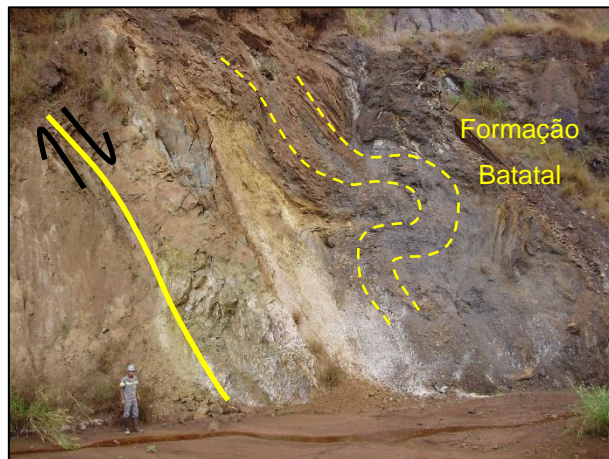


Foto 3.24 – Zona de cisalhamento normal no contato entre o Gnaisse Souza Noschese e a Formação Moeda e indicação em linha amarela tracejada de dobra em filito da Formação Batatal associada à movimentação da zona cisalhamento. Local: Cava da Mina Esperança. Visada para SW. UTM: 581359E / 7776057N.



Foto 3.25 – Dobras similares milimétricas em itabirito carbonático da Fm. Cauê. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 144 (40 m).



Foto 3.26 – Dobra isoclinal em itabirito da Fm. Cauê. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 024 (312 m).



Foto 3.27 – Dobras em chevron em Itabirito carbonático da Fm. Cauê. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 144 (42m).



Foto 3.28 – Zona de charneira de dobra B1 em itabirito da Formação Cauê. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 009 (155 m).

4 – Caracterização das acumulações de ferro de alto teor

No segmento oeste da Serra do Curral ocorrem corpos compactos de alto teor em Fe (> 91 % de Fe_2O_3) com dimensões que variam da escala de depósito, como na Mina Esperança, a corpos tabulares concordantes e discordantes, métricos e centimétricos, no restante da serra. Estes corpos estão hospedadas predominantemente na Formação Cauê, embora também ocorram como veios nas rochas do Grupo Piracicaba (Foto 4.1, 4.2 e 4.3). A seguir serão apresentadas características químicas e mineralógicas destas acumulações. Em ambas as situações a composição mineralógica é semelhante, com predomínio de magnetita/kenomagnetita, martita e hematita. A tabela 5.1 apresenta a concentração dos elementos maiores das amostras analisadas e na figura 4.1 estão indicados os locais de todas as amostras analisadas. Juntos, Fe_2O_3 e SiO_2 correspondem a mais de 96% da composição de todas as amostras com exceção da amostra *JC-148*, que possui 9,67 % de Al_2O_3 . Em todas as outras amostras a soma dos componentes TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , MgO , CaO , K_2O , P_2O_5 , Cr_2O_3 não é superior a 1,8%.

Tabela 4.1 - Concentração dos elementos maiores dos diferentes tipos de acumulação compactas de alto teor em ferro e itabirito do segmento oeste da Serra do Curral.

	Amostra	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	Cr_2O_3	LOI	Total %
Veio no Grupo Piracicaba	<i>JC-248</i>	23,57	0,02	0,29	76,09	0,04	0,11	<0.01	0,03	<0.01	0,009	-0,2	99,96
	<i>JC-148</i>	10,68	0,44	9,67	72,77	0,25	0,02	<0.01	<0.01	0,09	0,036	5,9	99,86
	<i>JC-128</i>	2,43	0,15	1,49	94,31	0,04	<0.01	0,01	<0.01	<0.01	0,010	1,5	99,94
Xisto especularítico	<i>JC-105</i>	2,24	0,03	1,06	95,45	0,02	0,05	<0.01	0,39	<0.01	0,007	0,5	99,75
	<i>JC-194</i>	1,65	0,11	0,78	97,03	0,03	0,02	<0.01	0,13	<0.01	0,007	0,1	99,86
Acumulação na Formação Cauê	<i>JC-38_2</i>	8,52	0,01	0,39	90,43	0,02	0,02	<0.01	0,01	<0.01	0,011	0,6	100,01
	<i>JC-130</i>	1,79	0,20	0,68	96,38	0,04	0,05	0,07	<0.01	0,17	0,012	0,6	99,99
	<i>JC-163</i>	2,23	<0.01	0,08	97,21	0,03	<0.01	0,13	<0.01	0,10	0,013	0,2	99,99
	<i>JC-195_3</i>	2,08	0,03	1,70	94,70	0,05	0,01	<0.01	<0.01	0,03	0,009	1,4	100,01
	<i>JC-191</i>	0,98	0,02	0,56	97,85	0,03	0,02	0,01	<0.01	0,05	0,018	0,4	99,88
	<i>JC-38_1</i>	19,36	0,06	0,15	79,99	0,02	0,02	<0.01	<0.01	<0.01	0,004	0,4	100,00
Itabirito	<i>JC-F3</i>	40,84	<0.01	0,16	58,95	0,04	<0.01	<0.01	0,010	<0.01	0,006	0,0	100,01
	<i>JC-195_2</i>	37,23	0,06	0,92	34,78	0,20	7,41	7,80	0,28	0,09	0,004	11,1	99,87

LOI: Perda ao fogo

As acumulações alojadas junto ao itabirito podem ser *stratabound*, acompanhando a estrutura do bandamento primário da rocha (Foto 5.4), ou concentradas em zonas de cisalhamento ou em charneiras de dobras B_1 . Elas também podem ser discordantes, ocorrendo como veios ou brechas cimentadas por óxido de ferro (Foto 4.5 e 4.6). A textura dessas acumulações varia entre bandada, maciça ou xistosa. A textura bandada é marcada pela variação de porosidade entre

as bandas (Foto 4.7 e 4.8) e a maciça é praticamente isenta de poros (Foto 4.9). A variedade xistosa (Foto 4.10) é restrita às proximidades do contato da Formação Cauê com a Formação Cercadinho nos setores oeste e central, entre Camargos e a Mina Oeste. Os veios que ocorrem nas rochas do Grupo Piracicaba são maciços.

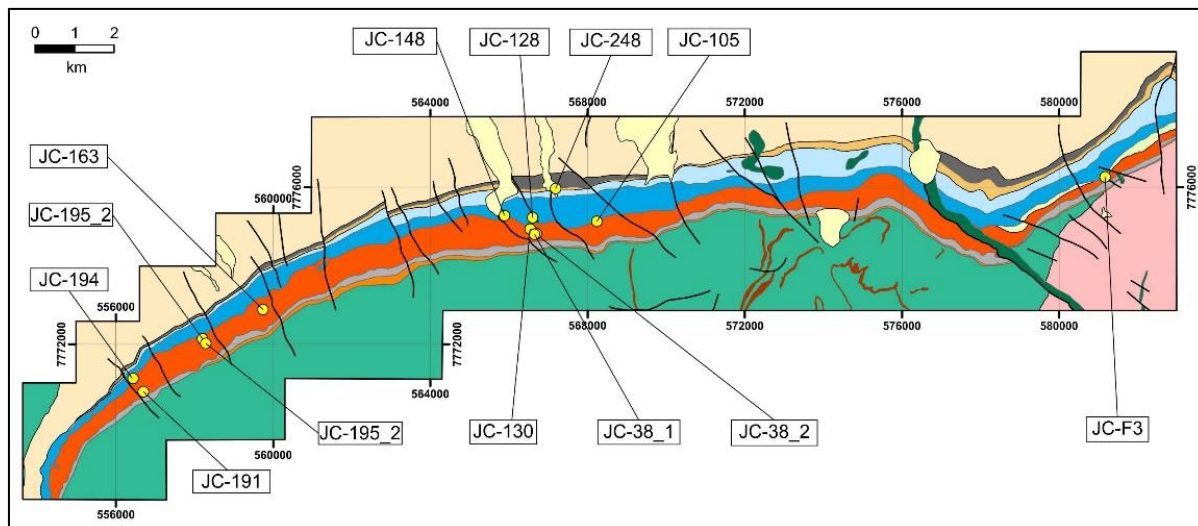


Figura 4.1 – Mapa de localização das amostras de minério de ferro e itabirito analisadas.

Mineralogia

A partir da descrição das seções polidas verificou-se que a composição mineralógica dos corpos de alto teor hospedados em itabirito da Formação Cauê, seja bandado ou maciço, é semelhante à composição dos veios de óxido de ferro nas rochas do Grupo Piracicaba. Através da análise microscópica textural é possível identificar que a primeira geração de óxido de ferro nas amostras das acumulações de alto teor é a magnetita/kenomagnetita e, a partir da transformação dessa fase mineral são formadas as outras gerações de hematita.

Nos corpos hospedados na Formação Cauê a magnetita/kenomagnetita ocorre como grãos idiomórficos a hipidiomórficos de aproximadamente 100 μm (Foto 4.11), mas pode ocorrer com até 1200 μm . Estes cristais normalmente estão martitizados e sob luz polarizada mostram-se com uma textura em treliça (Foto 4.12). A mostra JC-38_2 é representativa de um corpo formado basicamente por cristais de magnetita/kenomagnetita localmente martitizados e quartzo. Nos veios do Grupo Piracicaba os cristais de magnetita/kenomagnetita martitizados podem atingir até 900 μm .

Hematita com bordas lobada e/ou serrilhada ocorre como massa pseudomórfica sobre os cristais de magnetita/kenomagnetita e martita (Foto 4.13 e

4.14). O tamanho dos grãos dessa variedade de hematita varia de 10 a pouco mais de uma centena de micrômetros. Outra variedade de hematita que ocorre no minério é fina com hábito lamelar (hematita microlamelar). Esses grãos tem tamanho de aproximadamente 15 a 40 μm e ocorrem ao redor dos cristais de martita e dos pseudomorfos de hematita lobada/serrilhada sobre magnetita/kenomagnetita (Foto 4.15, 4.16 e 4.17).

Outra geração de hematita é granoblástica equidimensional com aproximadamente 30 μm . O contato entre os grãos é reto e as junções tríplices entre eles são comuns (Foto 4.18). Na massa onde ocorrem grãos desse tipo a porosidade é elevada. Esse tipo de hematita foi descrita apenas em amostra de acumulação bandada (amostra JC-191) e nessa amostra o bandamento é marcado pela intercalação de bandas porosas de hematita granoblástica com bandas pouco porosas composta por cristais idiomórficos de magnetita/kenomagnetita.

A specularita é a variedade de hematita com hábito tabular que predomina na variedade de alto teor xistosa e ocorre como grãos de até 1000 μm definindo uma textura lepidoblástica (Foto 4.19 e 4.20). Esse tipo de rocha ocorre no contato entre as formações Cauê e Cercadinho e possui uma espessura de poucos metros. Quando presente, os cristais de martita estão envolvidos pela specularita. Localmente ocorrem relictos de kenomagnetita nos cristais de martita e também na specularita.

Além do quartzo, que é o segundo componente mais comum nas acumulações compactas de ferro de alto teor do segmento oeste da Serra do Curral, também foram identificados como componentes acessórios: goetita, monazita, xenotima e zircão. Os grãos de zircão são arredondados a subarredondados, fraturados e essencialmente encontrados nos veios de óxido de ferro que ocorrem nas rochas do Grupo Piracicaba (Foto 4.21). São grãos herdados das rochas encaixantes. Monazita e xenotima foram observadas nas amostras JC-130 e JC-148 e ocorrem como finos grãos em equilíbrio textural com os óxidos de ferro. A goetita ocorre em algumas amostras e parece resultar da alteração dos óxidos de ferro (Foto 4.22).

Na amostra JC-194 de specularita-xisto ocorrem nódulos compostos por mica branca. Eles têm forma elíptica, tamanho entre 0,2 a 1,1 mm e estão envolvidos pela foliação specularítica (Foto 4.23 e 4.24).



Foto 4.1 – Veio de óxido de ferro concordante com a foliação S_1 em filito da Formação Cercadinho. Local: Minas Leste. UTM 566668E/7774989N.



Foto 4.2 – Vênulas de óxido de ferro em quartzito da Formação Taboões. UTM: 567080E/7775923N.



Foto 4.3 – Veio de óxido de ferro com quartzo encaixado em filito da Formação Cercadinho. Local: Mina Esperança. UTM: 581015E/7776221N.



Foto 4.4 – Mineralização concordante ao bandamento de itabirito. Local: Mina Oste. UTM 558086E/7772188N.



Foto 4.5 – Corpo de minério compacto hospedado em itabirito da Formação Cauê limitado por zonas verticalizadas. Na zona verticalizada ocorre óxido de ferro e quartzo e entre as duas zonas a acumulação de alto teor é bandada. Local: Mina Leste. UTM:566688,107E/7774908,244N – Croqui 3.5.



Foto 4.6 – Brecha em itabirito com cimento de óxido de ferro. Local: Mina Central. UTM: 561389E/7773843N.



Foto 4.7 – Minério de ferro com bandamento preservado. Local: Mina Esperança. Testemunho de sondagem FD 008 (105 m de profundidade).



Foto 4.8 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de minério com bandamento marcado pela diferença de porosidade. As bandas escuras são mais porosas do que as claras. Amostra JC-163. Local: Mina Central. UTM: 559699E/7772912N



Foto 4.9 – Minério de ferro maciço. Local: Mina Esperança. Furo de Sonda FD 008 (90m de profundidade).



Foto 4.10 – Especularita-xisto. Local: Camargos. UTM: 568126E/7775097N

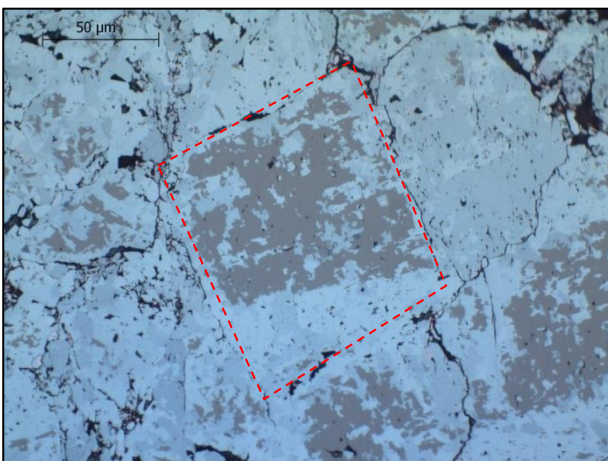


Foto 4.11 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de cristal idiomórfico de magnetita/kenomagnetita em minério hospedado na Formação Cauê. Amostra JC-191. Local: Mina Oeste. UTM: 556636E/7770786N.

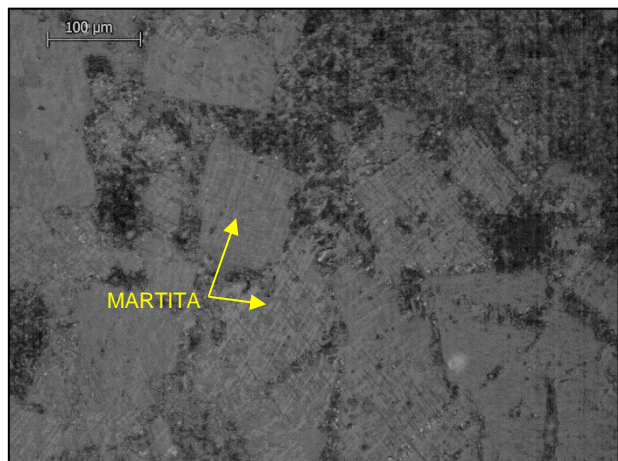


Foto 4.12 – Fotomicrografia sob luz refletida polarizada de martita em minério hospedado na Formação Cauê. Amostra JC-195_3. Local: Mina Oeste. UTM: 558086E/7772188N.

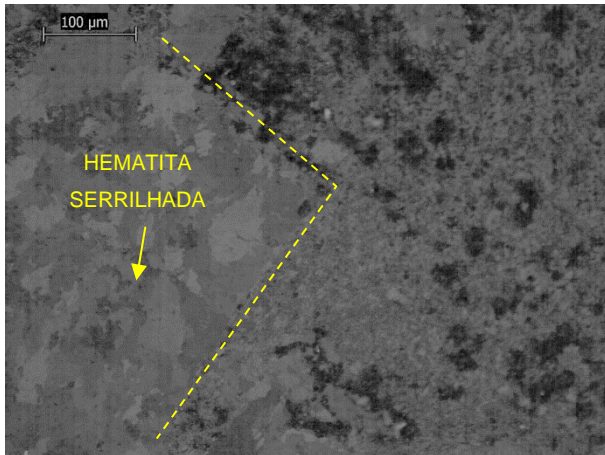


Foto 4.13 – Fotomicrografia sob luz refletida polarizada de pseudomorfo de massa de hematita serrilhada sobre magnetita/kenomagnetita. A linha tracejada amarela indica a borda do pseudomorfo. Amostra JC-128. Local: Mina Leste. UTM: 566669E/7774989N.

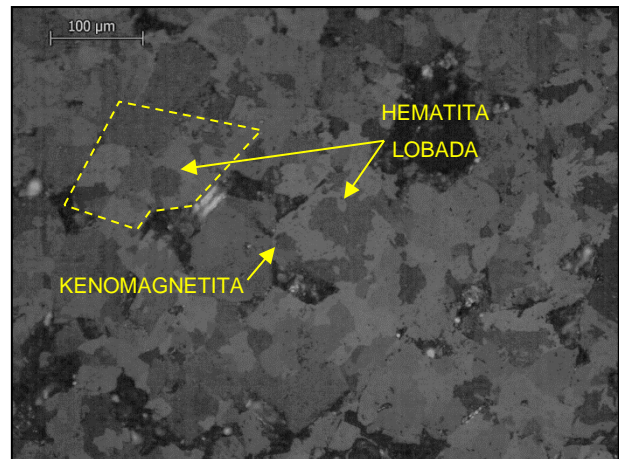


Foto 4.14 – Fotomicrografia sob luz refletida polarizada de massa de grãos de hematita lobada. Localmente é possível identificar pseudomorfo de massa de hematita lobada sobre magnetita/kenomagnetita. Relicto de kenomagnetita em meio a massa de hematita lobada está indicado. Amostra JC-130. Local: Mina Leste. UTM: 566540E/7774944N.

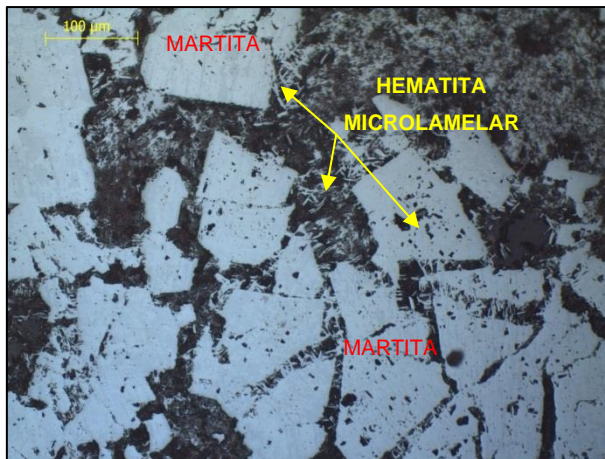


Foto 4.15 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada mostrando grãos de hematita microlamelar ao redor de cristais martita. Amostra JC-195_3. Local: Mina Oeste. UTM: 558086E/7772188N.

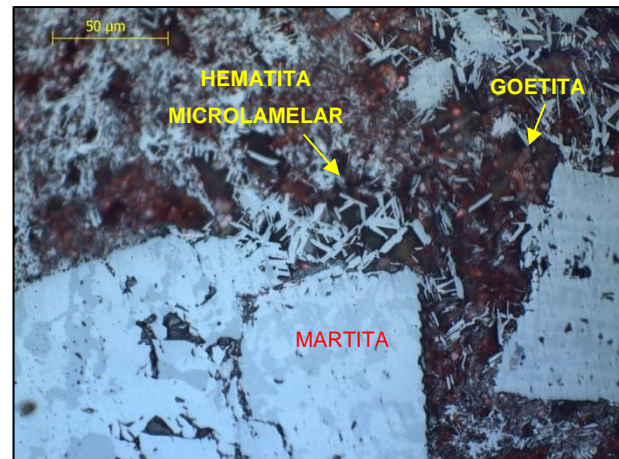


Foto 4.16 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada mostrando detalhe dos grãos de hematita microlamelar ao redor de cristais martita. Amostra JC-195_3. Local: Mina Oeste. UTM: 558086E/7772188N.

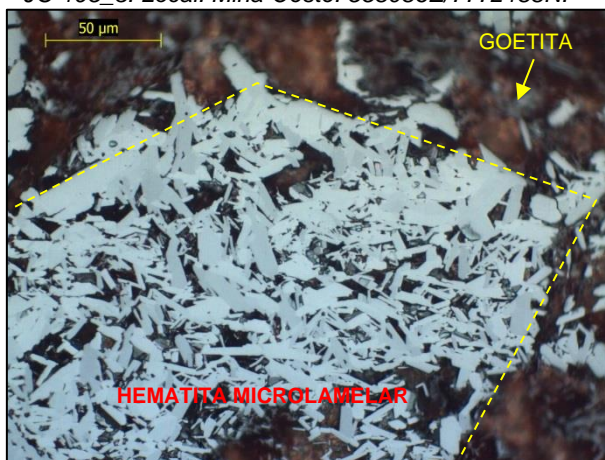


Foto 4.17 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada mostrando agregado de grãos de hematita microlamelar como pseudomorfo sobre martita em veio na Formação Cercadinho. Amostra JC-148. Local: Mina Leste. UTM: 565965E/7775177N.

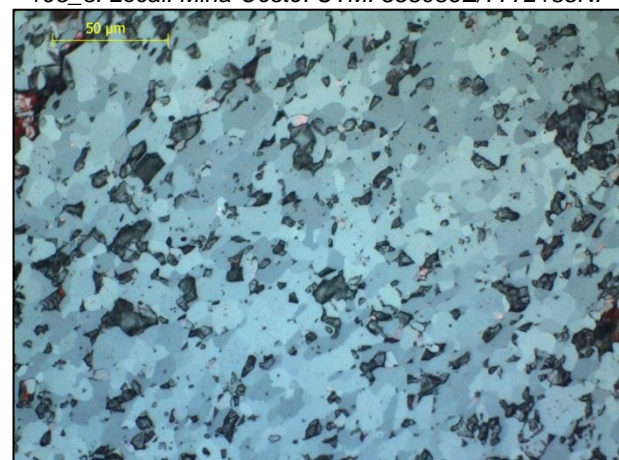


Foto 4.18 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de massa de hematita granoblástica com contatos retos. Amostra JC-191. Local: Mina Oeste. UTM: 556636E/7770786N.

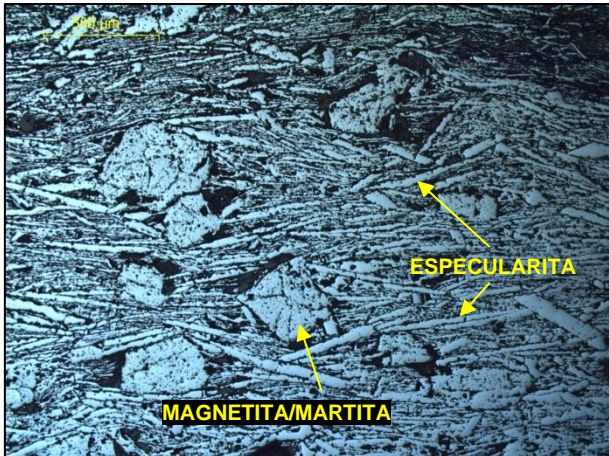


Foto 4.19 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de especularita xisto. A especularita envolve os cristais de magnetita. Barra da escala = 500 µm. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/ 7771187N.

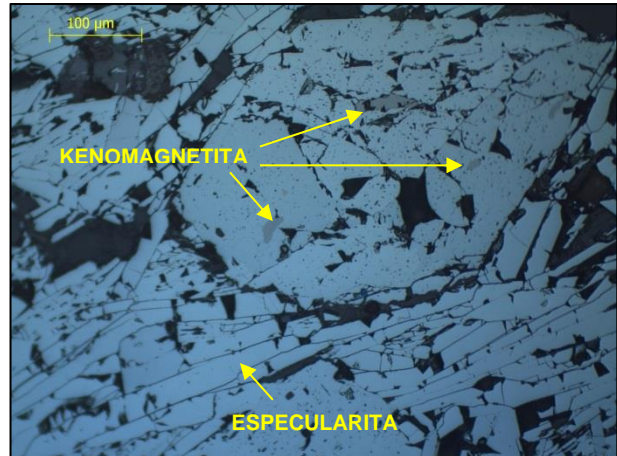


Foto 4.20 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de especularita-xisto. A especularita envolve os cristais de magnetita. Relicto de kenomagnetita está indicado. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/7771187N.



Foto 4.21 – Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada mostrando grão de zircão zonado, subarredondado e fraturado que ocorre em veio de óxido de ferro encaixado em quartzito da Formação Cercadinho. Amostra JC-148. Local: Mina Leste: 565965E/7775177N.

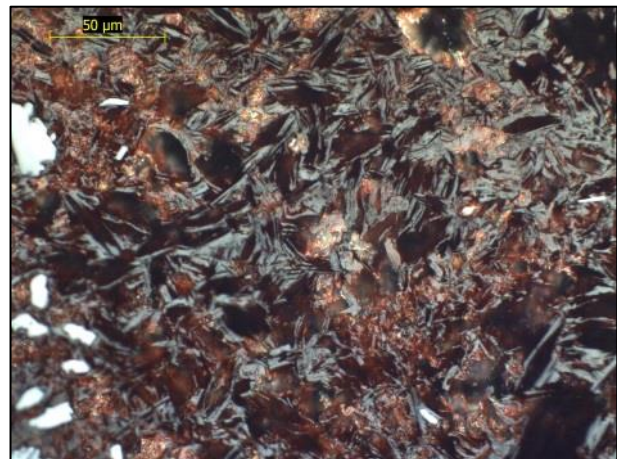


Foto 4.22 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada mostrando massa de grãos de goetita em veio de óxido de ferro encaixado em quartzito da Formação Cercadinho. Amostra JC-148. Local: Mina Leste: 565965E/7775177N.



Foto 4.23 – Fotomicrografia sob luz refletida não polarizada de nódulo elíptico de mica branca que ocorre envolvido pela especularita em minério xistoso. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/ 7771187N.



Foto 4.24 – Fotomicrografia sob luz transmitida polarizada de nódulo elíptico de mica branca que ocorre envolvido pela especularita em minério xistoso. Amostra JC-194. Local: Mina Oeste. UTM: 556428E/ 7771187N.

Geoquímica de elementos terras raras

Foi realizada análise de elementos terras raras mais Y (ETRY) em treze amostras (Tabela 4.2), das quais três são de itabirito, cinco são de acumulação de alto teor hospedada na Formação Cauê, duas de especularita-xisto e três amostras de veios de óxido de ferro encaixados em rochas do Grupo Piracicaba. O conteúdo em ETRY das amostras é baixo e varia entre 6 e 97 ppm.

Tabela 4.2 - Concentração (ppm) dos elementos terras raras mais Y dos diferentes tipos de minério de ferro compacto e itabirito do segmento oeste da Serra do Curral.

Amostra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Soma	
<i>Xisto especularítico</i>	JC-105	4,7	14,9	1,88	10,4	2,08	0,53	1,98	0,41	2,10	9,5	0,31	1,21	0,26	1,48	0,33	52,1
	JC-194	6,8	15,1	1,67	5,9	1,44	0,59	2,45	0,54	3,70	24,9	0,72	2,50	0,40	2,74	0,32	69,8
<i>Veio de óxido de ferro encaixado na Formação Cercadinho</i>	JC-248	1,0	3,1	0,32	1,2	0,29	0,09	0,32	0,11	0,41	3,2	0,14	0,19	0,08	0,48	0,03	11,0
	JC-148	9,8	22,3	1,86	6,1	1,38	0,19	1,22	0,29	1,63	14,8	0,40	2,00	0,29	2,24	0,33	64,8
	JC-128	3,4	6,7	0,71	2,5	1,62	0,44	3,68	0,86	5,22	44,9	1,37	3,57	0,59	3,04	0,43	79,0
<i>Acumulação compacto hospedado na Formação Cauê</i>	JC-38_2	1,0	1,5	0,23		0,22	0,13	0,33	0,08	0,39	2,0	0,09	0,15	0,05	0,26	0,06	6,5
	JC-130	12,0	23,3	2,50	10,2	2,19	0,55	2,21	0,42	2,90	15,1	0,62	1,14	0,32	1,42	0,16	75,0
	JC-163	2,2	3,7	0,55	3,7	0,53	0,17	0,76	0,13	0,33	8,3	0,15	0,45	0,10	0,47	0,10	21,6
	JC-195_3	15,3	36,3	4,60	14,6	3,34	0,98	3,23	0,54	2,37	12,6	0,33	0,75	0,25	0,89	0,17	96,3
	JC-191	16,4	29,3	3,89	17,0	3,21	0,84	3,35	0,45	1,55	6,5	0,27	0,32	0,10	0,37	0,07	83,6
JC-38_1	2,7	5,8	0,59	1,1	0,54	0,21	0,26	0,11	0,25	2,8	0,07	0,27	0,11	0,26	0,09	15,2	
<i>Itabirito</i>	JC-195_2	1,4	2,4	0,34	1,1	0,35	0,09	0,28	0,05	0,35	1,9	0,06	0,20	0,03	0,19	0,03	8,8
	JC-F3	3,4	6,5	0,78	3,4	0,77	0,30	0,86	0,16	1,12	9,8	0,27	0,82	0,13	0,91	0,16	29,4

Tabela 4.3 – Razões La/Sm, La/Yb, Dy/Yb e valores de anomalia do Eu, Ce e Y das amostras de itabirito e minério de ferro compacto do segmento oeste da Serra do Curral.

Amostra	La/Sm	La/Yb	Dy/Yb	Eu/Eu*	Ce/Ce*	Y/Y*	
<i>Xisto especularítico</i>	JC-105	0,33	0,23	0,85	1,16	1,11	0,92
	JC-194	0,69	0,18	0,81	1,36	1,03	1,22
<i>Veio de óxido de ferro encaixado na Formação Cercadinho</i>	JC-248	0,50	0,15	0,51	1,02	1,25	1,04
	JC-148	1,03	0,32	0,44	0,61	1,20	1,46
	JC-128	0,30	0,08	1,03	0,73	0,99	1,33
<i>Acumulação compacta hospedada na Formação Cauê</i>	JC-38_2	0,66	0,28	0,90	2,00	0,72	0,85
	JC-130	0,80	0,62	1,23	1,16	0,98	0,90
	JC-163	0,60	0,35	0,42	1,33	0,78	2,77
	JC-195_3	0,67	1,27	1,60	1,45	0,99	1,11
	JC-191	0,74	3,27	2,52	1,36	0,85	0,80
JC-38_1	0,73	0,77	0,58	1,75	1,06	1,67	
<i>Itabirito</i>	JC-195_2	0,58	0,54	1,11	1,32	0,80	1,04
	JC-F3	0,64	0,28	0,74	1,74	0,92	1,42

Todos os valores utilizados nos cálculos da tabela 5.3 já estão normalizados aos PASS de McLennan (1989).

$$Eu/Eu^* = Eu / (0,66 \cdot Sm + 0,33 \cdot Tb)$$

$$Ce/Ce^* = Ce / (0,5 \cdot La + 0,5 \cdot Pr)$$

$$Y/Y^* = Y / (0,5 \cdot Dy + 0,5 \cdot Ho)$$

As amostras de itabirito apresentam concentrações de ETRY entre 8 e 30 ppm e quando normalizadas ao PASS (*Post Archean Australian Shale*) de McLennan (1989) mostram maior enriquecimento em ETR pesados do que leves (razão La/Sm < 0,73) e anomalias positivas de Eu e Y. Ambas possuem anomalia negativa de Ce (Tabela 4.3). A amostra JC-F3 é de itabirito anfíbolítico e apresenta uma tendência crescente de ETR pesados (razão La/Sm = 0,64, La/Yb = 0,28 e Dy/Yb = 0,74). Já a amostra JC-195_2 é de itabirito quartzoso e, embora apresente

um enriquecimento maior de ETR pesados em relação aos leves ($La/Sm = 0.58$), a razão $Dy/Yb = 1,11$ mostra um declínio dos ETR pesados em relação aos ETR médios.

As amostras de corpos de alto teor hospedados em itabirito da Formação Cauê possuem conteúdo de ETR entre 15 e 97 ppm e anomalia positiva de Eu (Figura 4.3). A partir das razões Dy/Yb as amostras podem ser separadas em dois grandes grupos: $Dy/Yb > 1$ e $Dy/Yb < 1$. Dessa maneira, amostras que apresentam valores para essa razão maior que 1 mostram um perfil declinante, indicando maior conteúdo em ETR médios do que pesados. O grupo definido pelas amostras JC-38_1, JC-38_2 e JC-163 possui um padrão de crescente aumento dos ETR pesados em relação aos leves (razão La/Yb entre 0,28 e 0,77) e também tendência crescente dos ETR pesados em relação aos médios (razão Dy/Yb entre 0,42 e 0,90). O outro grupo definido pelas amostras JC-130, JC-191 e JC-195_3 apresenta razão La/Yb entre 0,62 e 3,27 e todas as amostras possuem relação La/Sm inferiores a 0,8. A razão Dy/Yb dessas amostras está entre 1,23 e 2,52, indicando assim, a tendência declinante dos ETR pesados desse grupo. A razão La/Yb das amostras JC-191 e JC-195_3 é 3,27 e 1,27, respectivamente, o que reflete o enriquecimento em ETR leves em relação aos pesados. Embora a amostra JC-130 posua razão $La/Yb < 1$, foi mantida nesse grupo por exibir razão $Dy/Yb = 1,23$ e indicar a tendência de declínio dos ETR pesados (Figura 4.3).

As amostras JC-105 e JC-194 possuem conteúdo de ETR entre 50 e 70 ppm e são de xisto especularítico. As duas mostram enriquecimento dos ETR pesados em relação aos leves (Figura 4.4; razão La/Yb igual a 0,18 e 0,23) e possuem anomalia positiva de Eu (Tabela 4.3). Na amostra JC-194 a anomalia de Y é positiva e na JC-105 é levemente negativa (Tabela 4.3). O valor da razão Dy/Yb é em torno de 0,83 e a anomalia de Ce é levemente positiva.

Na figura 4.5 estão apresentados os gráficos do conteúdo de ETR de três amostras de veio de óxido de ferro encaixados nas rochas do Grupo Piracicaba normalizados ao PASS. Estas amostras possuem conteúdo em ETR entre 10 e 80 ppm e todas mostram enriquecimento de ETR pesados em relação aos leves (razão La/Yb entre 0,08 e 0,32). As amostras JC-148 e JC-128 mostram anomalia negativa de Eu enquanto a JC-248 mostra positiva (Tabela 4.3). A razão Dy/Yb das amostras JC-148 e JC-248 é 0,44 e 0,51, respectivamente, enquanto a da amostra JC-128 é igual a 1,03.

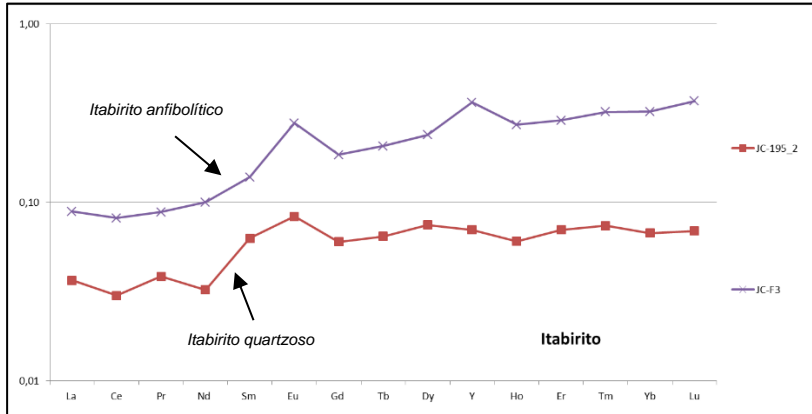


Figura 4.2 - Valores de ETR+Y de amostras de itabirito anfibolítico e itabirito quartzoso da Formação Cauê normalizados ao PAAS.

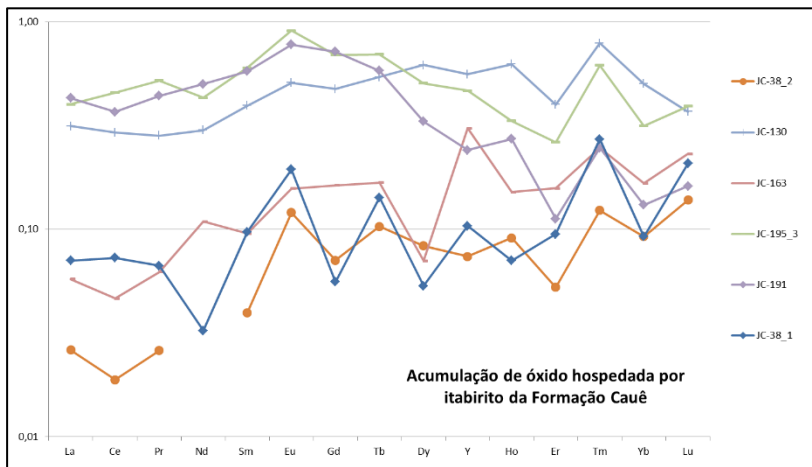


Figura 4.3 - Valores de ETR+Y de amostras de minério hospedado por itabirito da Formação Cauê normalizados ao PAAS.

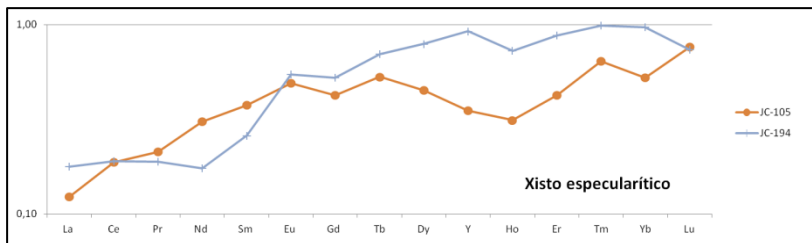


Figura 4.4 - Valores de ETR+Y de amostras de xisto especularítico que ocorre no contato entre as formações Cauê e Cercadinho normalizados ao PAAS.

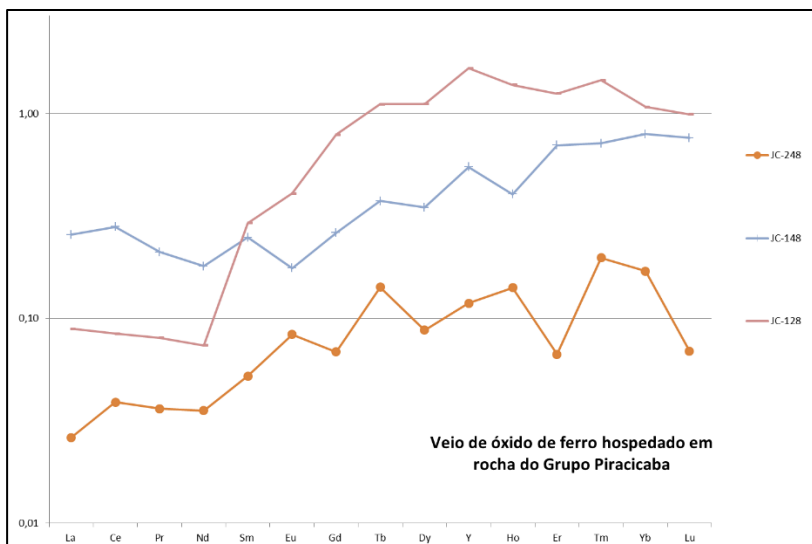


Figura 4.5 - Valores de ETR+Y de amostras de veio de óxido de ferro hospedados por quartzito e filito do Grupo Piracicaba normalizados ao PAAS.

5 - Geocronologia

Foram encaminhadas para o laboratório de geocronologia da Curtin University em Perth, Austrália, três amostras para realização de análises isotópicas U-Pb em grãos de zircão e monazita pelo método SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion Microprobe*). A intenção foi comparar a idade obtida nos zircões de rocha encaixante com a idade das monazitas que ocorrem nos veios martíticos/hematíticos.

Os zircões analisados são detríticos e retirados de intercalação filito/quartzito da Formação Cercadinho nas proximidades da Mina Leste (UTM: E 565965/N 7775178 - zona 23K, cota: 1159 m). Desse mesmo afloramento também foi encaminhada ao laboratório amostra de veio de óxido de ferro que, além de conter grãos de zircão detrítico semelhantes aos da rocha encaixante, com cerca de 60 a 200 μm (Figura 5.1), possui grãos de monazita e xenotima em equilíbrio textural com a martita/hematita.

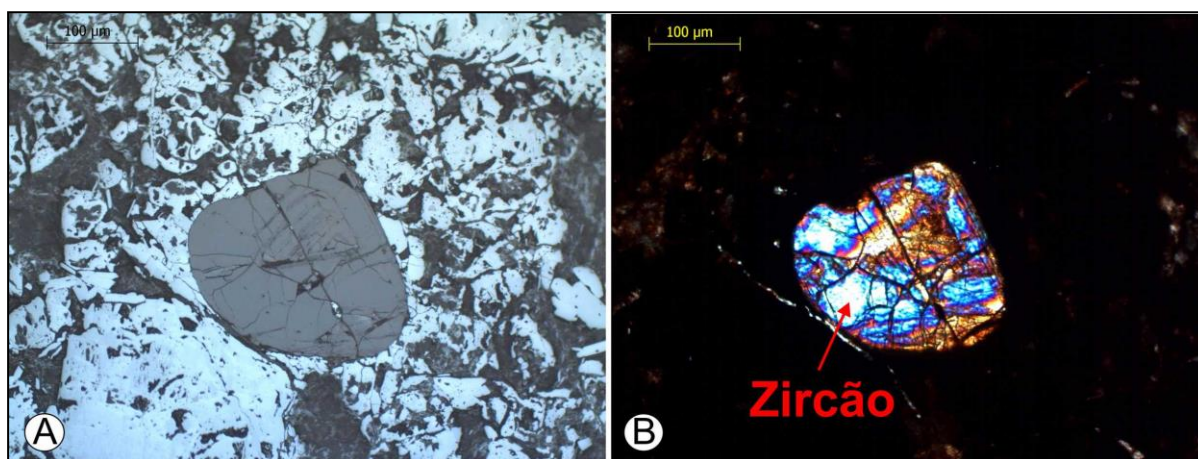


Figura 5.1 - Exemplo de grão de zircão detrítico em veio de óxido de ferro na Formação Cercadinho nas proximidades da Mina Leste, UTM: E 565965/N 7775178 - zona 23K, cota: 1159 m. A) Lâmina JC-148 sob luz refletida não polarizada. B) Lâmina JC-148 sob luz transmitida e polarizada.

Os grãos de zircão extraídos de filito/quartzito da Formação Cercadinho que foram submetidos à análise são subangulosos a arredondados com tamanho entre 30 e 150 μm . A Figura 5.2 é uma imagem da montagem em epoxy dos grãos que restaram após o polimento. Junto de cada grão está indicado o "nome do spot" executado e, na Figura 5.3 estão as imagens detalhadas de cada um dos grãos. Os dados resumidos das análises isotópicas estão exibidos na Tabela 5.1.

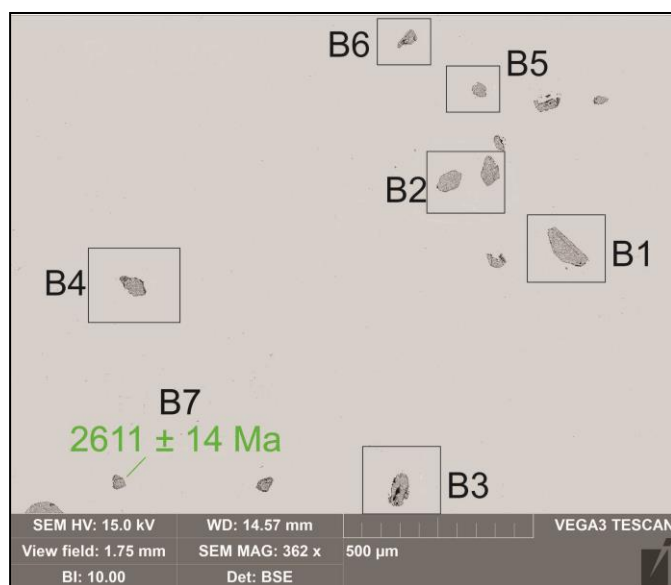


Figura 5.2 - Image BSE (Backscattering Electrons Detector) dos grãos de zircão detriticos datados em amostra da Formação Cercadinho montados em epoxy e a idade obtida pelo spot B7. Cada área identificada está exibida em detalhe na Fig. 7.3.

Tabela 5.1 - Resultado de análise geocronológica de cada spot realizado nos zircões detriticos de filito/quartzito da Formação Cercadinho das proximidades da Mina Leste.

	Spot B1	Spot B2.1	Spot B2.2	Spot B3	Spot B4	Spot B5	Spot B6	Spot B7
U ppm	158,14	68,60	129,77	126,97	67,01	79,87	141,82	316,78
Th ppm	49,99	47,82	174,15	120,13	59,65	75,46	184,75	313,17
²³²Th/²³⁸U	0,33	0,72	1,39	0,98	0,92	0,98	1,35	1,02
²⁰⁶Pb ppm	31,24	56,27	29,93	44,93	71,86	53,22	61,33	30,62
4f ²⁰⁶ %	0,11	0,27	0,31	0,35	-0,02	0,06	0,98	0,06
²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,20	0,20	0,18
	±	±	±	±	±	±	±	±
²⁰⁷Pb/²³⁵U	0,50	0,81	0,73	0,54	0,77	0,90	0,54	0,56
	±	±	±	±	±	±	±	±
²⁰⁶Pb/²³⁸U	14,09	14,04	13,31	13,59	14,13	11,64	9,82	5,41
	±	±	±	±	±	±	±	±
Erro de correlação	1,49	1,77	1,65	1,42	1,73	1,86	1,51	1,46
	±	±	±	±	±	±	±	±
²⁰⁸Pb/²³²Th	0,53	0,53	0,50	0,49	0,53	0,44	0,37	0,22
	±	±	±	±	±	±	±	±
Idade ²⁰⁶Pb/²³⁸U	1,40	1,56	1,44	1,30	1,52	1,54	1,35	1,20
	±	±	±	±	±	±	±	±
Idade ²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb	0,94	0,88	0,87	0,91	0,88	0,83	0,90	0,82
	±	±	±	±	±	±	±	±
Disc. %	0,13	0,14	0,09	0,09	0,14	0,06	0,05	0,05
	±	±	±	±	±	±	±	±
Idade ²⁰⁶Pb/²³⁸U	6,70	2,55	2,70	3,86	1,97	10,18	1,63	1,43
	±	±	±	±	±	±	±	±
Idade ²⁰⁶Pb/²³⁸U	2753,41	2752,94	2781,95	2647,46	2754,77	2457,08	2187,76	1345,55
	±	±	±	±	±	±	±	±
Idade ²⁰⁶Pb/²³⁸U	32,68	37,65	38,25	31,61	37,51	38,70	30,72	16,36
	±	±	±	±	±	±	±	±
Idade ²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb	2765,81	2761,66	2756,48	2843,04	2765,30	2776,66	2772,80	2610,92
	±	±	±	±	±	±	±	±
Disc. %	8,24	13,80	13,31	9,45	13,51	17,10	10,98	13,86
	±	±	±	±	±	±	±	±
Disc. %	0,85	0,78	4,60	9,93	0,60	16,11	27,18	50,16

Notas: erros das razões isotópicas em %

Todo Pb nas razões são componentes radiogênicos, todos corrigidos para ²⁰⁴Pb

Disc. = discordância, como $100 - 100\{t^{206}Pb/^{238}U/^{207}Pb/^{206}Pb\}$

4f206 = (²⁰⁶Pb comum)/(²⁰⁶Pb total medido) baseado no ²⁰⁴Pb medido

Incertezas são 1σ

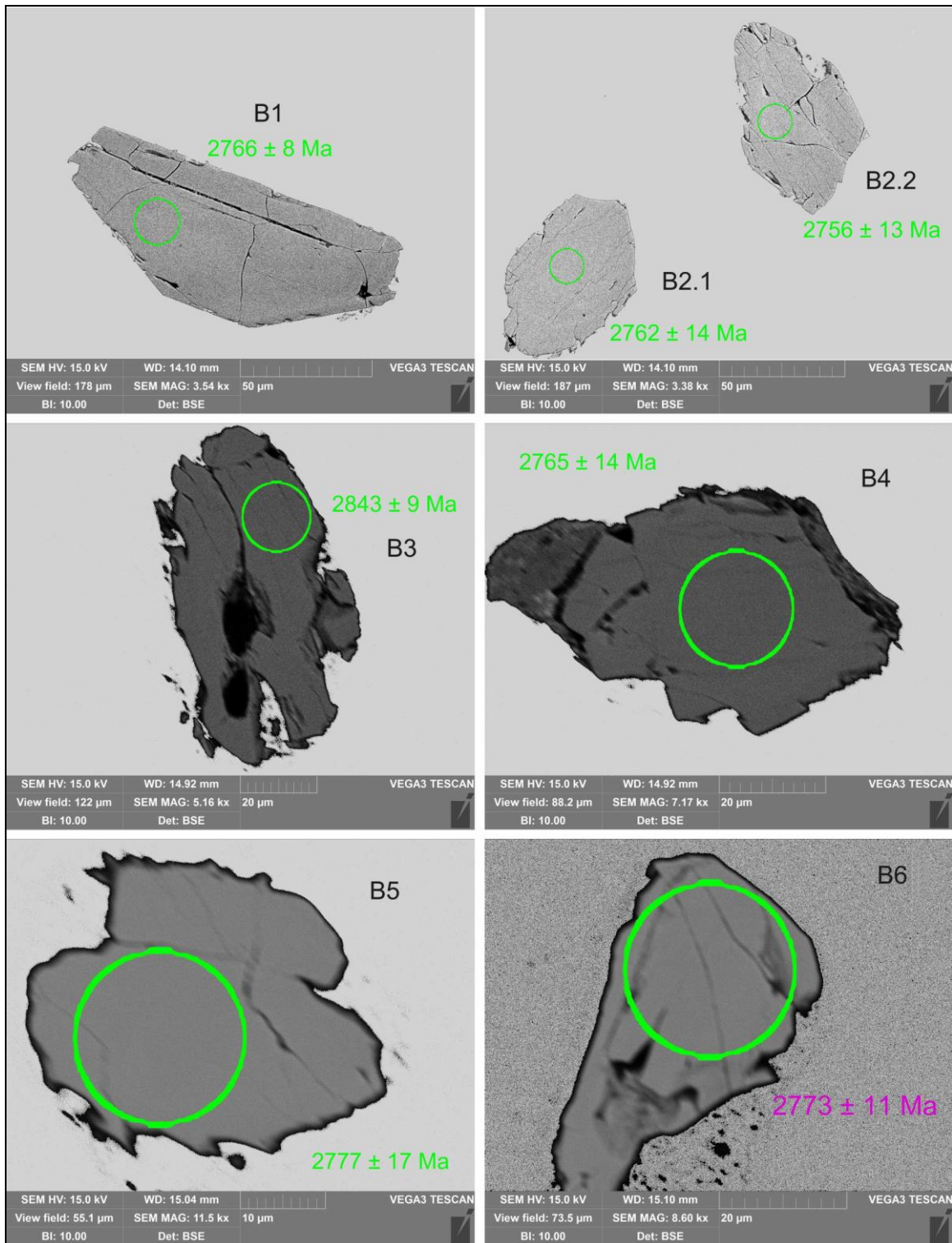


Figura 5.3 - Imagem BSE em detalhe de cada um dos grãos de zircão datado com a indicação do local onde foi realizado cada spot (círculo verde) e a idade e erro obtido em cada análise. Na tabela 7.1 estão apresentados os resultados das análises.

Todas as idades obtidas indicam que os grãos de zircão da Formação Cercadinho são arqueanos (neoarqueanos a mesoarqueanos). O mais velho deles apresentou idade de 2834 Ma enquanto o mais novo 2611 Ma. A população principal foi datada em 2676 Ma (Figura 5.4 A e B).

Após a obtenção das imagens por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da amostra do veio encaixado na Formação Cercadinho, verificou-se que os grãos de monazita e xenotima eram inadequados para a realização da análise por serem pequenos ($\leq 10 \mu\text{m}$), fraturados e por possuírem inclusões.

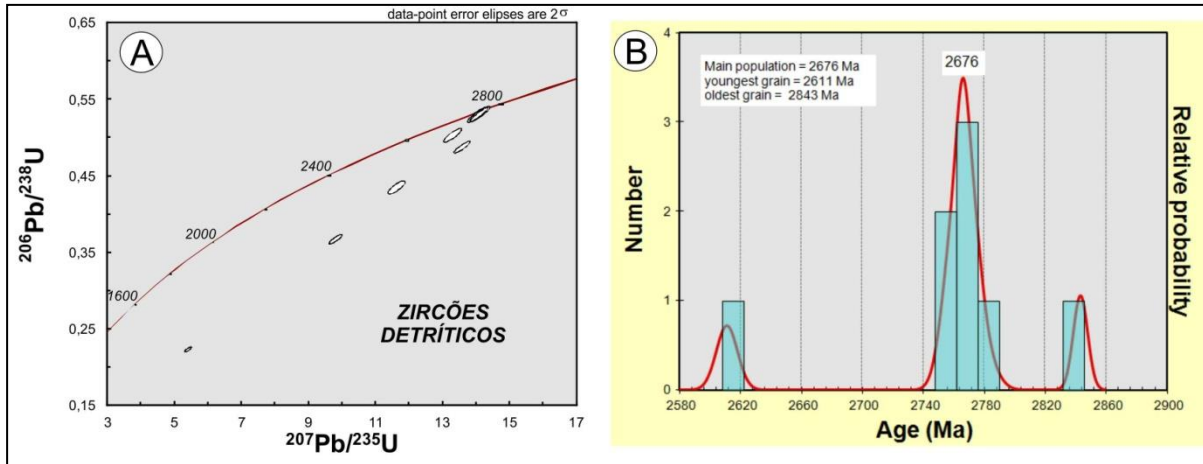


Figura 5.4 - A) Diagrama de concórdia dos zircões detríticos de amostra de filito/quartzito da Formação Cercadinho nas proximidades da Mina Leste. B) Diagrama de probabilidade das idades obtidas dos zircões de filito/quartzito da Formação Cercadinho.

Na amostra JC-130 (UTM E 566540/ 7774944 - zona 23K, cota: 1270 m, cava da Mina Leste), acumulação de alto teor em Fe, cuja rocha encaixante é itabirito da Formação Cauê, foi possível datar os grãos de monazita que ocorrem em equilíbrio textural com a hematita/martita (Figura 5.5 A). A partir da análise isotópica verificou-se que 16 dos 17 grãos de monazita analisados possuem idade paleoproterozóica e o no diagrama de concórdia obteve-se intercepto da discórdia em $2034 \pm 11 \text{ Ma}$ (Tabela 5.2 e Figura 5.5 B).

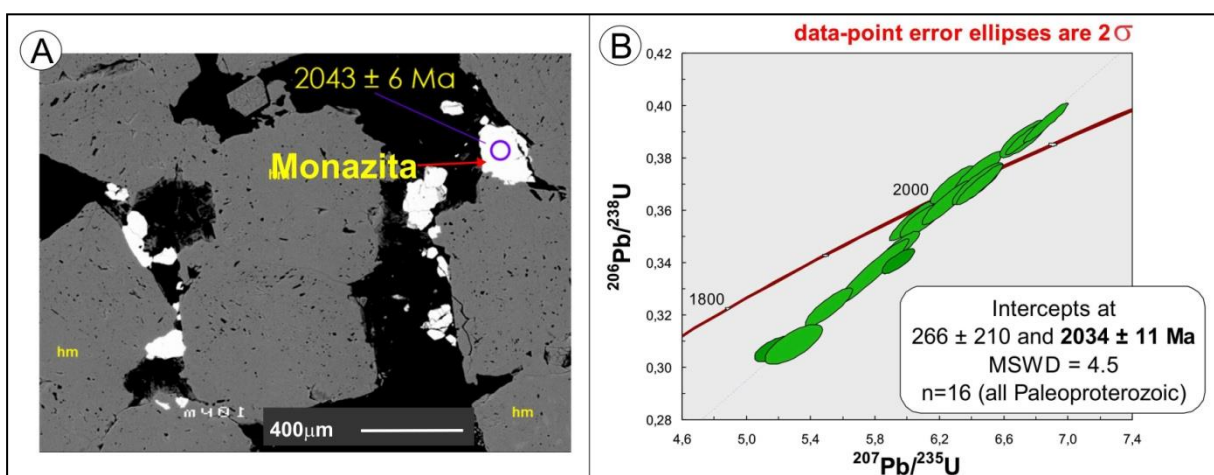


Figura 5.5 - A) Imagem SEM de grão de monazita em equilíbrio textural com martita/hematita e indicação da idade obtida em um dos spots (Spot F-4 da Tabela 5.2) da análise. B) Diagrama de concórdia das 16 monazitas que ocorrem junto do minério de ferro de alto teor. O intercepto da discórdia indica idade de cristalização das monazitas em $2034 \pm 11 \text{ Ma}$.

Tabela 5.2 - Resultado de análise geocronológica de cada *spot* realizado nos grãos de monazita que ocorrem em equilíbrio textural com os óxidos de ferro da amostra JC-130.

	Spot A.1	Spot A.2	Spot A.3	Spot A-5	Spot B-1	Spot C-1	Spot D-1	Spot E-1	Spot E-2	Spot F-1	Spot F-2	Spot F-3	Spot F-4	Spot F-5	Spot F-6	Spot F-7	Spot G-1
U ppm	153,93	76,57	162,00	248,87	200,44	107,71	152,95	80,67	390,04	185,88	199,35	177,31	522,89	350,03	178,41	208,27	167,24
Th ppm	3269,98	4500,23	3550,19	3246,91	4077,93	1960,80	1845,95	5928,70	1929,74	1439,02	2938,92	1743,95	2034,48	1058,84	3252,84	3105,59	2373,94
$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	21,24	58,77	21,91	13,05	20,34	18,20	12,07	73,49	4,95	7,74	14,74	9,84	3,89	3,03	18,23	14,91	14,19
4f ^{206}Pb %	0,32	0,61	0,31	0,23	0,40	0,15	0,44	0,96	0,26	0,40	0,31	0,25	0,02	0,02	0,27	0,07	0,63
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0,1248	0,1225	0,1247	0,1239	0,1250	0,1754	0,1259	0,1245	0,1262	0,1266	0,1233	0,1249	0,1260	0,1265	0,1229	0,1266	0,1241
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,0011	0,0019	0,0010	0,0013	0,0010	0,0012	0,0012	0,0023	0,0011	0,0010	0,0011	0,0010	0,0005	0,0005	0,0010	0,0007	0,0012
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	5,7826	5,1808	6,4467	5,5150	5,9542	11,6094	6,7229	5,2958	6,4398	5,9441	6,2860	6,2495	6,7240	6,8613	6,0328	6,4527	6,0904
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	3,2694	2,0579	1,9090	2,1770	1,7169	2,8278	1,8162	2,7393	2,0113	1,4065	1,8445	2,0325	1,3595	1,6805	1,9585	1,8406	1,8274
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	0,3360	0,3067	0,3748	0,3228	0,3456	0,4800	0,3872	0,3085	0,3701	0,3405	0,3696	0,3629	0,3871	0,3933	0,3559	0,3697	0,3560
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	3,1349	1,3273	1,7024	1,8999	1,4879	2,7386	1,5233	2,0091	1,7870	1,1344	1,5915	1,8624	1,2856	1,6077	1,7784	1,7272	1,5112
Erro de correlação	0,959	0,645	0,892	0,873	0,867	0,968	0,839	0,733	0,888	0,807	0,863	0,916	0,946	0,957	0,908	0,938	0,827
	0,959	0,645	0,892	0,873	0,867	0,968	0,839	0,733	0,888	0,807	0,863	0,916	0,946	0,957	0,908	0,938	0,827
Idade $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	2026	1993	2025	2013	2028	2610	2042	2022	2046	2052	2005	2028	2043	2050	1999	2051	2016
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	16	28	15	18	14	11	17	33	16	14	16	14	6	7	14	10	18

Notas: erros das razões isotópicas em %

Todo Pb nas razões são componentes radiogênicos, todos corrigidos para ^{204}Pb

Disc. = discordância, como $100 - 100\{t^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}/^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\}$

4f206 = (^{206}Pb comum)/(^{206}Pb total medido) baseado no ^{204}Pb medido

Incertezas são 1σ

6 – Discussões

A estrutura do segmento oeste da Serra do Curral, se tomada apenas pela atitude das camadas da vertente norte, é tida como um homoclinal onde a sequência sedimentar está invertida. No entanto, a partir do levantamento dos dados ao longo dos diferentes setores aqui separados observa-se que a estrutura é algo mais complexa. Da região do CEAM/MBL (extremo oeste da serra) até o Rio Paraopeba (localidade Fecho do Funil), as unidades basais do Supergrupo Minas aumentam gradativamente o mergulho para sul/sudeste até inverterem seu sentido de mergulho na região da Mina Esperança, onde mergulham para NW e deixam de estar invertidas. Essa progressiva variação do mergulho das camadas do Supergrupo Minas parece estar condicionada aos diferentes níveis de exposição do Sinclinal Piedade ao longo da serra. Assim, de oeste para leste, há a uma gradativa transição de uma zona típica de flanco (o flanco invertido do sinclinal) para as proximidades da zona de charneira dessa estrutura na região da Mina Esperança (Figura 6.1).

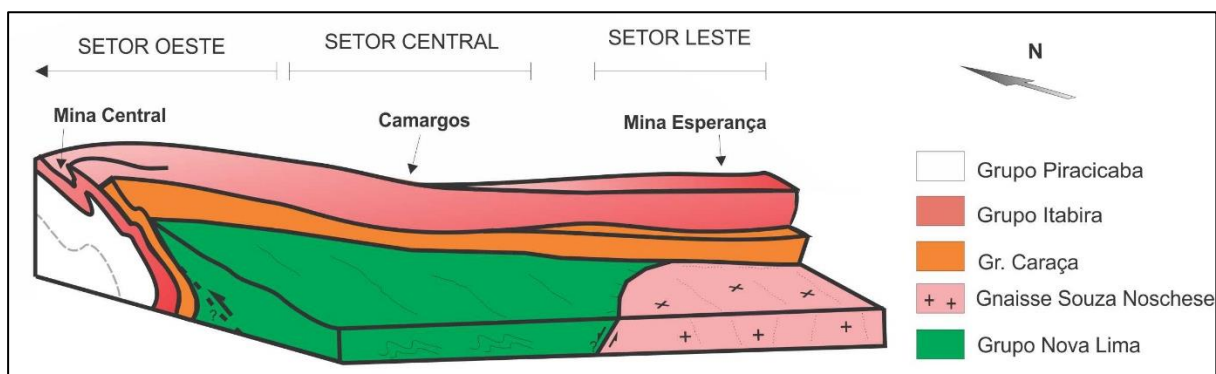


Figura 6.1 – Bloco diagrama esquemático da estrutura do segmento oeste da Serra do Curral com a localização dos depósitos de ferro.

As dobras B_{1A} são parasíticas do sinclinal vergente para NW e sua geometria indica cinemática normal com rotação horária (padrão em “Z” em visada para leste) das camadas, caracterizando o flanco invertido do sinclinal. Já as dobras B_{1B} indicam movimentação reversa com topo para NW e sobrepõem as B_{1A} . Elas definem um padrão de superposição em que os elementos geométricos – plano axial e eixo – das dobras da segunda geração (B_{1B}) são subparalelos aos do dobramento anterior. Assim, ambos os conjuntos de dobras resultam de deformação compressiva com vergência geral para NNW, sendo as dobras B_{1A} parasíticas do Sinclinal Piedade e as B_{1B} desenvolvidas sobre as B_{1A} em caráter de progressão da deformação compressiva. As zonas de cisalhamento que ocorrem ao longo dos contatos entre os grupos Nova Lima e Caraça e Itabira e Piracicaba estão

associadas ao deslizamento interestratal durante a formação das dobras B_1 . A intensidades do deslizamento entre as camadas é máxima nos flancos e diminui em direção à charneira das dobras (Ramsay & Huber, 1987), o que justifica a ausência destas duas zonas de cisalhamento em parte do setor Central e no setor Leste.

As dobras B_{1B} não ocorrem de maneira homogênea ao longo do Sinclinal Piedade. A deformação superimposta como dobras B_{1B} isoclinais no flanco da estrutura (setor oeste) é compensada pela formação de dobra abertas e falhas inversas de alto ângulo nas proximidades da zona de charneira - setor central e leste. O principal corpo de minério de ferro compacto do segmento oeste da Serra do Curral, na cava da Mina Esperança, parece estar relacionado à estrutura dessa natureza (Figura 6.2). Essas falhas reversas de alto ângulo parecem se originar como alternativa à acomodação da deformação na zona de charneira uma vez que esse domínio estrutural impõe resistência à superposição de dobramento e, portanto, à geração de dobras B_{1B} . Em superposição de dobras por flambagem as superfícies deformadas inicialmente não são dobradas passivamente, influenciando a geometria e a estrutura gerada na fase de deformação posterior (Simón, 2004).

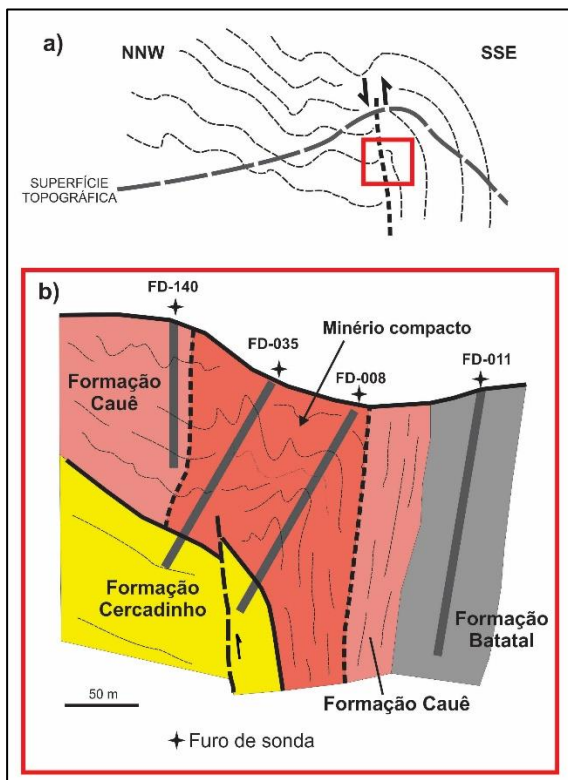


Figura 6.2 – a) Seção vertical esquemática da Serra do Curral nas proximidades da Mina Esperança ilustrando falha inversa de alto ângulo gerada para acomodar a deformação durante o desenvolvimento das dobras B_{1B} . b) Seção vertical em detalhe do condicionamento estrutural do corpo de minério magnético/martítico de alto teor da Mina Esperança.

Os estereogramas com distribuição de polos de S_0 e S_1 do setor oeste mostram uma concentração no quadrante NW que reflete o pequeno valor do ângulo interflancos das gerações de dobras B_{1A} e B_{1B} . Nos setores central e leste os polos

de S_0 e S_1 mostram uma distribuição similar em guirlandas subparalelas orientadas perpendicularmente ao *trend* da serra e o eixo β calculado para as guirlandas é paralelo aos eixos das dobras B_1 medidos em campo, e correspondem, portanto, aos eixos das dobras B_{1B} . Como as dobras B_{1A} são isoclinais a distribuição da foliação S_1 reflete o efeito do redobramento B_{1B} , tornando-se semelhante a distribuição do S_0 e juntas, refletem a morfologia “M” das estruturas que ocorrem na zona de charneira e comumente apresentam perfil aberto.

As dobras B_2 compõem um grupo de dobras assimétricas vergentes para WSW que sobrepõe as dobras B_1 . Estas dobras estão nucleadas apenas nos flancos das dobras B_1 e não redobram as zonas de charneira dessas últimas. Essa forma de superposição em que a segunda geração de dobras se limita aos flancos da primeira e desaparece em direção à zona de charneira foi denominado de *abutting fold* por Simon (2004) e também está relacionada à superposição de dobras quando o mecanismo de dobramento é a flambagem.

A direção dos eixos B_2 exhibe consistentemente uma relação de ortogonalidade com a direção geral da serra e seus valores do caimento é controlado pelo mergulho da superfície onde a dobra se desenvolve. No setor oeste, onde toda a sequência mergulha para SE, todos os eixos de B_2 caem entre SSW e SW. Já nos setores central e leste, onde S_0 mergulha tanto para S quanto N ou NW e SE, os eixos B_2 mostram, no mesmo setor, caimento para quadrantes opostos. Os estereogramas de S_1 dos setores Central e Leste refletem de forma discreta uma dispersão em torno dos eixos B_2 . A foliação S_2 é plano axial das dobras B_2 e possui mergulho geral para ESE. A atitude de S_2 junto à geometria das dobras B_2 indicam que estas dobras representam compressão dirigida para oeste. Nos setores Oeste e Leste a distribuição dos polos de S_2 ocorre como diferentes guirlandas e o plano definido pelos eixos de rotação dessa foliação é aproximadamente paralelo às falhas normais do setor Leste e também às falhas de direção NNW-SSE indicadas no mapa geológico e que ocorrem ao longo de todo o segmento oeste da Serra do Curral (Figura 6.3 e 6.4). Estas estruturas compartimentam a serra em diferentes setores e podem ser responsáveis pela rotação de S_2 . Assim, a clivagem S_2 teria sofrido rotação passiva condicionada às movimentações acomodadas pelas falhas que definem os lineamentos NNW-SSE ao longo da serra.

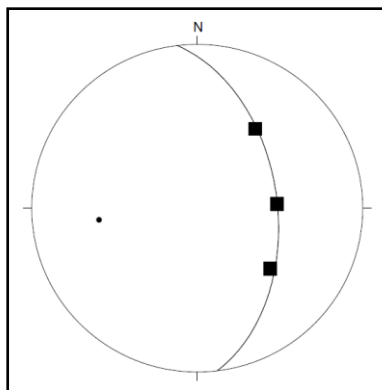


Figura 6.3 – Estereograma com eixos π de dispersão de S_2 (quadrados) no segmento oeste da Serra do Curral. Os eixos π definem um plano de atitude 83/50.

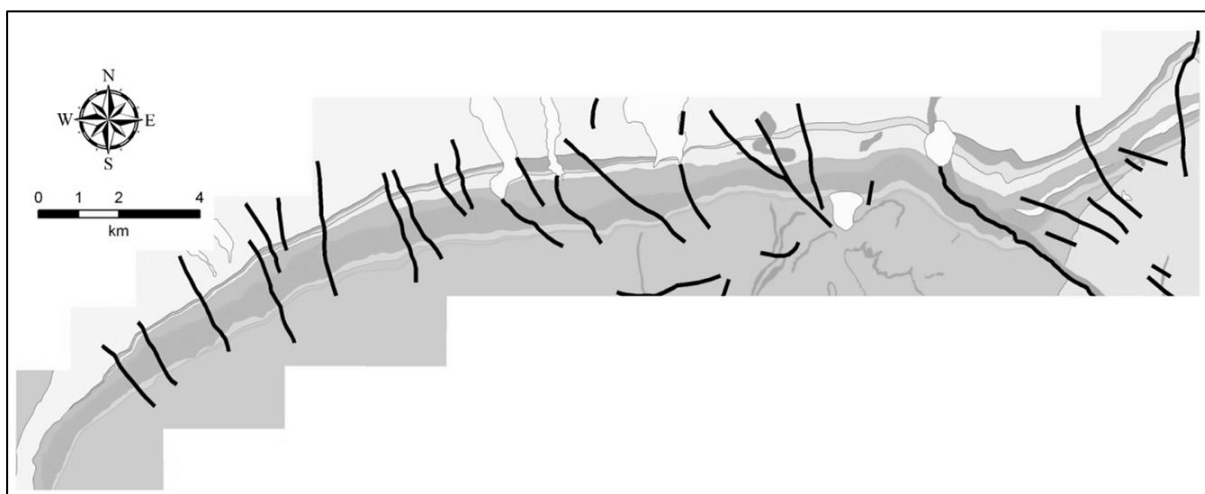


Figura 6.4 – Mapa de lineamentos que ocorrem ao longo do segmento oeste da Serra do Curral e segmentam a serra em setores de direções diferentes.

De modo geral há no Quadrilátero Ferrífero corpos de minério de ferro compactos controlados tanto por estruturas compressivas de direção NE-SW (eg. Depósito de Águas Claras e Feijão) quanto por estruturas de direção NNW-SSE, como os depósitos da Mutuca, Tamanduá e os outros que também ocorrem no flanco leste do Sinclinal Moeda. Dalstra & Rosière (2008) propuseram que estes dois *trends* estruturais regionais estivessem relacionados ao mesmo evento deformacional paleoproterozóico e, segundo eles, o *trend* de direção NNW-SSE teria se desenvolvido após a nucleação das estruturas de direção NE-SW. Ambos podem ter sido gerados no mesmo ciclo orogênico, quando, no *foreland* de orógeno paleoproterozóico, houve deformação com encurtamento nas direções NW-SE e NE-SW provavelmente com a participação dos domos gnássicos produzindo a atual configuração quadrangular da região anteriormente à fase de colapso postulada por Alkmim & Marshak (1998), quando, segundo estes mesmos autores, houve a

ascensão dos domos granito-gnaissicos em estado sólido e a instalação de zonas de cisalhamento normais nas suas bordas.

Em comparação com o arcabouço regional, as estruturas B₂ que ocorrem ao longo do segmento oeste da Serra do Curral e superpõe as estruturas B₁ podem estar correlacionadas, então, às grandes estruturas de mesma direção que ocorrem no restante do Quadrilátero Ferrífero. A zona de cisalhamento que ocorre no contato da Formação Moeda com o complexo Bonfim, no setor Leste do segmento oeste da Serra do Curral, corresponde a zona de cisalhamento normal que bordeja um dos domos ascendidos durante o colapso orogênico proposto por Alkmim & Marshak (1998).

Comparando os resultados das análises das amostras de itabiritos (JC-195_2 e JC-F3) com os resultados apresentados por Spier *et al.* (2007) para amostras de itabiritos da mina de Águas Claras, verifica-se que elas possuem os teores de ETRY entre 8 e 35 ppm, como obtido por eles, e que o itabirito quartzoso possui o mesmo padrão apresentado por aqueles autores. Além disso, o itabirito anfibolítico (amostra JC-F3) mostra padrão semelhante ao do itabirito dolomítico (Figura 6.5 A). Em relação ao padrão de ETRY das amostras de minério compacto, o grupo das amostras JC-38_1, JC-38_2 e JC-163 é semelhante ao padrão obtido por Spier *et al.* (2008) em amostras das minas de Águas Claras, Capão Xavier e Tamanduá (Figura 6.5 B).

As amostras JC-130, JC-191 e JC-195_3 definem um grupo com padrão diferenciado pelo elevado enriquecimento em ETR leves (Figura 6.5 B) embora todas mostrem anomalia positiva de Eu, semelhante ao seu protólito, o itabirito, e razão Dy/Yb maior que 1. Essa relação entre Dy e Yb também foi obtida por Spier *et al.* (2008) nas amostras de minério compacto das minas de Águas Claras, Tamanduá e Capão Xavier, marcando a depleção de ETR pesados em relação aos ETR médios. Estes mesmos autores obtiveram valores entre 3 e 10 ppm para o somatório das concentrações de ETRY na amostras de minério compacto dessas minas. Nas amostras aqui analisadas a média do grupo que mostrou semelhança com o padrão normalizado ao PASS é de 14 ppm enquanto a do grupo que possui elevado enriquecimento em ETR leves é de 85 ppm. Esse valor é cerca de seis vezes maior do que a média do outro grupo e é atribuído pela presença do mineral monazita (Figura 6.6). A monazita é um fosfato rico em metais de terras-raras leves com composição essencial (Ce, La, Nd, Sm, Th)PO₄.

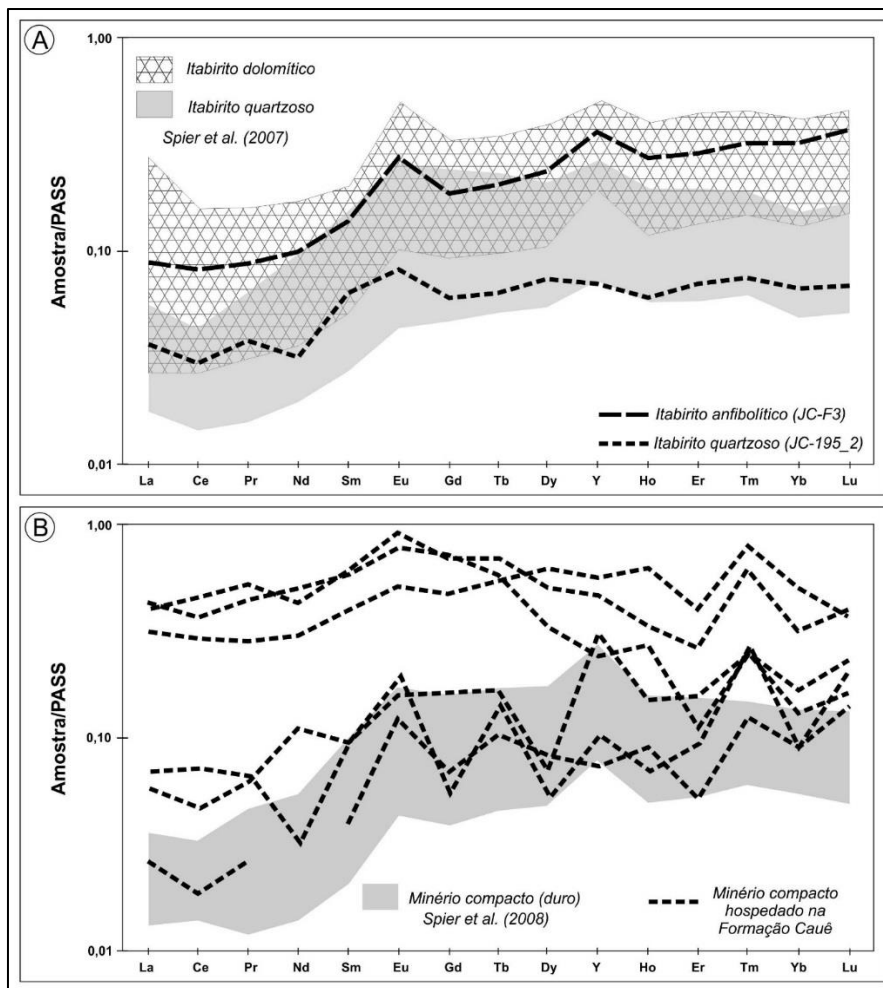


Figura 6.5 - A) Comparação da distribuição de ETRY das amostras de itabirito anfíbolítico e quartzoso do segmento oeste da Serra do Curral com os dados obtidos por Spier et al. (2007) em amostras de itabirito quartzoso e dolomítico da mina de Águas Claras. B) Comparação da distribuição de ETRY das amostras de minério compacto hospedados em itabirito da Formação Cauê no segmento oeste da Serra do Curral com os dados obtidos por Spier et al. (2008) em amostras de minério duro das minas de Águas Claras, Tamanduá e Capão Xavier.

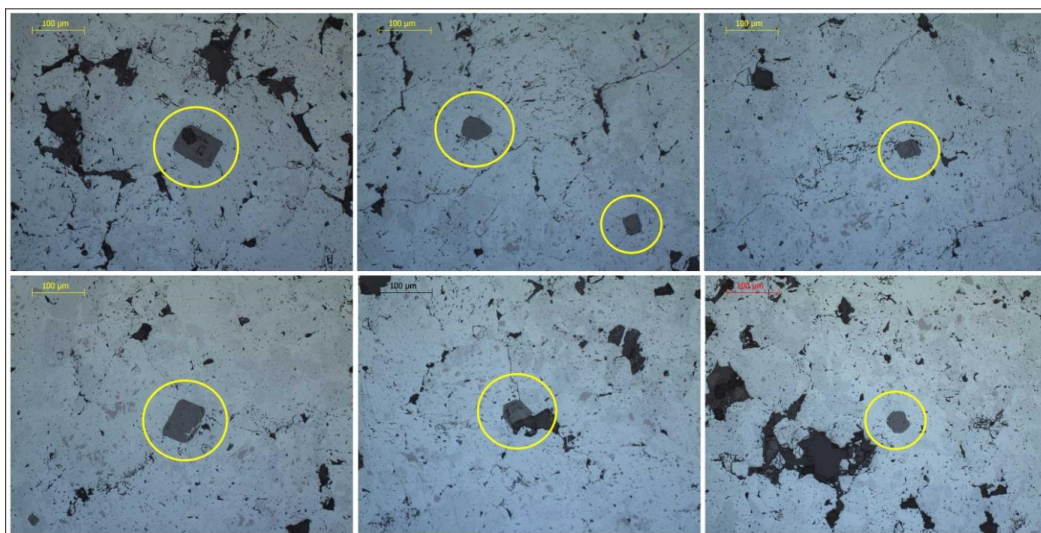


Figura 6.6 - Mosaico de fotomicrografias sob luz refletida não polarizada com destaque para os grãos de monazita (internos aos círculos amarelos) em meio a massa de cristais de magnetita/kenomagnetita martitizados. Em todas as imagens a barra da escala equivale a 100 µm. Amostra JC-130.

As idades obtidas nos zircões detríticos de filito/quartzito da Formação Cercadinho, entre 2834 e 2611 Ma, são semelhantes as obtidas por Machado *et al.* (1993) em zircões detríticos da Formação Moeda na serra homônima. Esta semelhança sugere que uma fonte de idade arqueana continuava fornecendo sedimentos à bacia durante a deposição do Grupo Piracicaba e/ou que esses grãos foram redepositados a partir da erosão dos grupos Caraça e Itabira. Pomerene (1964) descreveu clastos de itabirito e dolomito em conglomerados da Formação Cercadinho e Simmons (1968) identificou superfície erosiva na base do Grupo Piracicaba.

A idade U-Pb de 2034 ± 11 Ma obtida a partir das monazitas é entendida aqui como a de sua cristalização bem como da formação do minério que a contém pois os grãos datados ocorrem em equilíbrio textural com a magnetita/hematita e a temperatura de bloqueio da monazita é 600 ± 50 °C (Heaman & Parrish, 1991 *apud* Geraldts, 2010). Segundo Pires (1995), a temperatura estimada para o metamorfismo da Formação Cauê na região desse trabalho é de 300 a 400 °C, caracterizando, assim, a região de menor grau metamórfico do Quadrilátero Ferrífero (*Zona da Grunerita*, Figura 2.2). Ainda segundo o autor, na região leste e sudeste do Quadrilátero Ferrífero, onde o grau metamórfico foi o mais elevado, a temperatura não ultrapassou 600 °C.

A idade de formação dos corpos de minério e veios magnetíticos/hematíticos é próxima da idade do pico metamórfico do ciclo orogênico Transamazônico, que, de acordo com Noce *et al.* (1998), é datado em 2041 ± 5 Ma. Além disso, a forma de ocorrência dos corpos de alto teor em Fe controlados por estruturas associadas à compressão dirigida a NNW no segmento oeste da Serra do Curral indica que o processo hidrotermal (lixiviação da ganga + precipitação de óxidos de ferro) responsável pela formação dos corpos de alto teor em Fe ocorreu durante a compressão, temporalmente próximo ao pico metamórfico da orogênese Transamazônica. Machado *et al.* (1992) obtiveram idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 2059 ± 6 Ma e 2030 Ma para titanitas de enclave anfibolítico e monazitas de veio pegmatítico, respectivamente, ambas no Complexo Bação. Interpretaram esses resultados como associados ao metamorfismo de fácies anfibolito e fusão parcial no Complexo Bação durante a Orogenia Transamazônica.

7 - Conclusões

A análise estrutural no segmento oeste da Serra do Curral mostra que as estruturas vergentes para NNW se desenvolveram em um evento polifásico durante a orogenia Transamazônica, como proposto por Alkmim & Marshak (1998), com a geração de dobras superpostas e falhas sobre um sinclinal invertido de direção NE-SW vergente para NNW – Sinclinal Piedade. As estruturas relacionadas a essa tectônica compressiva foram posteriormente superpostas por deformação de vergência para oeste. O setor Oeste corresponde à zona de flanco invertido enquanto os setores Central e Leste são zonas que ocorrem na transição para a charneira da estrutura regional. Em caráter de deformação progressiva vergente para NNW as dobras B_{1B} sobrepõem as dobras B_{1A}. Essa superposição é heterogênea e na região oeste há franco desenvolvimento de dobras B_{1B} isoclinais enquanto nos setores Central e Leste são geradas falhas reversas de alto ângulo e dobras B_{1B} mais discretas e abertas.

A geração das dobras B₂ sobre os flancos das dobras B_{1A} e B_{1B} é o registro de deformação vergente para oeste e caracteriza um padrão de superposição denominado *abutting fold*. Os dois *trends* estruturais descritos no segmento oeste da Serra do Curral, NE-SW e NNW-SSE, são compatíveis com as direções das grandes estruturas regionais do Quadrilátero Ferrífero.

As acumulações compactas de alto teor em ferro estão condicionadas às estruturas B_{1A} e B_{1B} e possuem baixo conteúdo em ETR+Y, entre 6 e 97 ppm. Elas ocorrem como corpos hospedados em itabirito da Formação Cauê ou como veios maciços encaixados nas rochas do Grupo Piracicaba. Esses veios possuem grãos de zircão detrítico arqueanos incorporados das rochas encaixantes e mostram enriquecimento de ETR pesados em relação aos leves quando normalizados ao PAAS. As acumulações hospedadas em itabirito possuem anomalia positiva de Eu e mostram dois padrões de normalização: um com concentração média de 14 ppm de ETR+Y que mostra enriquecimento de ETR pesados em relação aos leves, semelhante ao padrão do protominério - itabirito, e o outro, com concentração média de 85 ppm, mostra elevado conteúdo de ETR leves, similar ou maior que os ETR pesados. Essa diferença do padrão do perfil de ETR foi atribuída à ocorrência de monazita, fosfato rico em ETR leves que ocorre em equilíbrio textural com os óxidos de ferro.

A interação de fluidos hidrotermais com o itabirito em locais estruturalmente favoráveis resultou na formação de acumulações hospedadas na Formação Cauê e na remobilização de ferro que deu origem aos veios maciços encaixados nas rochas do Grupo Piracicaba. Nestas acumulações o primeiro óxido de ferro a se formar é a magnetita/kenomagnetita e, a partir de sua transformação/oxidação foram formadas a martita, hematita lobular/serrilhada, hematita microlamelar e a especularita. Datação U/Pb SHRIMP nas monazitas que ocorrem em equilíbrio textural com martita/hematita indicam que o processo hidrotermal responsável pela formação dos corpos de alto teor em ferro ocorreu a 2034 ± 11 Ma, contemporaneamente ao pico metamórfico da região do Quadrilátero Ferrífero durante o ciclo orogênico Transamazônico.

8 – Referências Bibliográficas

- Alkmim F.F., Amorim L.Q., Souza K., Cavalcanti J.A.D., Lanfranchi R.A., Santos J.H., Freitas, Oliveira F.M., Barbosa V.C. 1996. A Junção entre o Sinclinal da Moeda e o Homoclinal da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, MG. *In: SBG. Congresso Brasileiro de Geologia*, 39, *anais*, v.1. p. 337-340.
- Alkmim F.F. & Marshak S. 1998. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90**:29-58.
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, **7**:349-364.
- Alves B.P. 1961. Sumário sobre estratigrafia e estrutura das quadrículas de Caeté e Serra da Piedade. Soc. Intercâmbio Cultural e Estudos Geol. – SICEG (Ouro Preto), Publ. 1, p. 257-260.
- Babinski M., Chemale F.Jr., Van Schmus W.R. 1995. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Precambrian Research*, **72**:235-245.
- Barbosa A.L.M. 1968. Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. SBG-MG, reimpressão (1985): UFMG, Inst Geoc., Depto Geol., 44 p.
- Carneiro M.A. 1992. O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais): Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do arqueano. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 233p.
- Carneiro M.A., Teixeira W., Junior I.M.C., Fernande R.A. 1998. Enialic tectonics setting of the archean Rio das Velhas Greenstone Belt: Nd and Pb isotopic evidence from Bonfim Metamorphic Complex, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **28**(2):189-200.
- Chauvet A., Faure M., Dossin I., Charvet J. 1994. A three-stage structural evolution of the Quadrilátero Ferrífero: consequences for the Neoproterozoic age and the formation of gold concentrations of the Ouro Preto area, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, **68**:139-167.
- Chemale F.Jr., Rosière C.A., Endo I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Precambrian Research*, **65**:25-54.

- Correia-Gome J., Sabadini R. 2009. Geologia da borda oeste da Serra do Curral: Serras Azul, Farofas e Queias, Quadrilátero Ferrífero, MG. IGC/UFMG. Belo Horizonte. Trabalho de conclusão de curso. 83p.
- Dalstra H.J., Rosière C.A. 2008. Structural controls on high-grade iron ores hosted by banded iron formations: A global perspective: *Reviews in Economic Geology*, **15**: 73-106.
- Dorr II J.V., Gair J.E., Pomerene J.B., Rynearson G.A. 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero, Brasil. DNPM/DFPM, Avulso, vol. 81. 31p.
- Dorr II J.V.N. 1958a. The Cauê Itabirite. São Paulo, SBG, Boletim 2, vol.7, p. 61-62.
- Dorr II, J.V.N., 1958b. The Gandarela Formation São Paulo, SBG, Boletim 2, vol.7, p. 63-64.
- Dorr J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *USGS Prof. Paper*, 641-A. US Geological Survey, p. 110.
- Endo I. 1997. Regimes tectônicos do arqueano e proterozóico no interior a Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 243p.
- Endo I., Machado R. 2002. Reavaliação e novos dados geocronológicos (Pb/Pb e K/Ar) da região do Quadrilátero Ferrífero e adjacências. *Revista do Instituto de Geociências - Geologia USP Série Científica*, **2**:23-40.
- Endo I., Oliveira A.H., Peres G.G., Guimarães M.L.V., Lagoeiro L.E., Machado R., Zavaglia G., Rosas C.F., Melo R.J. 2005. Nappe Curral: uma estrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização. *In: Simpósio Nacional de Estudo Tectônicos*, 10, *anais*, p.279-282.
- Herz N. 1978. Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 641-C.
- Hippertt J., Davis B. 2000. Dome emplacement and syncline development in a granite-greenstone terrain (Quadrilátero Ferrífero, southeastern Brazil). *Precambrian Research*, **102**:99-121.

- IGA. 1982. Folha Brumadinho, Escala 1:50.000. Mapeamento Geológico da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Instituto de Geociências Aplicadas, Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Minas Gerais.
- IGA. 1983. Folha Igarapé, Escala 1:50.000. Mapeamento Geológico da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Instituto de Geociências Aplicadas, Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Minas Gerais.
- Jordt-Evangelista H., Alkmim F., Marshak S. 1992. Metamorfismo progressivo e a ocorrência de três polimorfos de Al_2SiO_5 na Formação Sabará, Ibirité, Quadrilátero Ferrífero, MG. *Revista da Escola de Minas*, **45**:157-160.
- Ladeira E.A., Viveiros J.F.M. 1984. Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base nos dados disponíveis. Belo Horizonte, SBG-MG, Boletim 4, 14p.
- Loczy L., Ladeira E.A. 1976. *Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica*. Edgar Blücher, São Paulo. 528 pp.
- Ludwig K.R. 2001. SQUID 1.02: A Users Manual. Berkeley Geochronology Centre, Special Publication No.2, 19 pp.
- Ludwig K.R. 2003. ISOPLOT 3.00 – A Geochronological Toolkit for Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication 4, 67 pp.
- Machado N., Noce C.M., Ladeira E.A., Belo de Oliveira O.A. 1992. U–Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Cráton, Brazil. *Geological Society American Bulletin*, **104**:1221-1227.
- Machado N., NOCE C.M., FENG, R. 1993. Idades $^{207}Pb/^{206}Pb$ de zircões detríticos de rochas metassedimentares da região do Quadrilátero Ferrífero, sul do Cráton do São Francisco: Considerações sobre áreas-fonte e idades de sedimentação. *In: SBG-BA,SE/SGM. Simp. Cráton São Francisco, 2, anais*, p. 149-151.
- Machado N., Schrank A., Noce C.M. Gauthier G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: Implications for Greenstone Belt setting and evolution of a Transamazonian *foreland* basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, **141**:259-276.
- Marshak S., Alkmim F.F. 1989. Proterozoic contraction / extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. *Tectonics*, **8**:555-571.

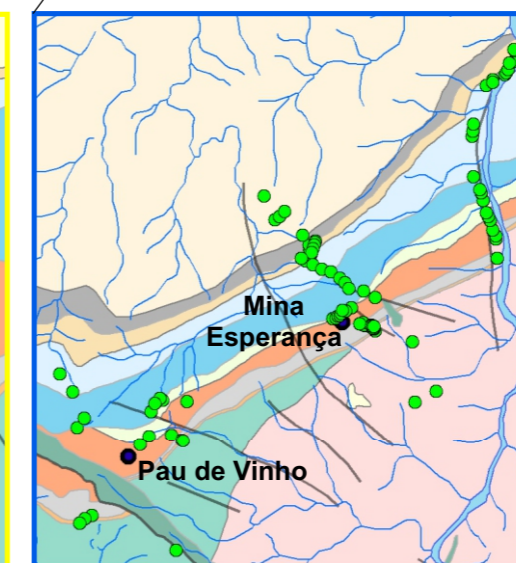
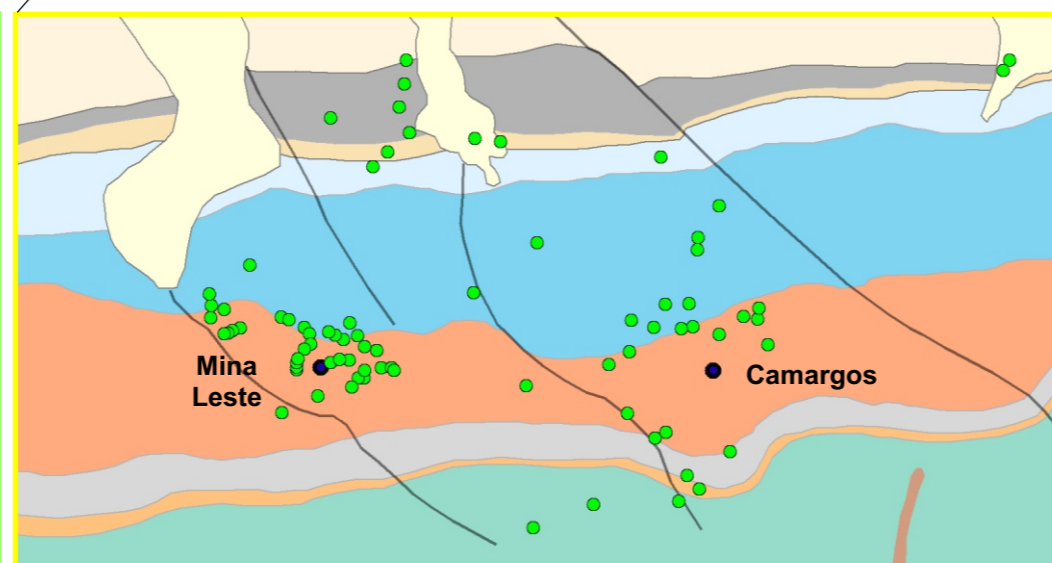
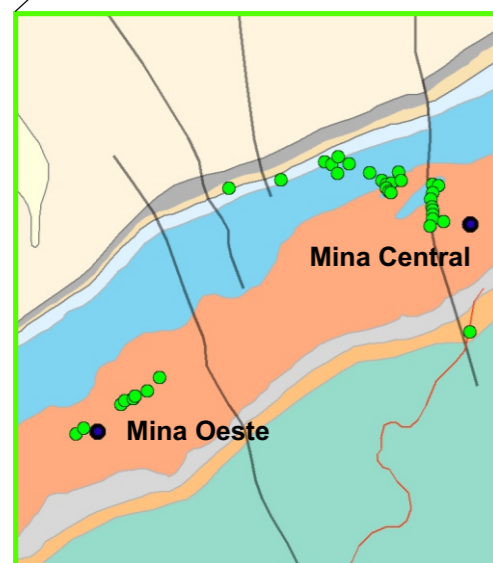
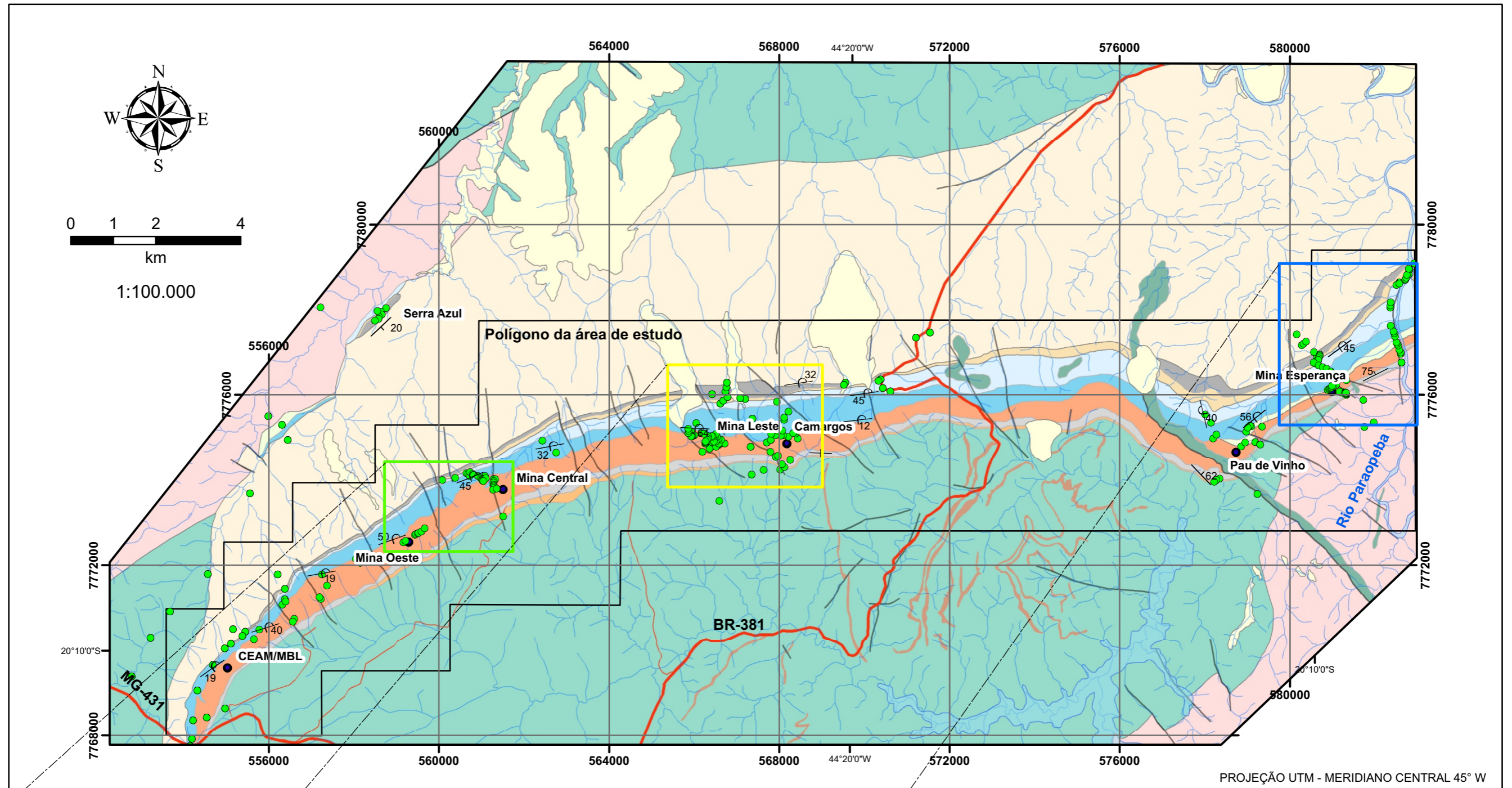
- Marshak S., Tinkham D., Alkmim F.F., Brueckner H., Bornhorst T. 1997. Dome-and-keel provinces formed during Paleoproterozoic orogenic collapse — Diapir clusters, core complexes, or neither? Examples from the Quadrilátero Ferrífero (Brazil) and the Penokean Orogen (USA). *Geology*, **25**:415-418.
- McLennan S.M. 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: B.R. Lipin & G.A. McKay G.A. (eds.) *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Reviews in Mineralogy*, 21: 169-200.
- Maxwell, C. H., 1958. The Batatal Formation. São Paulo, SBG, Boletim 2, vol.7, p. 60-61.
- Noce C.M. 1995. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 128p.
- Noce C.M. 2000. Geochronology of the Quadrilátero Ferrífero: a review. *Geonomos* **8**(1):15–23.
- Noce C.M., Machado N., Teixeira W. 1998. U–Pb geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (southern São Francisco craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. *Rev. Bras. Geoc.*, **28**(1):95-102.
- Oliveira L.F.F., Nery M.E.V., Gradim D.T., Sanglard J.C.D. 2010. Ocorrência de estauroлита na Formação Batatal, Serra das Farofas, Quadrilátero Ferrífero. *In*: SBG. Congresso Brasileiro de Geologia, 45, *anais*, CD.
- Oliveira L.F.F., Nery M.E.V. 2009. Geologia da porção oeste da Serra do Curral: Serras dos Três Irmão e Farofas. IGC/UFMG. Belo Horizonte. Trabalho de conclusão de curso. 73p.
- Pflug R., Renger F. 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Cráton do São Francisco. *In*: SBG. Congresso Brasileiro de Geologia, 27, *anais*, p. 5-19.
- Pires F.R.M. 1995. Textural and mineralogical variations during metamorphism of the Proterozoic Itabira Iron Formation in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *An. Acad. Brasileira de Ciências*, **67**(1): 77-105.

- Pires, F.R.M, 1979. Structural geology and stratigraphy at the junction of the Curral Anticline and Moeda Syncline: Unpub. PhD thesis, Michigan Technological University, 220 p.
- Pomerene J.B. 1958a. The Cercadinho Formation. São Paulo, SBG, Boletim 2, vol.7, p. 64-65.
- Pomerene J.B. 1958b. The Taboões Quartzite. São Paulo, SBG, Boletim 2, vol.7, p. 66-67.
- Pomerene J.B. 1958c. The Barreiro Formation. São Paulo, SBG, Boletim 2, vol.7, p. 67-68.
- Pomerene J.B. 1964. The geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Macacos quadrangles, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey Professional Paper 341—5. 84p.
- Ramsay J.G. 1967. Folding and Fracturing of Rocks. McGraw-Hill Book Company, New York. 560 pp.
- Ramsay J.G., Huber M,I. 1987. The Techniques of Modern Structural Geology 2: Folds and Fracures. Academic Press, London. 391 pp.
- Renger F.S., Noce C.M., Romano A.W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, **2**(1):1-11.
- Romano A.W. 1989. Evolution Tectonique de la region nord-ouest du Quadrilatère Ferrifère – Minas Gerais - Brésil. PhD Thesis, Université de Nancy I, Nancy, France, 259p.
- Romano R., Lana C., Alkmim F.F., Stevens G., Armstrong R. 2012. Stabilization of the southern portion of the São Francisco craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. *Precambrian Research*, **224**: 143-159.
- Rosière C.A., Rios F.J. 2004. The origin of hematite in high-grade iron ores based on infrared microscopy and fluid inclusion studies: the example of the Conceição mine, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Economic Geology*, **99**: 611-624.
- Rosière C.A., Siemes H., Quade H., Brokmeier H.G., and Jansen E.M. 2001. Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. *Journal of Structural Geology*, **23**: 1429-1440.

- Rosière C.A., Spier C.A., Rios F.J., Suckau V.E. 2008. The Itabirites of the Quadrilátero Ferrífero and Related High-Grade Iron Ore Deposits: An Overview. *Reviews in Economic Geology*, **15**: 223-254.
- Schorscher J.H.D. 1978. Komatiitos da estrutura "Greenstone Belt" Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero. *In*: SBG. Congresso Brasileiro de Geologia, 30, *anais*, p. 292-293.
- Silva A.M., Chemale Jr. F., Heaman L. 1995. The Ibirité gabbro and the Borrachudos granite - The rift-related magmatism of Mesoproterozoic age in the Quadrilátero Ferrífero (MG). *In*: SBG-MG. Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 8, *anais*, p. 89-90.
- Simmons G.C. 1968. Geology and iron deposits of the western Serra do Curral, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey Professional Paper 341-G. 57pp.
- Simón J.L. 2004. Superposed buckle folding in the eastern Iberian Chain, Spain. *Journal of Structural Geology*, **26**:1447-146.
- Spier C.A., Oliveira S.M.B., Sial A.N., Rios F.J. 2007. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, **152**:170-206.
- Spier C.A., Oliveira S.M.B., Rosière C.A., Ardisson J.D. 2008. Mineralogy and trace-element geochemistry of the high-grade iron ores of the Águas Claras Mine and comparison with the Capão Xavier and Tamanduá iron ore deposits, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Mineralium Deposita*, **43**:229-254.
- Teixeira W., Carneiro M.A., Noce C.M., Machado N., Sato K., Taylor P.N. 1996. Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco craton, Brazil. *Precambrian Research*, **78**:151-164.
- Wallace, R. M., 1958. The Moeda Formation. São Paulo, SBG, Boletim 2, vol.7, p. 59-60.

Anexo A – Mapa de pontos descritos na região do segmento oeste da Serra do Curral para levantamento de dados

Mapa de pontos de descrição de afloramento com aquisição de dados estruturais no segmento oeste da Serra do Curral



ANEXO A

Mapa de pontos de descrição de afloramento e aquisição de dados estruturais no segmento oeste da Serra do Curral

Este anexo compõe a dissertação de mestrado *Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em ferro*

Autor: Julio Carlos Destro Sanglard
Data: Maio de 2013

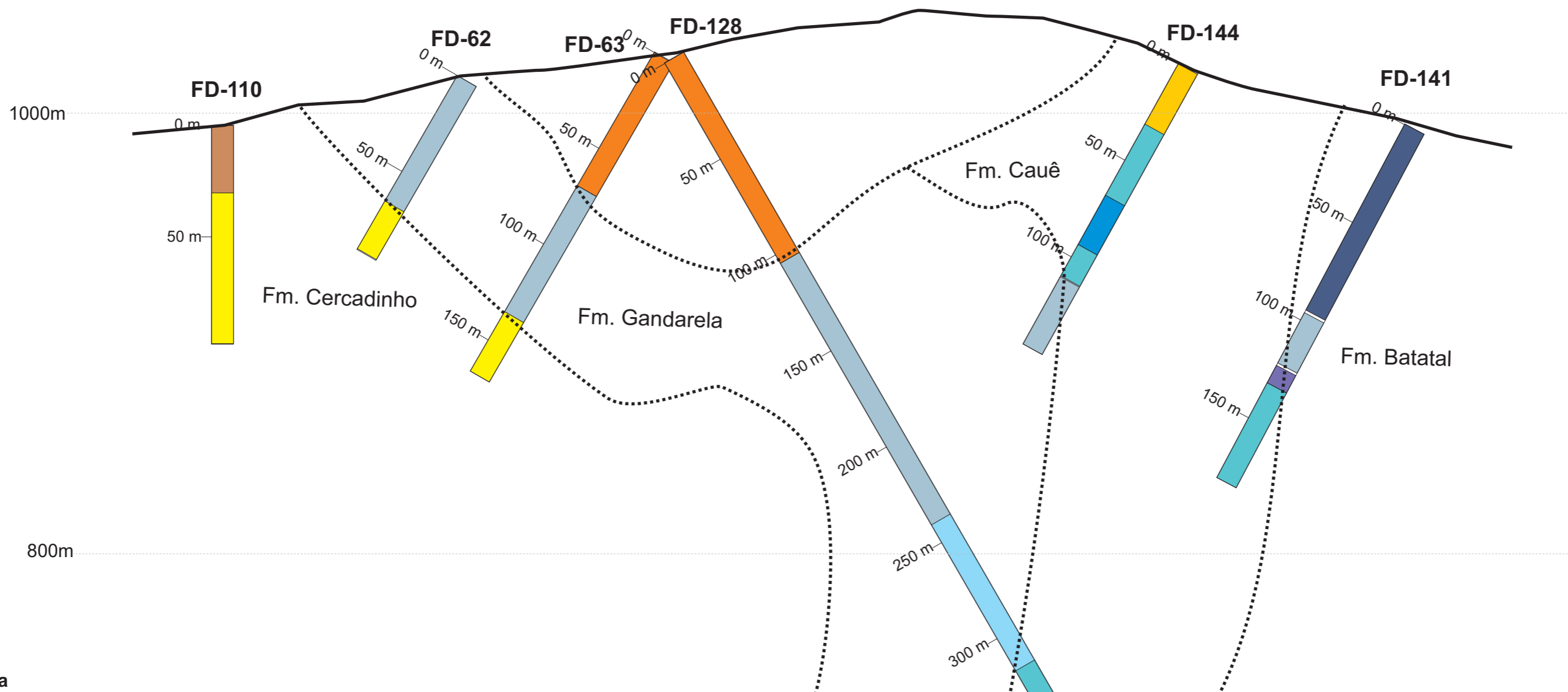
Mapa fornecido pela USIMINAS feito a partir da compilação de Simmons (1968) e IGA (1982, 1985) com modificações na região do polígono da área de estudo

**Anexo B - Seções verticais com localização e descrição litológica
simplificada dos testemunhos de sondagem na região da Mina
Esperança**

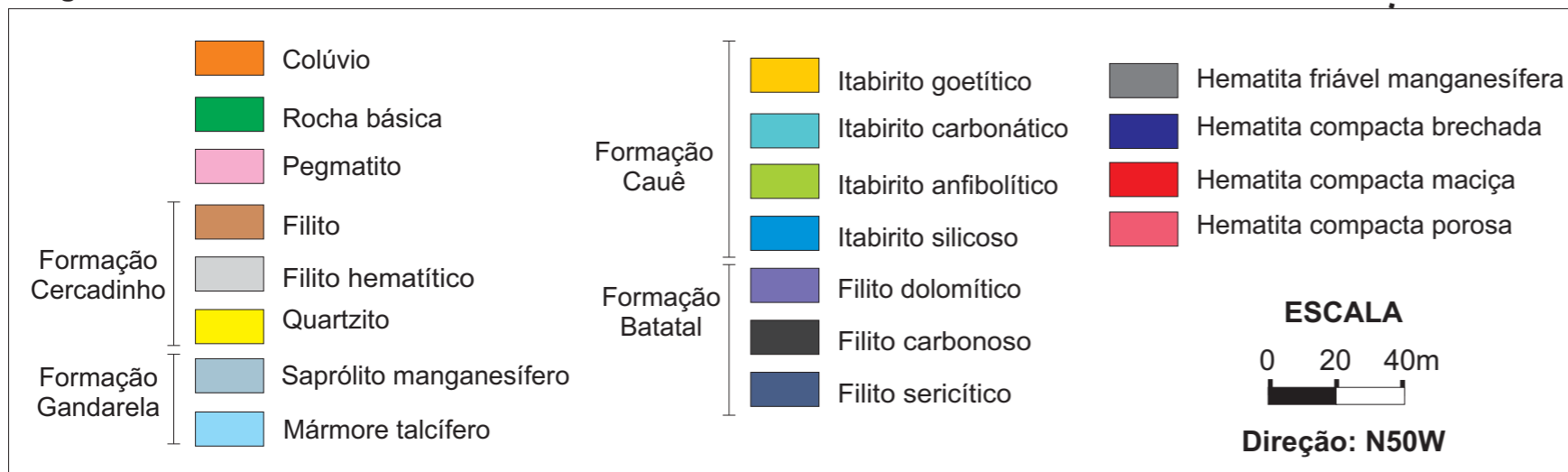
SEÇÃO VERTICAL ESP 01

NW

SE



Legenda



ANEXO B

Seções verticais com localização e descrição litológica simplificada dos testemunhos de sondagem na região da Mina Esperança

Título do trabalho:
Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

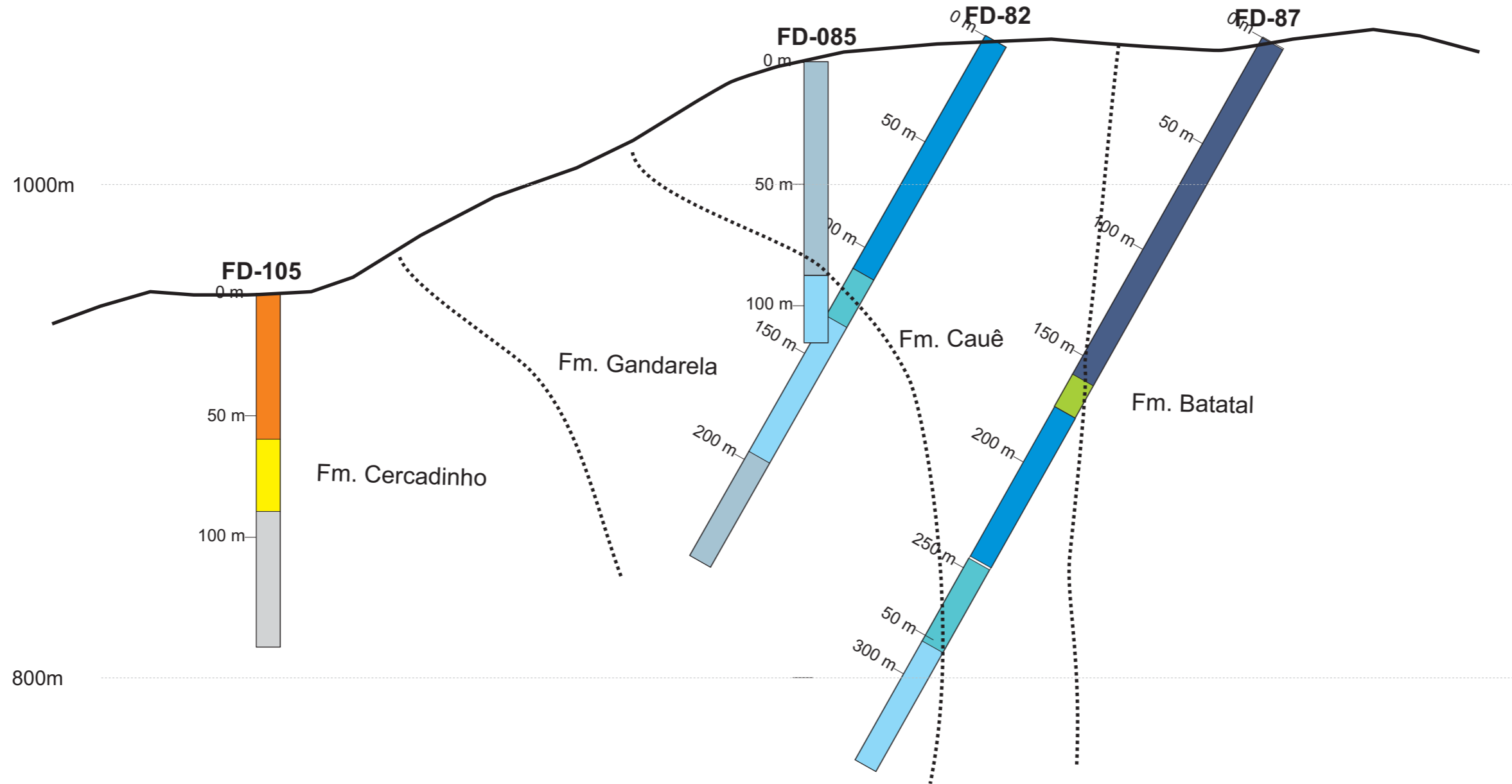
Autor: Julio Carlos Destro Sanglard

Data: Maio de 2013

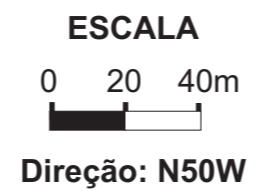
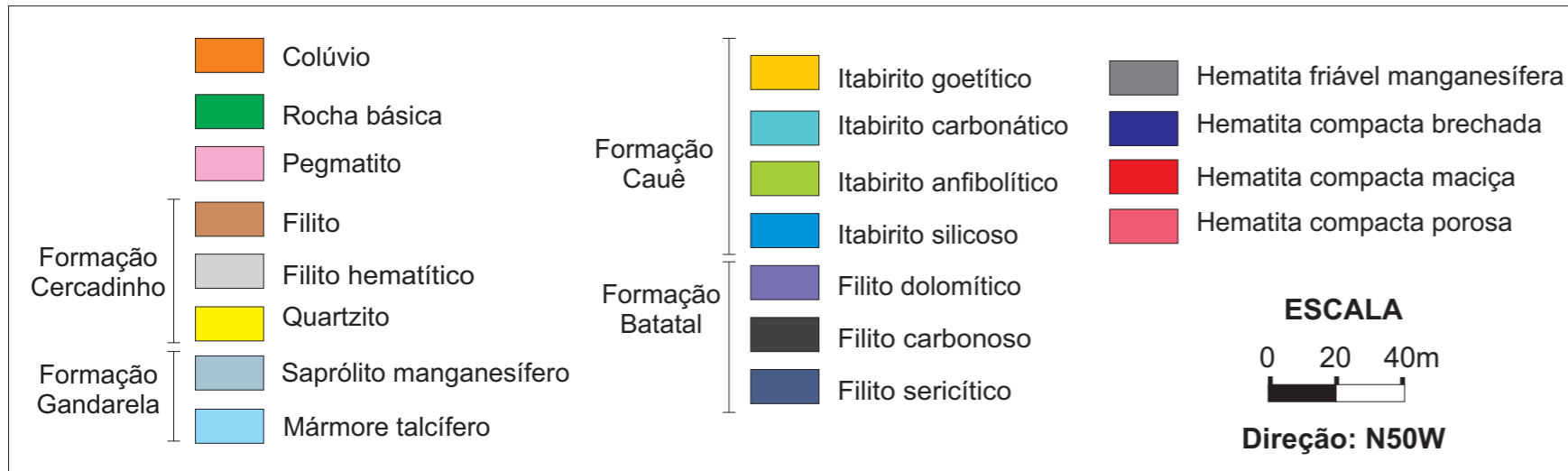
SEÇÃO VERTICAL ESP 02

NW

SE



Legenda



ANEXO B

Seções verticais com localização e descrição litológica simplificada dos testemunhos de sondagem na região da Mina Esperança

Título do trabalho:
Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

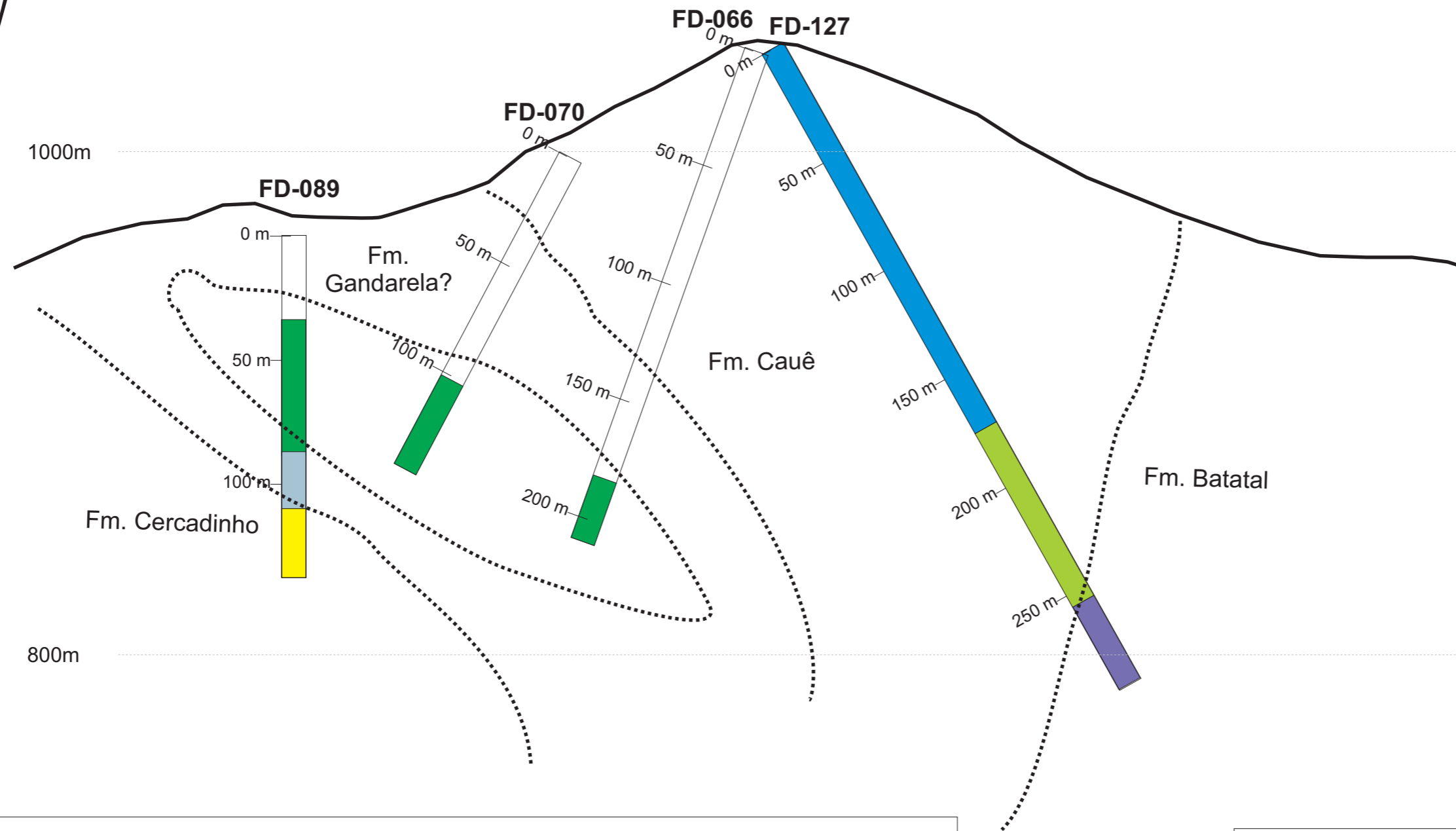
Autor: Julio Carlos Destro Sanglard

Data: Maio de 2013

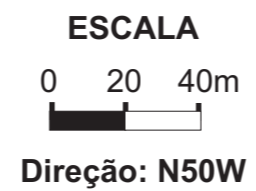
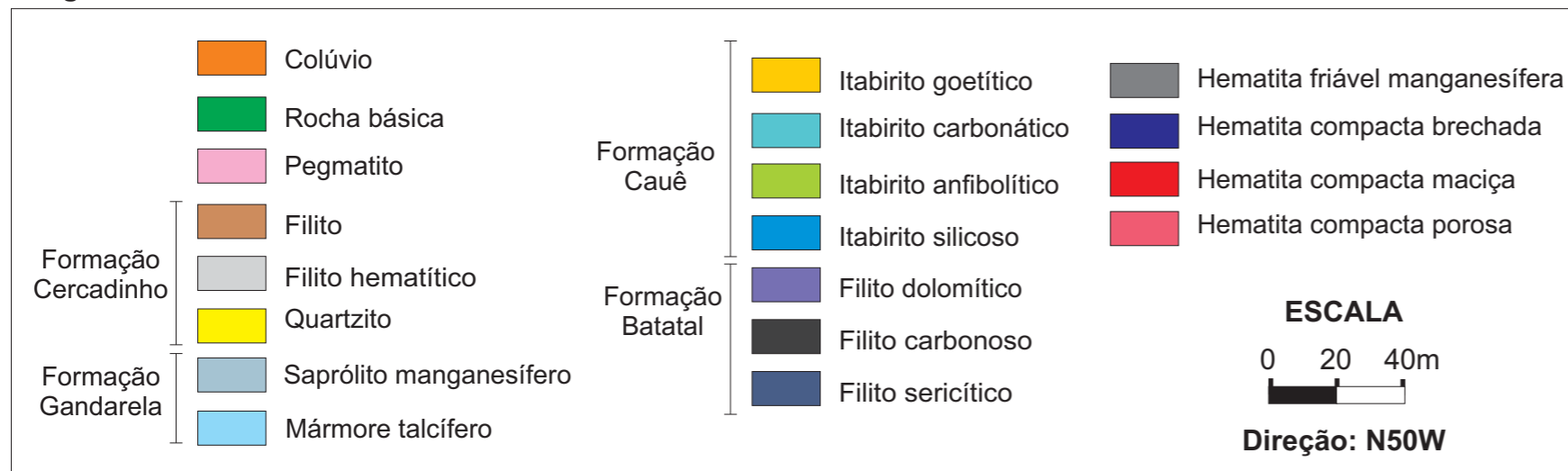
SEÇÃO VERTICAL ESP 03

NW

SE



Legenda



ANEXO B

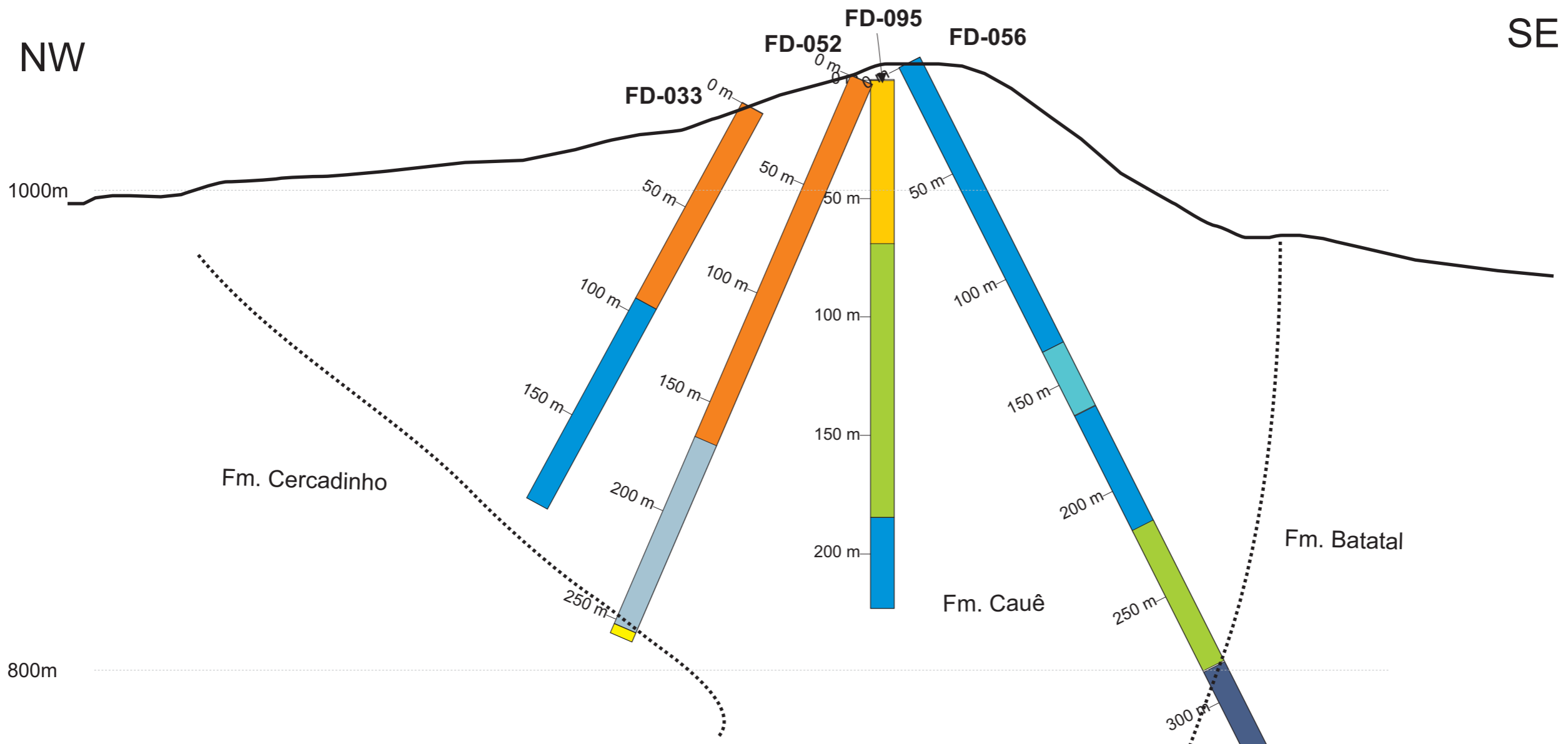
Seções verticais com localização e descrição litológica simplificada dos testemunhos de sondagem na região da Mina Esperança

Título do trabalho:
Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

Autor: Julio Carlos Destro Sanglard

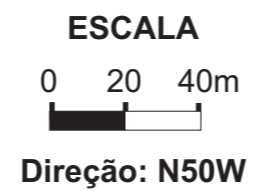
Data: Maio de 2013

SEÇÃO VERTICAL ESP 04



Legenda

Colúvio	Itabirito goetítico	Hematita friável manganésifera
Rocha básica	Itabirito carbonático	Hematita compacta brechada
Pegmatito	Itabirito anfibolítico	Hematita compacta maciça
Filito	Itabirito silicoso	Hematita compacta porosa
Formação Cercadinho	Filito hematítico	
	Quartzito	
Formação Gandarela	Saprólito manganésifero	
	Formação Cauê	Filito carbonoso
		Filito sericítico
	Formação Batatal	



ANEXO B

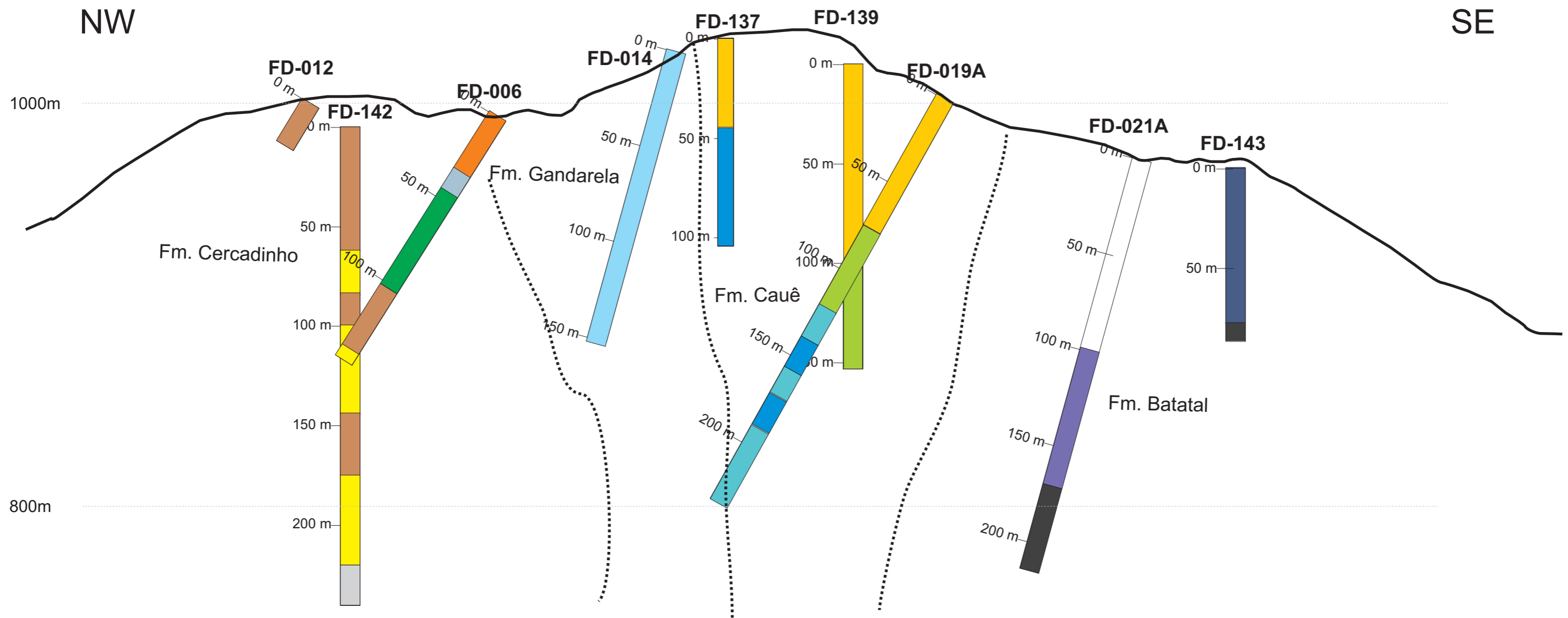
Seções verticais com localização e descrição litológica simplificada dos testemunhos de sondagem na região da Mina Esperança

Título do trabalho:
Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

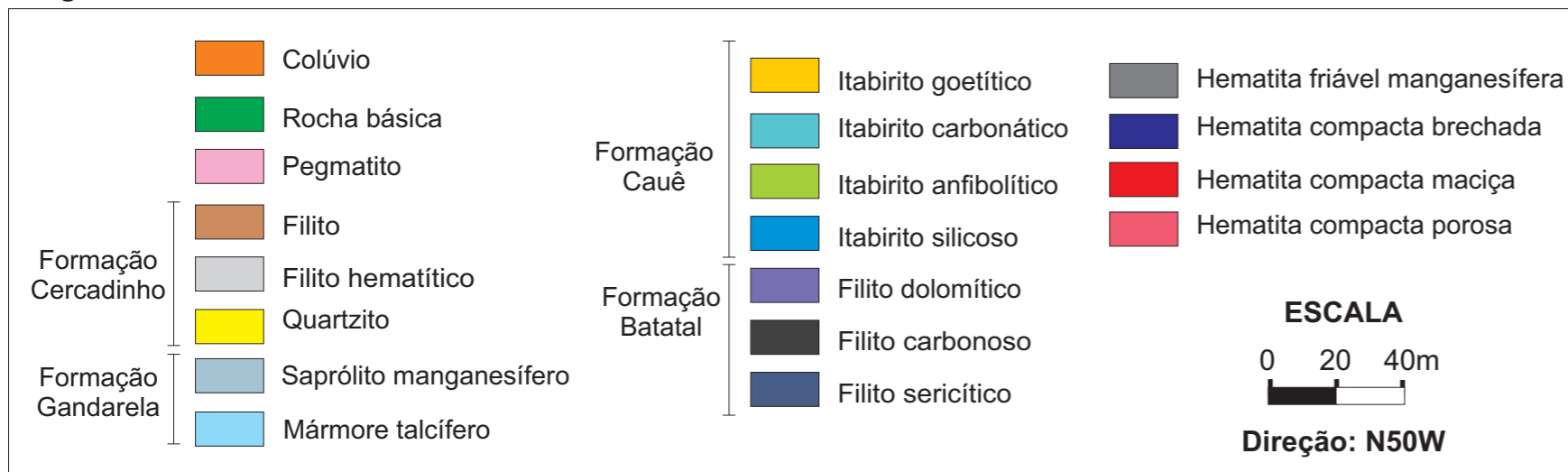
Autor: Julio Carlos Destro Sanglard

Data: Maio de 2013

SEÇÃO VERTICAL ESP 05



Legenda



ANEXO B

Seções verticais com localização e descrição litológica simplificada dos testemunhos de sondagem na região da Mina Esperança

Título do trabalho:
Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

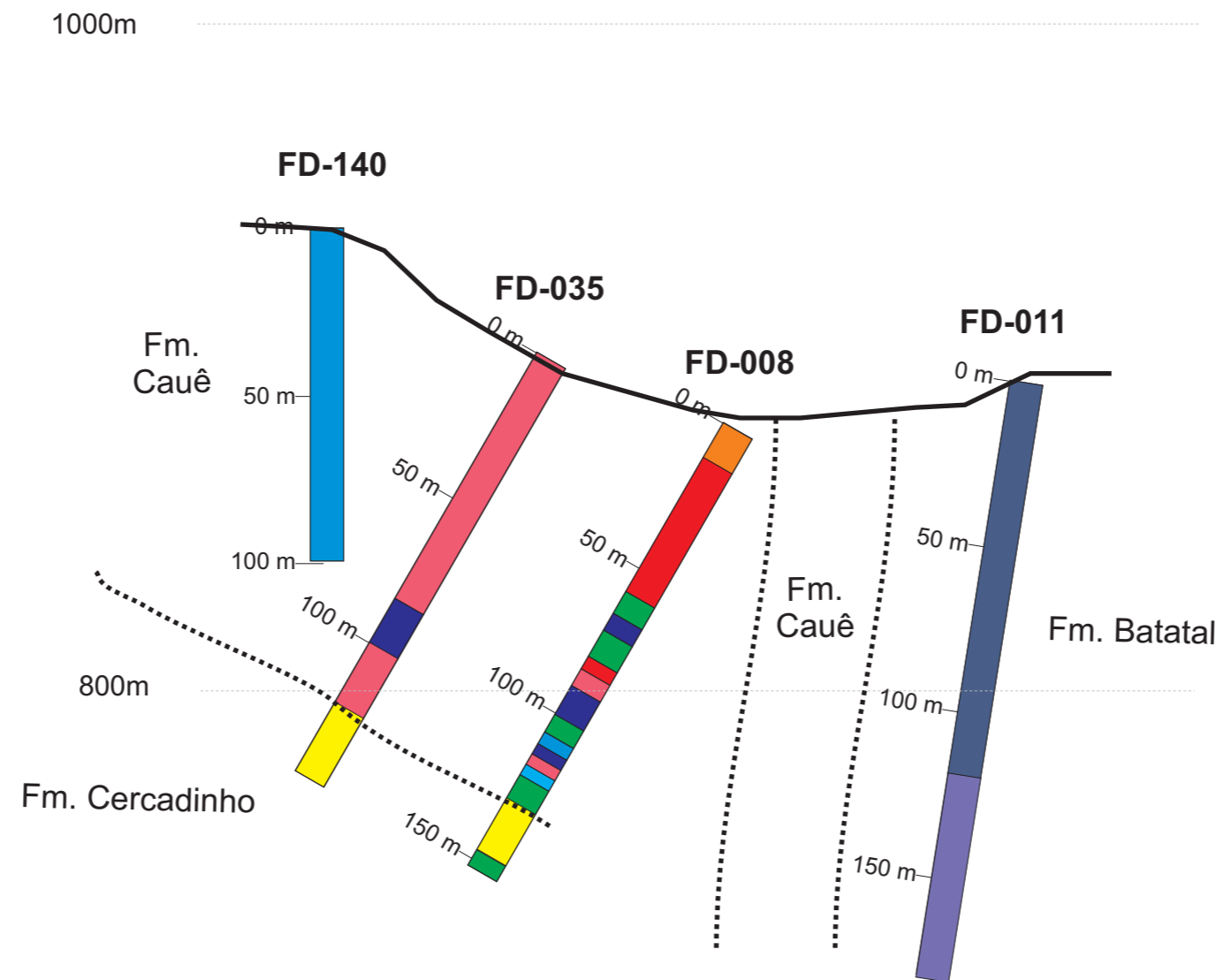
Autor: Julio Carlos Destro Sanglard

Data: Maio de 2013

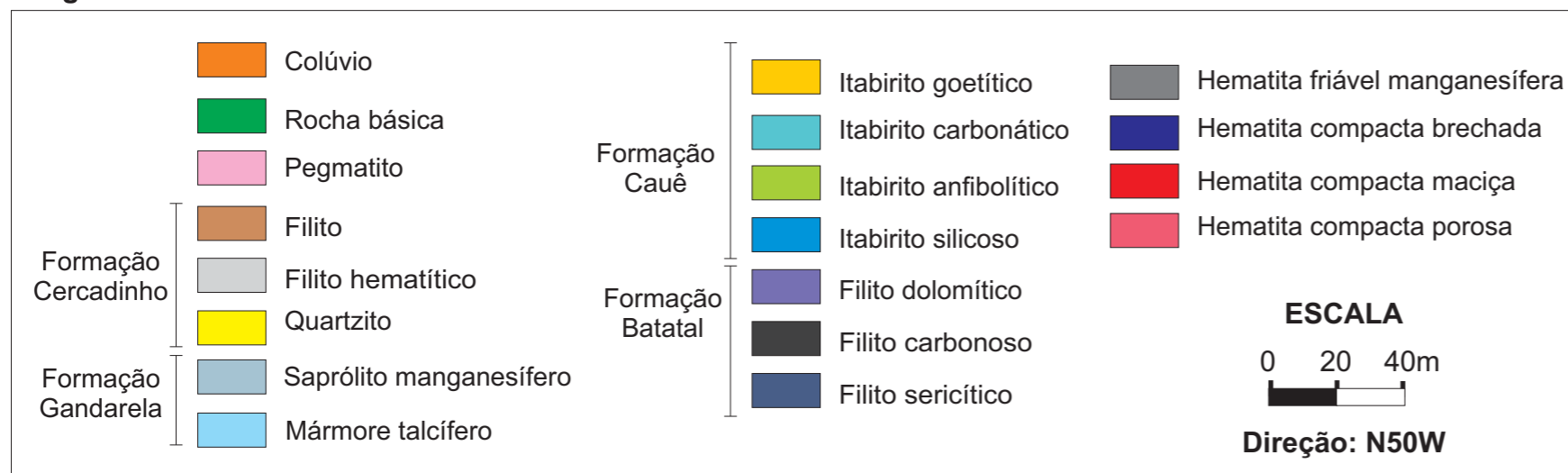
SEÇÃO VERTICAL ESP 06

NW

SE



Legenda



ANEXO B

Seções verticais com localização e descrição litológica simplificada dos testemunhos de sondagem na região da Mina Esperança

Título do trabalho:
Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

Autor: Julio Carlos Destro Sanglard

Data: Maio de 2013

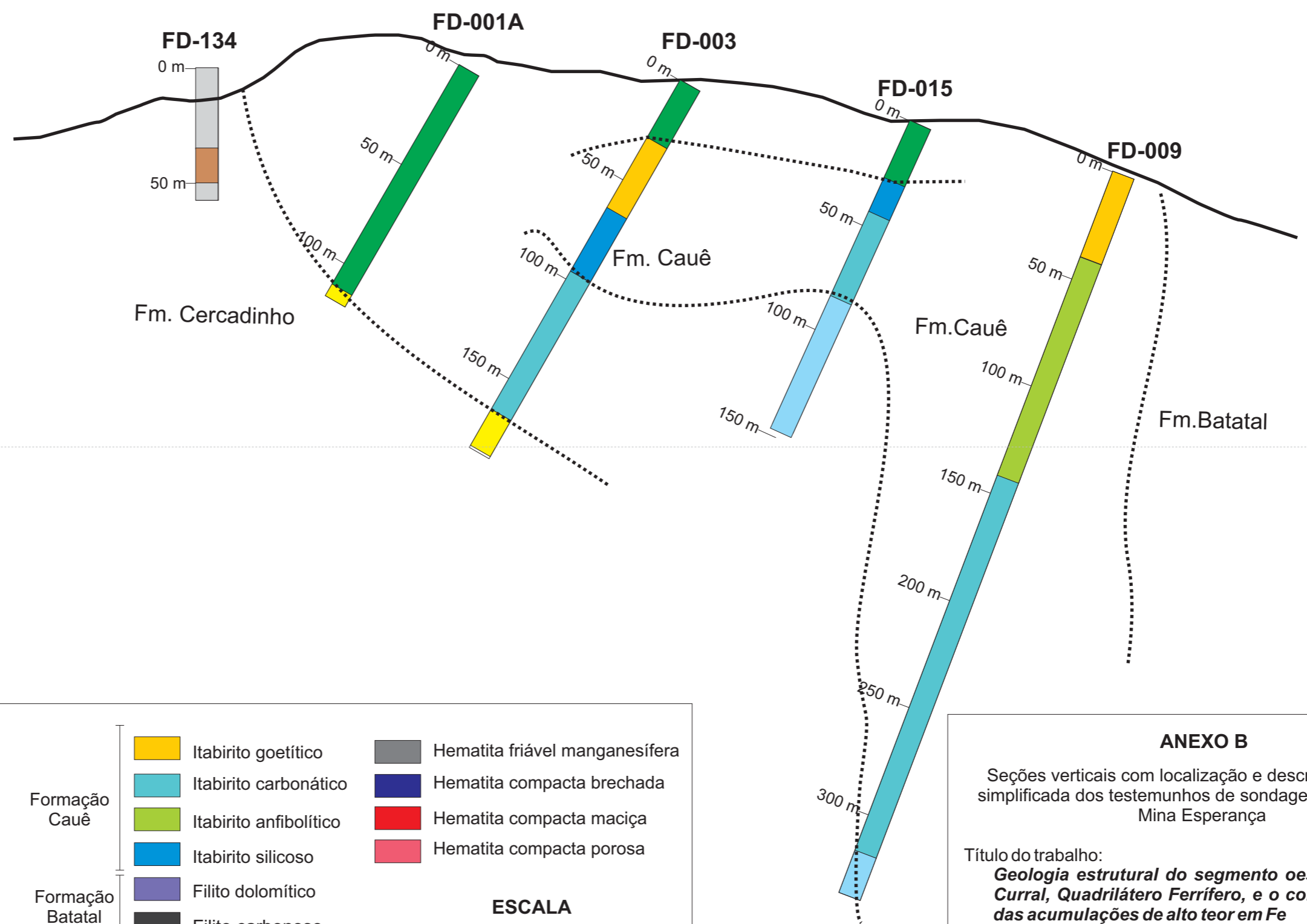
SEÇÃO VERTICAL ESP 07

NW

SE

1000m

800m



Legenda

Colúvio	Itabirito goetítico	Hematita friável manganésifera
Rocha básica	Itabirito carbonático	Hematita compacta brechada
Pegmatito	Itabirito anfibolítico	Hematita compacta maciça
Filito	Itabirito silicoso	Hematita compacta porosa
Formação Cercadinho	Filito hematítico	
	Quartzito	
Formação Gandarela	Saprólito manganésifero	
	Formação Cauê	
	Filito dolomítico	
	Filito carbonoso	
	Formação Batatal	
	Filito sericítico	

ESCALA
0 20 40m
Direção: N50W

ANEXO B

Seções verticais com localização e descrição litológica simplificada dos testemunhos de sondagem na região da Mina Esperança

Título do trabalho:
Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

Autor: Julio Carlos Destro Sanglard

Data: Maio de 2013

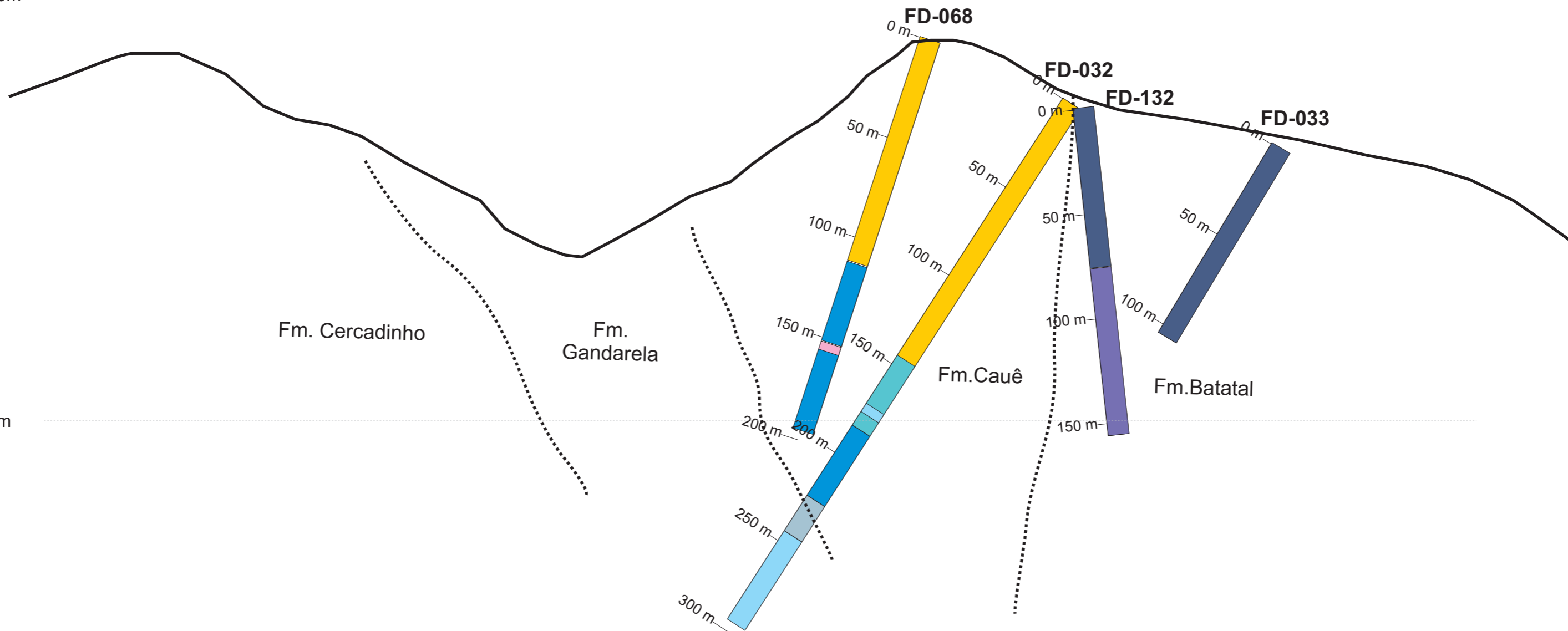
SEÇÃO VERTICAL ESP 08

NW

SE

1000m

800m



Fm. Cercadinho

Fm. Gandarela

Fm. Cauê

Fm. Batatal

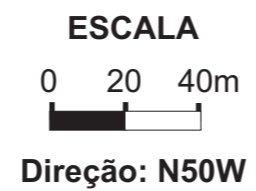
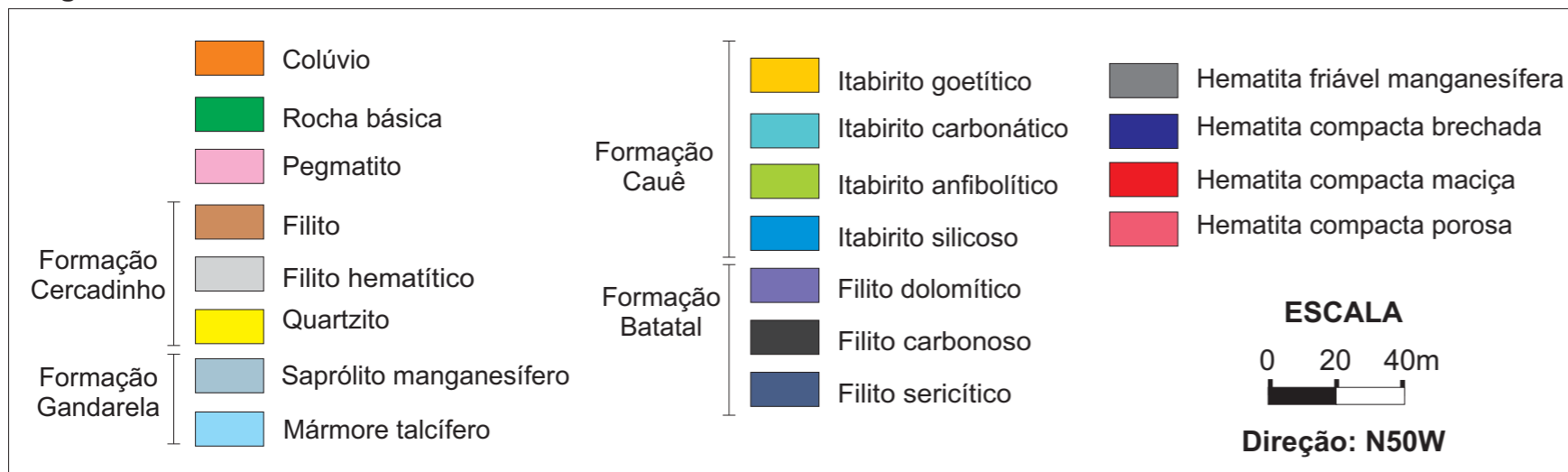
FD-068

FD-032

FD-132

FD-033

Legenda



ANEXO B

Seções verticais com localização e descrição litológica simplificada dos testemunhos de sondagem na região da Mina Esperança

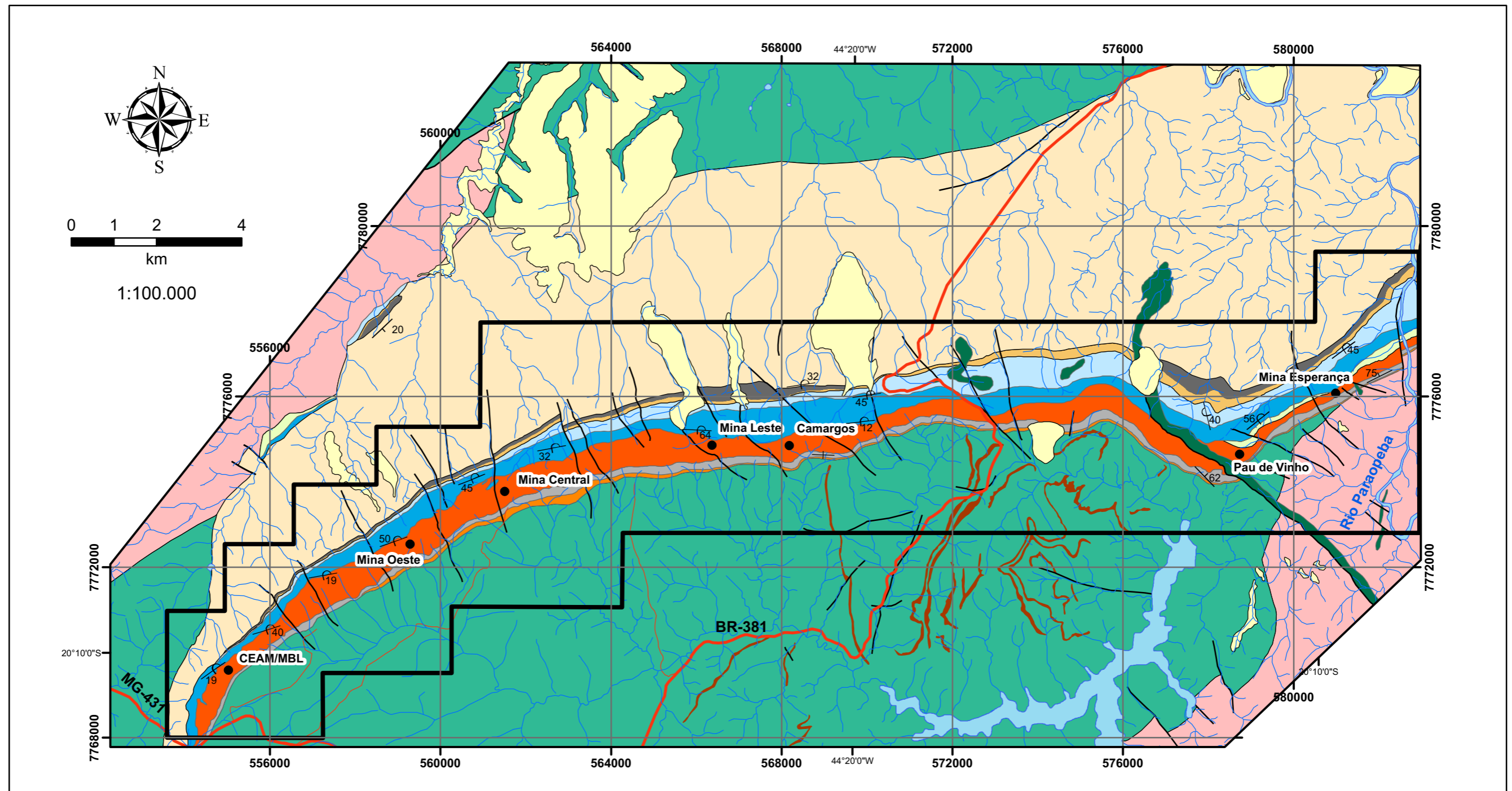
Título do trabalho:
Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em Fe

Autor: Julio Carlos Destro Sanglard

Data: Maio de 2013

Anexo C - Mapa geológico da região do segmento oeste da Serra do Curral

Mapa geológico da região do segmento oeste da Serra do Curral



LEGENDA

Unidades Estratigráficas

	Coberturas colúvio-eluvionares	Grupo Itabira		Fm. Gandarela
	Gabro e diabásio			Fm. Cauê
	Grupo Sabará	Grupo Caraça		Fm. Batatal
	Fm. Barreiro			Fm. Moeda
	Fm. Taboões			Grupo Nova Lima
	Fm. Fecho do Funil			Complexos granito-gnáissico
	Fm. Cercadinho			

	Falha indiscriminada
	Rodovia
	Limite da área de estudo
	Represa
	Drenagem
Acamamento com indicação da direção e sentido de mergulho com valor:	
	Normal
	Invertido
	Vertical

ANEXO C

Mapa geológico do segmento oeste da Serra do Curral

Este anexo compõe a dissertação de mestrado **Geologia estrutural do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações de alto teor em ferro**

Autor: Julio Carlos Destro Sanglard
Data: Maio de 2013

Mapa fornecido pela USIMINAS feito a partir da compilação de Simmons (1968) e IGA (1982, 1985) com modificações na região do polígono da área de estudo.

PROJEÇÃO UTM - MERIDIANO CENTRAL 45° W