

HENRIQUE GIACOMELI

As Formações Ferríferas Bandadas de Piumhi: Geologia,
Petrografia e Caracterização Tecnológica

Junho/2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

HENRIQUE GIACOMELI

As Formações Ferríferas Bandadas de Piumhi: Geologia,
Petrografia e Caracterização Tecnológica

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Orientador: Prof.Dr. Antenor Zanardo

Rio Claro/SP
2011

551.8
G429f Giacomeli, Henrique
 As formações ferríferas bandadas de Piumhi : geologia, petrografia e
 caracterização tecnológica / Henrique Giacomeli. - Rio Claro : [s.n.], 2011
 145 f. : il., figs., tabs.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
 Geociências e Ciências Exatas
 Orientador: Antenor Zanardo

 1. Geologia estrutural. 2. Formações ferríferas bandadas. 3. Grupo
 Lavapés. 4. Tipos de minério. 5. Distribuição granulométrica. 6. Pellet
 feed. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

HENRIQUE GIACOMELI

As Formações Ferríferas Bandadas de Piumhi: Geologia,
Petrografia e Caracterização Tecnológica

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Comissão Examinadora

Orientador Prof. Dr Antenor Zanardo

Prof. Dr Afonso Schrank

Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho

Rio Claro/SP
2011

*À Silvia Abreu, Juliana Abreu
e Neila Fernandes, mulheres para
mim, de singular importância.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me concedido capacidade e persistência necessárias à execução deste trabalho;

Ao CNPq pela bolsa de estudo, vinculada ao programa de pós-graduação em Geologia Regional do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE da Unesp/Rio Claro;

Ao Prof. Dr. Antenor Zanardo pela orientação e os anos de convivência que contribuíram não só para elaboração desta dissertação, mas também me ensinaram lições de boa conduta e profissionalismo;

Ao Diretor Flávio Grisi, pelo convite para realização da dissertação de mestrado na região de Piumhi/MG, seu apoio financeiro, logístico e motivacional;

À minha família, que me ensinou o respeito, a honestidade, a dedicação e a humildade necessárias à formação de pessoa de bom caráter. Em especial, agradeço a minha mãe, Silvia, por seu zelo, amparo e conselhos incondicionais e que, sem dúvida, me foram e serão fundamentais ao longo de todos os anos da minha vida. À minha namorada Neila pelo seu apoio, que sempre existiu desde que te conheci, mesmo eu não podendo estar sempre na tua companhia. A minha irmã, Juliana, pelo cuidado e apoio que das vezes que precisei, sempre esteve prontamente a me ajudar;

À amiga e colega Liliane Maia Tcacenco pela amizade sugestão de substituí-la nos trabalhos em Piumhi;

À colega bibliotecária Luciane Scoto pela revisão desta dissertação para adequação às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);

Ao geólogo Bruno César Araújo (Lagarto) pelo companheirismo e anos de amizade os quais não pretendo perder;

Aos alunos Thiago (Queixo) e Ramon (Presuntinho) pela ajuda nos ensaios de beneficiamento;

Ao colega Marcelino pela companhia e colaboração nos trabalhos de campo;

À toda equipe de professores do Departamento de Petrologia e Metalogenia – DPM e Geologia Aplicada – DGA, que fazer parte essencial da minha formação profissional. Aos funcionários dos respectivos departamentos, bem como os da Pós-Graduação em Geologia Regional e Geociências e Meio Ambiente, funcionários da

Biblioteca da Unesp/Rio Claro, que não faltaram com os devidos suportes, dos quais necessitei;

À equipe GEONET, da qual fiz parte, em especial ao geólogo Dr. Gustavo Abreu, pelo apoio, discussões técnicas, sugestões e conselhos que muito contribuíram a este trabalho;

À Inbrás – fábrica de separadores magnéticos, pelos ensaios de separação magnética nas amostras usadas no presente estudo;

À todos aqui referidos, deixo expresso meu sincero muito obrigado.

RESUMO

As formações ferríferas bandadas de Piumhi pertencem ao Grupo Lavapés, definido como uma seqüência metassedimentar alóctone do tipo melange tectônica de idade mínima de 634 +/-07. Essas formações ferríferas afloram ao longo da serra do Lavapés, interdigitadas em sucessão de metaconglomerados poli- a oligomíticos, metagrauvacas finas e quartzo-muscovita xistos, que pertencem a Unidade Conglomerática, e, de forma mais contínua, no contato desta unidade com a sobrejacente, a qual é composta por sericita quartzito, definida neste trabalho como Unidade Quartzítica. Dados obtidos no presente trabalho mostram que a deposição dessas formações ferríferas se iniciou num ambiente sedimentar de alta energia, do tipo continental a transicional gradando para bacia marinha restrita, dentro da qual ocorreram pulsos de sedimentação progradante, sucedida de retrogradante e, posteriormente, nova seqüência progradante. Nas formações ferríferas estudadas os minerais opacos são representados essencialmente por hematita do tipo granular e especular, magnetita e martita, que ocorrem em bandas de espessura submilimétrica a centimétrica intercaladas com bandas de quartzo recristalizado; muscovita e filossilicatos finos ocorrem subordinadamente. Apresentam foliação milonítica e estão metamorfasadas em fácies xisto verde, sendo que a martitização de algumas amostras, em estágio avançado de transformação mineralógica, revela a presença de fluidos metamórficos tardios de natureza oxidante. Critérios mineralógicos e texturais permitiram definir três tipos de minério: semi-friável, compacto e maciço. Os cristais de especularita e magnetita/martita ocorrem numa faixa granulométrica de 5 a 450µm, com predomínio de cristais com tamanho médio de 40µm, que muitas vezes estão interpenetrados com o quartzo. Em face destas peculiaridades, os ensaios de beneficiamento tais como moagem, peneiramento e separação magnética mostram que os subtipos semi-friável e compacto apresentam comportamento semelhante. Dado que os procedimentos usados nos ensaios não eliminaram por completo a sílica aprisionada entre os cristais de hematita e magnetita/martita. Porém a análise de distribuição granulométrica mostrou que as partículas geradas na moagem, passantes em peneira de malha 325 mesh, são predominantemente de óxido desprovido de sílica intercrescida às mesmas, o que torna o material estudado potencial para fabricação de *pellet feed*, entretanto, para tal comprovação são necessários testes de beneficiamento de concentração magnética com amostras moídas 100% passantes em peneira de malha 325 mesh. Estimativas da tonelagem das formações ferríferas de Piumhi/MG permitiram inferir um potencial de 198.845.583 toneladas de ferro em óxido e 139.191.908 toneladas de ferro contido.

Palavras-chave: formações ferríferas bandadas, Grupo Lavapés, tipos de minério, distribuição granulométrica, *pellet feed*.

ABSTRACT

The banded iron formations of the Piumhi belongs to the Lavapés Group, defined by a sequence of metasedimentary allochthonous tectonic mélange yielding a minimum age 634 ± 7 Ma. These iron formations outcrop around of the Lavapés Mountain, interlayered in succession in the metaconglomerates poly- to oligomictic, metagraywacke, quartz-muscovite schists, and more continuously in contact with the overlying unit, which is composed of the sericite quartzite, defined Unit quartzite. Data obtained in this study show that the deposition iron formations started from sedimentary high energy environment like transitional continental to restricted marine basin, which occurred within the progradational pulses of the sedimentation, followed by retrograding and then new sequence prograding. The opaque minerals of the Piumhi Banded Iron Formations are mainly represented by hematite and specular-type granules, magnetite and martite, which occur in bands interlayered by submillimeter to centimeter beds of the recrystallized quartz, muscovite and subordinate phyllosilicates occur fine. Exhibit mylonitic foliation and are metamorphosed into greenschist facies, and the martitization some samples, in advanced stages of mineralogical transformation, reveals the presence of metamorphic fluids late in the oxidizing nature. Mineralogical and textural criteria allowed to define three ores types: semi-friable, compact and massive. The crystals of magnetite and specularite / martite occur at grain size range from 5 to 450 μm , with a predominance of crystals with size average of 40 μm , which often are interpenetrated with quartz. Given these peculiarities, the tests of processing such as grinding, sieving and magnetic separation show that the types and semi-friable compact exhibit similar behavior. Since the procedures used in the tests did not eliminate completely the silica trapped between crystals of hematite and magnetite / martite. But the size distribution analysis showed that particles generated in the grinding filtered in a sieve 325 mesh, are mostly free silica, which makes the material studied potential for pellet feed production, however, for such confirmation are needed magnetic separation tests with 100% particles filtered under in a sieve 325 mesh. Estimates of the tonnage of iron formations of Piumhi MG allowed to infer a potential about 200 million tons of the iron oxide and 140 million tons of the iron contained.

Keywords: banded iron formations, Lavapés Group, ore type, size distribution, pellet feed.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Mapa de localização da área estudada, sudoeste de Minas Gerais.....	3
Figura 2 –	Amostras de Formação Ferríferas em preparação para estudos laboratoriais.....	7
Figura 3 –	Fluxograma que mostra as etapas do ensaio de distribuição granulométrica realizado na pesquisa.....	11
Figura 4 –	Separadores Magnéticos da Inbrás, Diadema/SP. Usados no ensaio de concentração magnética.....	12
Figura 5 –	Fluxograma do ensaio de separação magnética realizado em amostra de formação ferrífera bandada, subtipo semi-friável, de Piumhi/MG.....	13
Figura 6 –	Campos de estabilidade de hematita, siderita e pirita em termos de pH e Eh.....	17
Figura 7 –	Seção esquemática de uma bacia restrita profunda hipotética, mostrando zonas deposicionais do ferro.....	18
Figura 8 –	Ambientes deposicionais de formações ferríferas bandadas.....	20
Figura 9 –	Diagrama esquemático que mostra a abundância relativa das formações ferríferas bandadas pré-cambranas no tempo.....	21
Figura 10 –	Evolução da produção mundial de minério de ferro dos últimos 30 anos.....	25
Figura 1 1 –	Consumo e Produção de ferro de 1990 a 2008, mostrando a mesma tendência de crescimento, com a curva da produção com ascensão mais acentuada em relação ao consumo.....	26
Figura 1 2 –	Produção e consumo mundial de minério de ferro, com base na média entre 2001 e 2005.....	27
Figura 1 3 –	Principais depósitos de minério de ferro do mundo.....	28
Figura 14 –	Reservas brasileiras de minério de ferro por unidade federativa. Ano base – 2007.....	30
Figura 1 5 –	Evolução da produção brasileira de minério de ferro no período de 1996 a 2008.....	32
Figura 1 6 –	Evolução da exportação de minério de ferro brasileiro, no período de 1996 a 2008.....	33
Figura 1 7 –	Evolução da exportação de minério de ferro brasileiro, no período de 1996 a 2008.....	34
Figura 1 8 –	Evolução dos preços de minério de ferro brasileiro comercializado de 1996 a 2008.....	35
Figura 1 9 –	Balanço da produção/ consumo de minério de ferro brasileiro no período de 1996 a 2008.....	36
Figura 20 –	Posicionamento da região estudada, marcada pelo círculo em azul, em relação às Províncias Estruturais de Almeida et al. (1981)	39
Figura 21 –	Entidades Geotectônicas na porção meridional da Província Tocantins no sudoeste do estado de Minas Gerais.....	41
Figura 22 –	Mapa geológico do Greenstone belt de Piumhi.....	44
Figura 23 –	Mapa geológico realizado por Fernandes (2002) na região de Piumhi, com a respectiva proposta de subdivisão do Grupo Lavapés.....	47

Figura 24 –	Legenda da Figura 23.....	48
Figura 25 –	Mapa geológico da Nappe de Passos.....	53
Figura 26 –	Unidades litoestratigráficas discriminadas na área mapeada na Serra da Gabiroba. Piumhi/Santo Hilário – MG.....	57
Figura 27 –	Granito Taquari na área estudada e mapeada.....	59
Figura 28 –	Fotomicrografia de sienogranito que mostra textura xenomórfica.....	60
Figura 29 –	Metaconglomerado da unidade Conglomerática do Grupo Lavapés, aflorante na Serra da Gabiroba.....	62
Figura 30 –	Fotomicrografia de metaconglomerado polimítico do Grupo Lavapés que mostra seixos de quartzo e agregados de sericita que são resultado da alteração de fragmentos líticos e de cristais de feldspato.....	63
Figura 31 –	Fotomicrografias de metaconglomerado polimítico do Grupo Lavapés que mostra leitos descontínuos de hematita microgranular.....	64
Figura 32 –	Fotomicrografias de metarenito fino do Grupo Lavapés na serra da Gabiroba que mostram filetes contínuos de hematita granular e goethita.....	66
Figura 33 –	Afloramentos de Formações Ferríferas ao longo da Serra da Gabiroba.....	68
Figura 34 –	Metarenito ferruginizado e cortado por vênulas de quartzo branco, pertencente da Unidade Metapelítica – Metarenítica.....	69
Figura 35 –	Fotomicrografias do metarenito ferruginizado da Unidade Metapelítica-Metarenítica que mostra preservação parcial do arredondamento sedimentar.....	70
Figura 36 –	Unidade Quartzítica, aflorante na crista da Serra da Gabiroba...	71
Figura 37 –	Fotomicrografias de quartzitos silificados da Unidade Quartzítica.....	73
Figura 38 –	Quartzito do Grupo Canastra, aflorante na Serra da Pimenta....	75
Figura 39 –	Fotomicrografias de quartzito foliado do Grupo Canastra.....	76
Figura 40 –	Concentrações residuais supérgenas de óxidos de manganês associadas às formações ferríferas bandadas.....	78
Figura 41 –	Difratograma de raios X interpretado.....	79
Figura 42 –	Afloramentos dos tipos de formação ferrífera presentes na Serra da Gabiroba.....	81
Figura 43 –	Fotomicrografias de formação ferrífera bandada subtipo semi-friável.....	84
Figura 44 –	Fotomicrografia com luz refletida da formação ferrífera bandada semi-friável que mostra cristais de magnetita contendo micro a criptoporos disseminados e restos de magnetita (manchas rosadas difusas). Grupo Lavapés.....	85
Figura 45 –	Fotomicrografia com luz refletida da formação ferrífera bandada semi-friável que mostra no centro da foto microdescontinuidade preenchida por goethita, decorrente de remobilização supérgena.....	86
Figura 46 –	Fotomicrografias de formação ferrífera semi-friável que mostra no centro da foto cristal de magnetita com sombras de pressão constituídas de quartzo com crescimento perpendicular as paredes do cristal de magnetita.....	87

Figura 47 –	Fotomicrografias de formação ferrífera bandada do Grupo Lavapés.....	89
Figura 48 –	Fotomicrografias de formação ferrífera bandada do Grupo Lavapés com diferentes graus de martitização e porosidade.....	90
Figura 49 –	Fotomicrografias de formação ferrífera maciça do Grupo Lavapés.....	92
Figura 50 –	Diagramas de variação binária de elementos maiores das formações ferríferas bandadas de Piumhi/MG, aflorantes na serra da Gabiroba.....	96
Figura 51 –	Fluxograma típico de beneficiamento de minério.....	100
Figura 52 –	Fotomicrografias de partículas de amostra de formação ferrífera moída que mostram os diferentes tipos partículas contadas e classificadas.....	102
Figura 53 –	Fotomicrografias das partículas retidas nas peneiras e passantes na peneira de 325 mesh do subtipo friável. Em todas as granulometrias observadas ocorre a presença de partículas mistas, porém em menor proporção à medida que diminui a dimensão das mesmas.....	105
Figura 54 –	Fotomicrografias das partículas retidas nas peneiras e passantes na peneira de 325 mesh do subtipo compacto. Em todas as granulometrias foi observado ocorre a presença de partículas mistas, porém em menor proporção à medida que diminui a dimensão das mesmas.....	106
Figura 55 –	Gráfico de barras de distribuição granulométrica em porcentagem.....	108
Figura 56 –	Fluxograma que mostra características, classificação e aplicações dos separadores magnéticos.....	110
Figura 57 –	Gráfico de barras que mostra os teores em Fe ₂ O ₃ e SiO ₂ da amostra moída 100% abaixo de 100 mesh passada nos separadores magnéticos de tambor e de carrossel.....	112
Figura 58 –	Amostra de formação ferrífera bandada subtipo semi-friável antes (cabeça) e depois da separação magnética.....	113
Figura 59 –	Gráfico de barras do percentual de cada tipo de partícula gerada após a moagem 100% abaixo de 100 mesh e separação magnética com campos de 1.350, 7.500 e 12.000 gauss.....	114
Figura 60 –	Fotomicrografia de formação ferrífera bandada subtipo semi-friável que mostra relações de contato dos cristais de óxido (em preto) com o quartzo (transparente), que em algumas porções o quartzo está aprisionado entre os cristais pretos.....	120
Figura 61 –	Especificação da composição química para fabricação do Pellet Feed.	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Peso das amostras das faixas granulométricas analisadas neste ensaio. Para localização das amostras vide apêndice A - mapa de pontos.....	9
Tabela 2 –	Principais depósitos de minério de ferro do mundo.....	28
Tabela 3 –	Quadro de correspondência entre as escamas tectônicas discriminadas por Valeriano et al (1995) e as unidades litoestratigráficas definidas em trabalhos anteriores.....	50
Tabela 4 –	Análise química de elementos maiores via fluorescência de raios X. Amostra de Laterita Manganésífera coletada no ponto 56 (Apêndice A).....	77
Tabela 5 –	Distribuição granulométrica estimada in natura da formação ferrífera bandada semi-friável de Piumhi/MG.....	83
Tabela 6 –	Distribuição granulométrica estimada in loco da formação ferrífera bandada compacta de Piumhi/MG.....	89
Tabela 7 –	Distribuição granulométrica estimada in loco da formação ferrífera maciça de Piumhi/MG.....	91
Tabela 8 –	Análise litogeoquímica de elementos maiores expressos em porcentagem (%) de amostras das formações ferríferas de Piumhi, aflorantes na Serra da Gabiroba.....	94
Tabela 9 –	Resultado da contagem e classificação de 1000 partículas da amostra do subtipo semi-friável. Amostra ponto 86 (Apêndice A – mapa de pontos). Formação ferrífera bandada de Piumhi/MG.....	103
Tabela 10 –	Resultado da contagem e classificação de 1000 partículas da amostra do subtipo semi-friável. Amostra ponto 28 (Apêndice A – mapa de pontos). Formação ferrífera bandada de Piumhi/MG.....	103
Tabela 11 –	Resultado da contagem e classificação de 1000 partículas da amostra do subtipo compacto. Amostra ponto 79 (Apêndice A – mapa de pontos). Formação ferrífera bandada de Piumhi/MG.....	104
Tabela 12 –	Resultado da contagem e classificação de 1000 partículas da amostra do subtipo compacto. Amostra B ponto 29 (Apêndice – mapa de pontos). Formação ferrífera bandada de Piumhi/MG.....	104
Tabela 13 –	Análise química de elementos maiores do material retido nos campos magnéticos de 1.350, 7.500, 12.000 gauss e do material passante (NG-magnética em 1350 e 7.500 gauss, NM 12.000 gauss).....	111
Tabela 14 –	Estimativa das reservas de minério de ferro na região de Piumhi/MG.....	118

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS DO TRABALHO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E VIAS DE ACESSO	1
2 MATERIAIS, E MÉTODOS.	3
2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	3
2.2 MAPEAMENTO GEOLÓGICO	3
2.3 TRABALHOS DE LABORATÓRIO.....	4
2.4 ANÁLISE MICROPETROGRÁFICA.....	4
2.5 ANÁLISE LITOQUÍMICA.....	4
2.6 ENSAIOS DE BENEFICIAMENTO	4
2.6.1 Britagem	5
2.6.2 Moagem	7
2.6.3 Deslamagem	7
2.6.4 Ensaio de Distribuição Granulométrica	8
2.6.5 Concentração Magnética.....	11
2.7 TRABALHOS DE ESCRITÓRIO	12
3 FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS PRÉ-CAMBRIANAS: GÊNESE, CLASSIFICAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E MODELOS EVOLUTIVOS.....	14
3.1 NOMENCLATURA	14
3.2 CONCEITO DE FÁCIES	15
3.3 CLASSIFICAÇÃO DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS	17
3.4 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL	20
3.5 CONDIÇÕES DE PRECIPITAÇÃO E MODELOS DEPOSICIONAIS DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS.....	20
4 SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL	23
4.1 ASPECTOS ECONÔMICOS GERAIS.....	23
4.2 PANORAMA ECONÔMICO NACIONAL DO MERCADO DE MINÉRIO DE FERRO.....	28
4.2.1 Evolução da Produção	31
4.2.2 Consumo	31
4.2.3 Comércio Exterior.....	32
4.2.4 Preços	33
5 HISTÓRICO DA ATIVIDADE MINEIRA DE PIUMHI/MG.....	36
6 CONTEXTUAÇÃO GEOLÓGICA	38
6.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ENTIDADES GEOTECTÔNICAS DO SUDOESTE DE MINAS GERAIS	38
6.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DO ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL.....	41

6.2.1 Complexo Barbacena.....	41
6.2.2 Complexo Varginha.....	41
6.2.3 Greenstone Belt de Piumhi.....	42
6.2.4 Grupo Ribeirão Araras.....	43
6.2.5 Grup Paciência.....	45
6.2.6 Grupo Lavapés.....	44
6.2.7 Grupo Canastra.....	50
6.2.8 Grupo Araxá.....	51
6.2.9 Grupo Bambuí.....	53
6.3 COMPARTIMENTAÇÃO TECTÔNICA ENTRE AS ENTIDADES GEOTECTÔNICAS ABORDADAS	53

7 LITOESTRATIGRAFIA DA SERRA DA GABIROBA E PIMENTA PIUMHI/MG ...55

7.1 GRANITO TAQUARI	56
7.2 GRUPO LAVAPÉS	59
7.2.1 Unidade Conglomerática	60
7.2.2 Unidade Ferrífera	66
7.2.3 Unidade Metapelítica-Metarenítica.....	67
7.2.4 Unidade Quartzítica.....	69
7.3 GRUPO CANASTRA.....	72
7.4 HORIZONTE MANGANESÍFERO	76

8 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DE PIUMHI.....79

8.1 FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA SEMI-FRIÁVEL.....	80
8.2 FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA COMPACTA	86
8.3 FORMAÇÃO FERRÍFERA MACIÇA	90

9 LITOQUÍMICA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DE PIUMHI.....92

10 ENSAIOS DE BENEFICAMENTO97

10.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS DE PIUMHI	99
10.2 SEPARAÇÃO MAGNÉTICA	108

11 ESTIMATIVAS DAS RESERVAS DE MINÉRIO DE FERRO DA REGIÃO DE PIUMHI/MG 114

11.1 CÁLCULOS ÁREA 1	114
11.2 CÁLCULO ÁREA 2.....	116

12 CONFRONTAÇÃO DOS DADOS DE CAMPO E LABORATORIAIS..... 118

13 CONCLUSÕES	122
REFERÊNCIAS.....	124
APÊNDICES.....	132

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa e Objetivos do Trabalho

Os metais são uma das categorias de materiais geológicos que constituem o tripé sustentador da civilização industrial. Combustíveis fósseis, tais como o carvão, petróleo e gás, bem como os depósitos não metálicos, representam as outras duas categorias.

Desde a era do Bronze nossa civilização depende de metais e tal demanda continuará no futuro próximo. Tal afirmativa pode ser testemunhada pelo expressivo crescimento econômico de países asiáticos emergentes, especialmente a China, cuja demanda por aço, no atual momento, é a maior do mundo. Nestas circunstâncias, ocorrências ferríferas outrora consideradas inviáveis economicamente, podem ser transformadas em jazidas de minério de ferro. Em razão dessas assertivas, percebe a grande importância dos estudos científicos e tecnológicos que envolvem as referidas ocorrências.

Não há dúvida de que as formações ferríferas são de longa data as mais importantes fontes de minério de ferro no mundo todo, devido suas amplas faixas de distribuição, dimensão de depósitos, teor e facilidade de beneficiamento.

No sul/sudoeste do Estado de Minas Gerais, ocorrem vários tipos de formações ferríferas bandadas, localizadas em diferentes ambientes geotectônicos peculiares. As que ocorrem nos arredores de Piumhi estão associadas ao Grupo Lavapés, que é tido como uma sequência metavulcanossedimentar intimamente associadas a corpos podiformes de cromititos. Entretanto, são pouco documentadas na literatura vigente.

Neste âmbito, se faz necessário um estudo detalhado fundamentado em análise petrográfica, litoquímica e mapeamento geológico, com vistas a fornecer subsídios para a avaliação do aproveitamento econômico e contribuir com o conhecimento geocientífico da região, sob o ponto de vista acadêmico. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva apresentar a caracterização geológica das formações ferríferas bandadas e suas rochas encaixantes, localizadas nos arredores

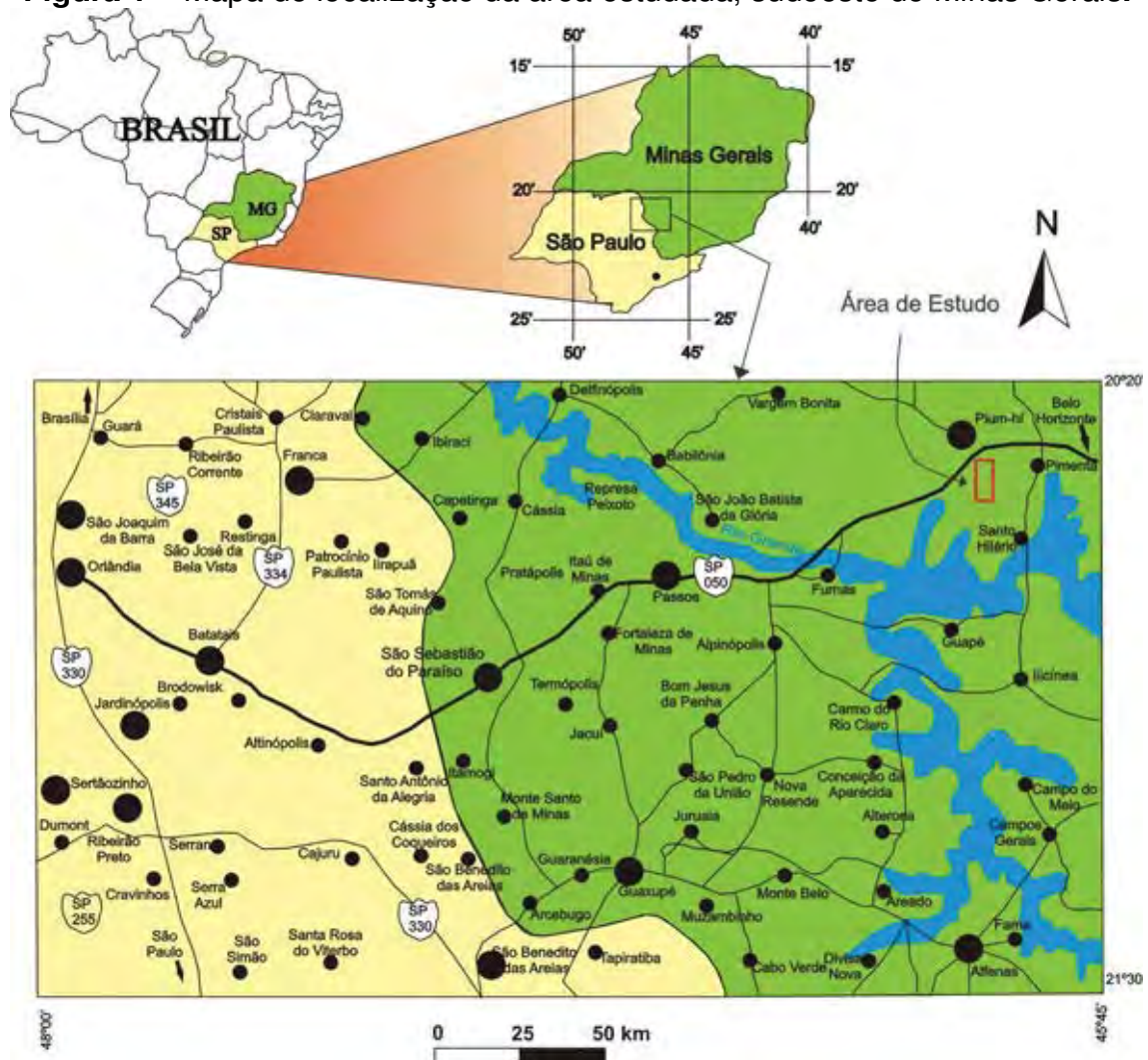
de Piumhi, Estado de Minas Gerais. A pesquisa além dos estudos geológicos “*in loco*” teve uma vertente direcionada à caracterização tecnológica dos tipos texturais das formações ferríferas mapeadas, cujo objetivo foi testar, de forma expedita, técnicas de beneficiamento, visando prever possíveis produtos a serem gerados, com valor econômico agregado, a partir das referidas formações ferríferas.

1.2 Localização da Área e Vias de Acesso

A área pesquisada tem forma de um retângulo orientado na direção N-S com aproximadamente 132 km², delimitado pelas coordenadas UTM 7727-7717N e 401-406 E. Localiza-se no sul do estado de Minas Gerais, ao sul de Piumhi, que fica entre as cidades de Capitólio a oeste, e Pimenta a leste.

A região possui um bom sistema viário, porém é cortada por apenas uma rodovia asfaltada. A maioria das estradas que servem para acessar os afloramentos são de terra batida. O acesso pode ser feito através da Rodovia SP-351 que liga Ribeirão Preto a cidade de São Sebastião do Paraíso (MG), partindo desta mesma cidade no sentido Belo Horizonte pela Rodovia MG-050. A partir de São Paulo pode ser feito pela Rodovia dos Bandeirantes ou Anhanguera até a cidade de Campinas, tomando a partir deste ponto a rodovia SP-340 em direção a Mococa e daí para São Sebastião do Paraíso ou Guaxupé-Muzambinho (MG). De Belo Horizonte a área pode ser acessada pela MG-050 (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da área estudada, sudoeste de Minas Gerais.



Fonte: Google Maps, modificado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atender os objetivos propostos nesta dissertação de mestrado, os trabalhos foram executados em 4 etapas, a saber:

1. Escritório inicial: para levantamento bibliográfico preliminar;
2. Campo: para realização de mapeamento geológico, e coleta de amostras;
3. Laboratório: tratamento e análise das amostras;
4. Escritório final: tratamento dos dados obtidos e elaboração da dissertação.

2.1 Levantamento Bibliográfico

Consistiu na coleta das seguintes informações:

1. Informação da literatura geocientífica que trata a respeito da geologia da região de Piumhi e como a mesma está inserida no contexto geotectônico do sudoeste do Estado de Minas Gerais;
2. Dados de produção de minério de ferro com intuito de se elabora uma síntese das características econômicas deste minério no Brasil e no mundo;
3. Compilação de dados relacionados à gênese, classificação, distribuição temporal e modelos evolutivos.

2.2 Mapeamento Geológico

Executado em 4 saídas de campo de cerca de 5 dias cada uma. Ao todo foram efetuados 236 pontos de observação geológica, para coleta de amostras de rocha, dados estruturais e registro fotográfico de afloramentos (Apêndice A).

Ao todo foram coletadas 45 amostras de rocha para estudos petrográficos e litogeoquímicos. O mapa geológico produzido com estes dados está apresentado na escala 1: 25.000 (Apêndice B).

2.3 Trabalhos de Laboratório

Uma parcela importante do trabalho foi executada em laboratório utilizando-se de técnicas de análise micropetrográfica, litoquímica, ensaios de beneficiamento tais como: distribuição granulométrica, britagem, moagem e concentração magnética.

2.4 Análise micropetrográfica

Foram confeccionadas 14 seções delgadas e 12 lâminas polidas para caracterização de microestruturas e mineralogia a fim de se compreender aspectos genéticos e evolutivos das formações ferríferas bandadas de Piumhi e das demais unidades geológicas cartografadas nos trabalhos de campo.

2.5 Análise Litoquímica

Ao todo foram analisadas 10 amostras de formação ferrífera bandada para elementos maiores via fluorescência de Raios X no laboratório de geoquímica da UNESP/Rio Claro, para elementos traços foi utilizado o método ICP e para os Terras Raras ICP – MS, os dois últimos executados pela AcmeLabs (Vancouver – Canadá). Com os dados obtidos foram elaborados diagramas de variação binária através do software Igpet.

2.6 Ensaios de Beneficiamento

Última etapa de aquisição de dados trabalhados na presente pesquisa. Teve como ponto de partida a coleta de amostras de minério do tipo friável e compacto de acordo com um volume representativo para realização dos ensaios propostos. Ao todo foram coletados 450 kg do tipo compacto e a mesma quantidade do tipo friável que foram separados em sacos plásticos de 50kg reforçados (Figura 2 A).

O transporte até a sala de britagem do Departamento de Petrologia e Metalogenia foi realizado com carro utilitário (S10 cabine simples 4x4). As amostras foram coletadas na superfície em exposições *in situ* de formação ferrífera bandada

no ponto 28 do mapa de pontos (Apêndice A). A coleta foi realizada com auxílio de ferramentas rudimentares tais como pás e picaretas (Figura 2 B).

2.6.1 Britagem

Foi executada em duas etapas. Sendo que nas duas as amostras do minério tipo friável e compacta foram tratadas separadamente. A primeira foi realizada manualmente com auxílio de martelos e maretas de 5kg, cujo resultado foi a redução dos fragmentos que eram predominantemente decimétricos e passaram a ter no máximo 5 cm (Figura 2 C). Após esta etapa o material gerado foi homogeneizado pelo processo de quarteamento (Figura 2 E). Neste foi utilizada lona plástica de 8 m².

Em seguida foi realizada a britagem mecânica, na qual foi utilizado um britador de mandíbula modelo BM – 2010, produzido pela fábrica Furlam (Localizada em Piracicaba/SP), que reduziu os fragmentos de minério de 5 para 3 a 2,5 cm (Figura 2 D e 2 F). Após a britagem foi realizada novamente homogeneização por quarteamento.

Figura 2 – Amostras de Formação Ferríferas em preparação para estudos laboratoriais.



A) Amostras de formação ferrífera bandada coletadas e em ensacadas no ponto 28 (mapa de pontos – apêndice). B) Coleta das amostras com auxílio de pás e marretas. C) Amostra britada manualmente. D) Amostra britada mecanicamente. E) Execução do quarteamento no intervalo entre as britagens. F) Britador Furlan Modelo BM – 2010 utilizado na britagem mecânica.

2.6.2 Moagem

Em razão de que, com o ensaio, pretendeu-se testar a moabilidade do minério em escala piloto. Foi utilizada uma betoneira de motor elétrico trifásico com capacidade para 400 L. Dentro da mesma, foram colocadas barras de ferro cilíndricas de 33 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro dispostas paralelamente ao eixo de rotação horizontal, minério britado e água corrente. Durante o ensaio foi mantida uma relação de peso das barras e do minério de 3:1 (para cada 3 kg de barras 1kg de minério).

No primeiro teste, a utilização das barras não foi satisfatória, e por esta razão as mesmas foram substituídas por esferas de ferro de 3 cm de diâmetro, que pesam cerca de 1 kg cada uma. A relação 3:1 foi mantida (aproximadamente 30 esferas para cada 10 kg de minério britado). A betoneira operava com seu eixo de rotação na horizontal de modo que as esferas deslizavam umas sobre as outras e sobre o minério. O processo foi realizado via úmida com água corrente, de forma que a mesma arrastava as partículas moídas que caíam numa peneira de malha 100 mesh inserida numa caixa d'água plástica de capacidade para 500L. Ao todo foram utilizadas 36 esferas e foram moídos 12 kg de minério 100% abaixo de 100 mesh os quais posteriormente foram utilizados nos ensaios de separação magnética.

2.6.3 Deslamagem

Após a moagem o minério passante na peneira e acumulado no fundo da caixa d'água foi deslamado, cujo procedimento foi realizado da seguinte forma:

1. Ao minério decantado foi adicionado água até a metade da caixa d'água e homogeneizado.
 2. Em seguida foi dado um tempo de espera de 15 minutos para decantação das partículas do minério.
 3. Após os 15 minutos a água foi retirada através de uma bomba hidráulica.
- Este procedimento foi repetido por 3 vezes.

2.6.4 Ensaio de Distribuição Granulométrica

Consistiu no tratamento de quatro amostras de mão de formação ferrífera bandada: duas do minério tipo compacto e duas do tipo semi-friável. O primeiro passo consistiu no quebramento das amostras em fragmentos centimétricos que posteriormente, com auxílio de placas de cerâmica, foram moídas até o início do surgimento de pó de rocha. Após este procedimento, as amostras foram peneiradas individualmente, onde cada uma foi passada em 6 peneiras de malhas de abertura 60, 100, 150, 200, 270 e 325 mesh. Com a fração retida em cada peneira (com exceção a de 60 mesh) e a passante na de 325 foram definidas como novas amostras. Cada uma dessas foram pesadas em balança digital de 3 casas decimais de precisão (Tabela 1).

Tabela 1 – Peso das amostras das faixas granulométricas analisadas neste ensaio. Para localização das amostras vide apêndice AI - mapa de pontos.

Pesagem das Amostras			
amostra 71 (tipo friável)	peso (g)	amostra 29 (tipo friável)	peso (g)
<325	1,367	<325	1,967
325<X<270	0,241	325<X<270	0,442
270<X<200	0,299	270<X<200	0,456
200<X<150	0,277	200<X<150	0,421
150<X<100	0,24	150<X<100	0,352
100<X<60	0,595	100<X<60	0,727
total	3,019	total	4,365
amostra 64 (tipo compacto)	peso (g)	amostra 29 (tipo compacto)	peso (g)
<325	0,698	<325	0,786
325<X<270	0,123	325<X<270	0,124
270<X<200	0,225	270<X<200	0,223
200<X<150	0,256	200<X<150	0,301
150<X<100	0,239	150<X<100	0,275
100<X<60	0,499	100<X<60	0,647
total	2,04	total	2,356

Fonte: dados obtidos pelo autor desta dissertação.

Ao todo foram geradas 24 amostras, tendo 4 em cada uma das 6 faixas granulométricas definidas pelas malhas das peneiras utilizadas no ensaio. O ensaio foi baseado na separação de 5 tipos de partículas:

- Óxido livre;
- Quartzo livre;

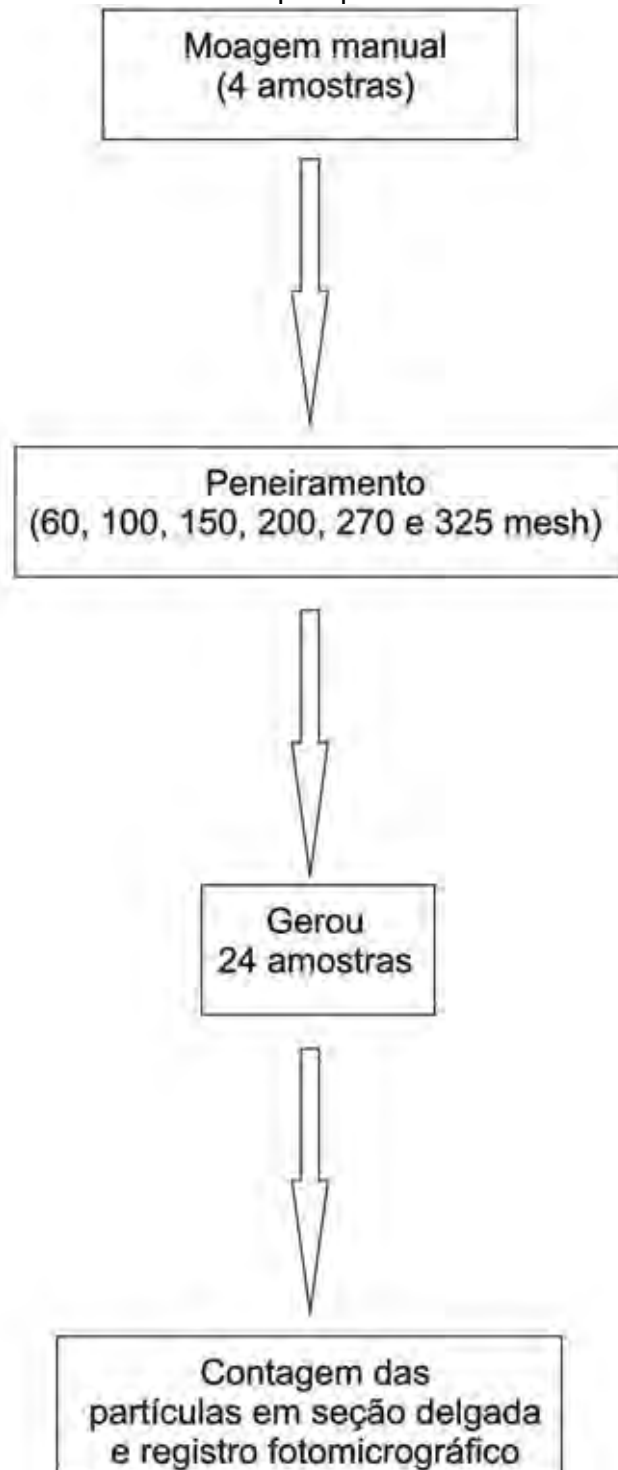
- Quartzo com pinta de óxido;
- Óxido com pinta de quartzo;
- Mista;

Para cada uma das 24 amostras foram confeccionadas seções delgadas com líquido de índice de refração 1,59, nas quais foram realizadas contagem de cerca de 1000 partículas em cada amostra, separando-as nas cinco categorias apresentadas acima, cujas quantidades de cada partícula por amostra foram expressas na forma de porcentagens em tabelas e gráficos de barras (capítulo 6).

As contagens foram realizadas em microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida da marca *Olympus*, modelo *BX40F4*, pertencente ao Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da UNESP de Rio Claro.

Em cada amostra analisada foi, logo em seguida, realizado registro fotomicrográfico com máquina fotográfica digital pertencente ao mesmo departamento. A figura 3 apresenta fluxograma que representa todas as etapas deste ensaio.

Figura 3 – Fluxograma que mostra as etapas do ensaio de distribuição granulométrica realizado na pesquisa.



Fonte: elaborado pelo autor desta dissertação (2011).

2.6.5 Concentração Magnética

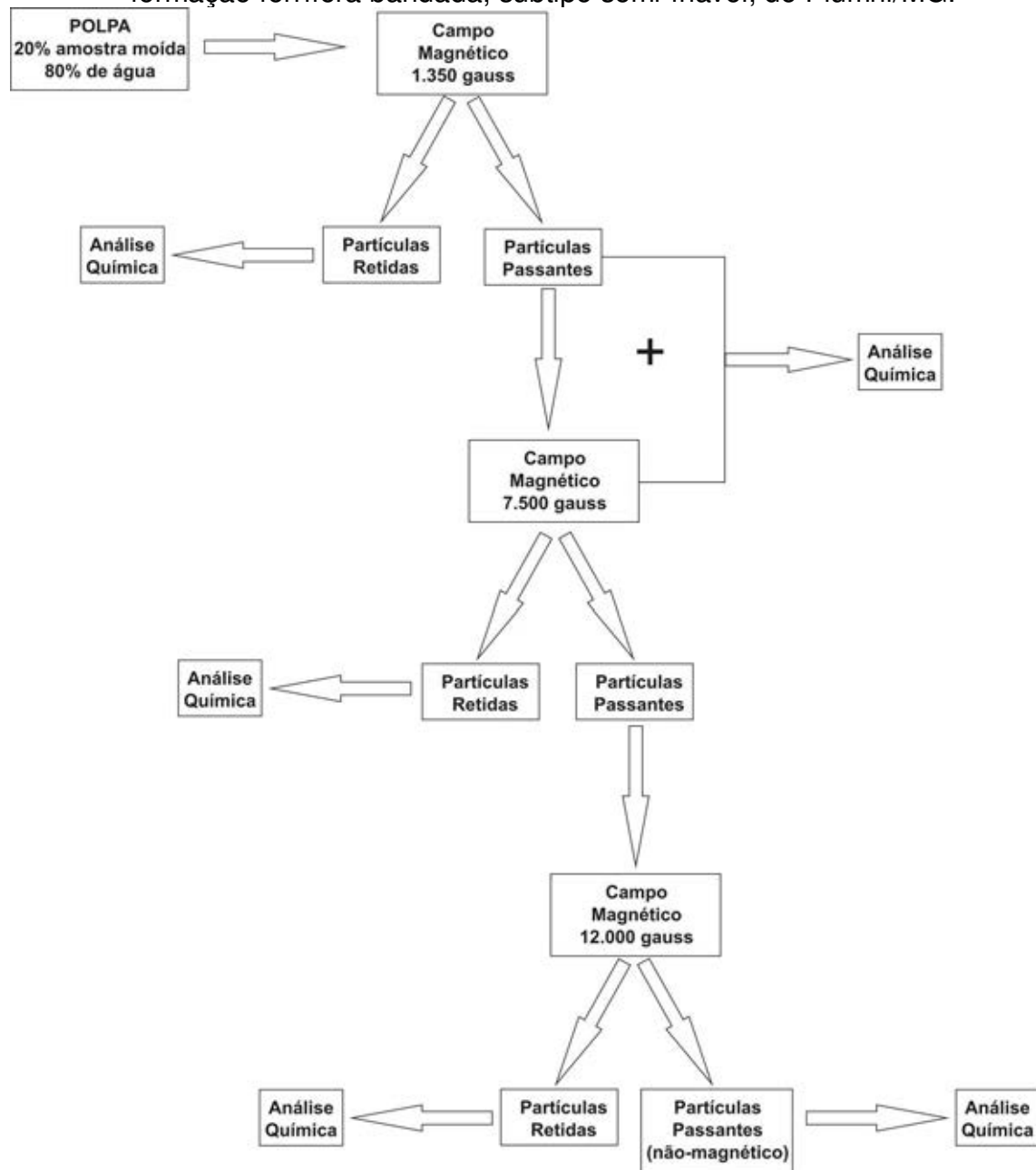
Esta técnica foi realizada no laboratório da Inbrás – Fábrica de Separadores Magnéticos localizada em Diadema/SP, e para o ensaio foram utilizados os separadores de tambor e carrossel (Figura 4). No processo a amostra foi passada em campos magnéticos de 1.350, 7.000 e 12.000 gauss (Figura 5); as amostras retidas e as passantes em cada campo foram analisadas via Fluorência de Raios X no laboratório de geoquímica da Unesp/Rio Claro.

Figura 4 – Separadores Magnéticos da Inbrás, Diadema/SP. Usados no ensaio de concentração magnética.



A) Separador de tambor, campo magnético varia de 0 a 1.350 gauss. B) Separador de tambor que trabalha com campo magnético de 7.000 gauss. C) Separador de Carrossel, trabalha com campo magnético de 13.000 gauss.

Figura 5 – Fluxograma do ensaio de separação magnética realizado em amostra de formação ferrífera bandada, subtipo semi-friável, de Piumhi/MG.



Fonte: elaborado pelo autor desta dissertação (2011).

2.7 Trabalhos de Escritório

Envolveu a etapa inicial para levantamento bibliográfico, e, no final da pesquisa, fez parte do tratamento dos dados de campo, laboratoriais e elaboração da dissertação.

Para a confecção das imagens e vetorização do mapa geológico, foram utilizados os Softwares ArcMap do conjunto ArcGIS (ESRITM) e CorelDraw X3.

3 FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS PRÉ-CAMBRIANAS: GÊNESE, CLASSIFICAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E MODELOS EVOLUTIVOS

Constituem uma das principais preciosidades minerais do planeta Terra em virtude do alto teor de ferro geralmente contido nesse específico tipo de rocha, o que a torna responsável por grande parte do desenvolvimento econômico, industrial e social de uma nação. Em face destas proposições, entre outras, o ferro pertence ao grupo das “*commodities*” altamente valorizadas no mercado financeiro.

As formações ferríferas bandadas pré-cambrianas são unidades estratigráficas de centenas de metros de espessura com centenas até milhares de quilômetros de extensão lateral. Ocorrem em áreas cratônicas de praticamente todos os continentes.

Por causa de sua importância econômica, tem sido objeto de intensa e continuadas pesquisas. A origem das formações ferríferas bandadas precambrianas é um tópico bastante debatido, mas ainda com controvérsias, porém a maioria dos pesquisadores aceita a hipótese de que são originárias de sedimentação química. Os mecanismos de transporte, deposição, bem como a fonte do ferro estão sendo investigados. Entretanto existe uma vertente com a prerrogativa de que a atividade microbiológica esteja diretamente associada aos processos deposicionais do ferro. Pretende-se neste capítulo apresentar uma breve síntese do conhecimento acumulado de mais de 50 anos de pesquisa presente na literatura geocientífica a respeito desse importante bem mineral.

3.1 Nomenclatura

O termo formação ferrífera, traduzido do inglês “iron-formation”, é derivado da expressão “iron-bearing formation” pioneiramente relatada por Van Hise e Leith (1911). Entretanto a expressão “*Iron Formation*” foi formalmente formulada por James (1954) na região do Lago Superior nos Estados Unidos como “um sedimento

químico, finamente bandado ou laminado com 15% ou mais de ferro de origem sedimentar, comumente, mas não necessariamente, contendo camadas de chert”.

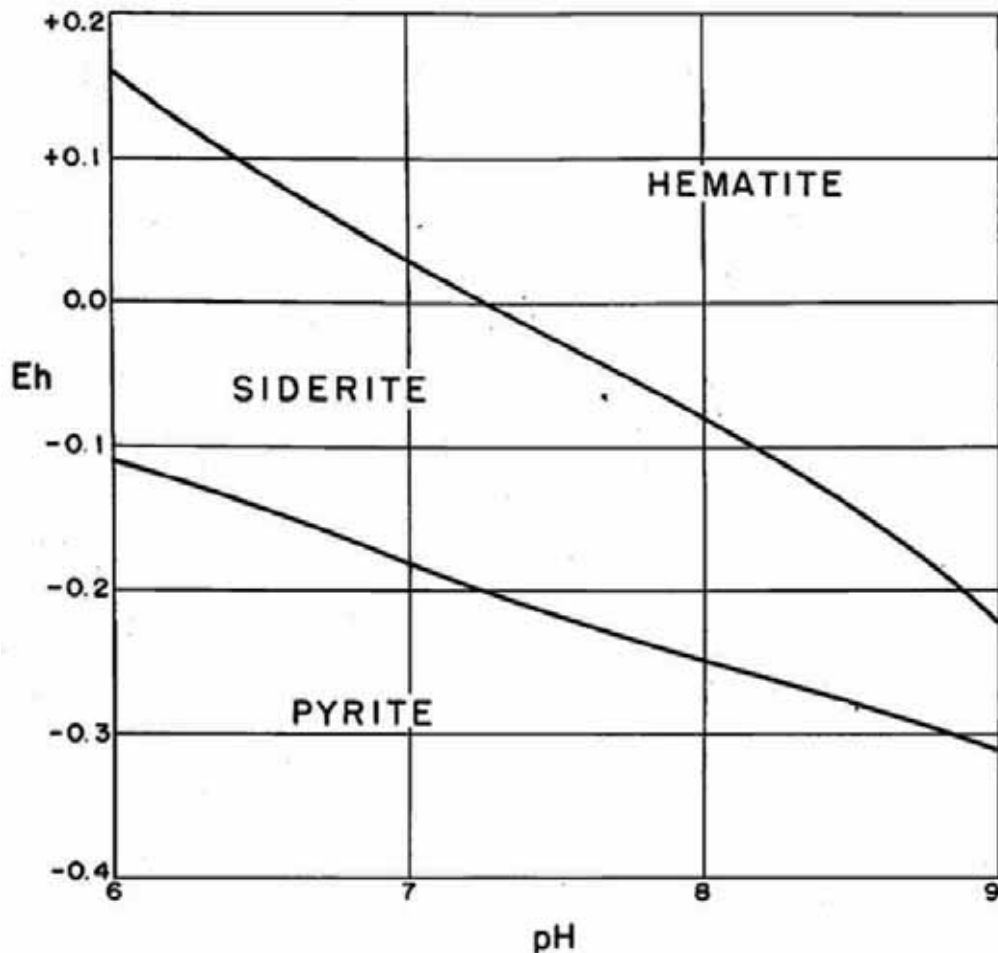
Gross (1959) complementou a definição de James (1954) caracterizando as formações ferríferas como “toda unidade estratigráfica de rocha bandada, acamadada ou laminada que contém 15% ou mais de ferro, na qual os minerais ferrosos são comumente interbandados com quartzo, chert ou carbonato, onde a estrutura bandada da rocha ferruginosa é concordante com a estrutura bandada da rocha sedimentar, vulcânica ou metassedimentar adjacente”. James (1966) após enfatizar as diferenças entre formações ferríferas bandadas precambrianas e os “Ironstones” fanerozóicos, recomendou que as diferenças deveriam ser evidenciadas na nomenclatura das mesmas. Gross (1965) incluiu todas as rochas sedimentares ricas em ferro dentro do grupo “Iron-formation”. Em 1980 o mesmo pesquisador aceitou a distinção feita por James (1966).

Em face dos estudos das formações ferríferas terem sido executados nos locais das próprias ocorrências e de maneira independente, em cada região foi adotada uma denominação peculiar. Na África do sul é comum o termo “Ironstone”, “banded ironstone” ou “banded hematite quartzite (BHQ)”. A última foi primeiramente usada em descrições de formações ferríferas indianas (KRISHNAN, 1973). Na América do Sul o termo “Itabirito” é o predominante usado, originado do Brasil para descrever as formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero do Estado de Minas Gerais. Na Austrália usa-se “jaspilito” (ELLIS, 1939) para fazer referência às formações ferríferas do oeste australiano.

3.2 Conceito de fácies

James (1954) apresentou extenso trabalho sobre formações ferríferas da área do Lago Superior, no qual definiu quatro fácies para as mesmas com base na predominância do mineral ferroso original, as quais são: sulfeto, carbonato, óxido e silicato, que variam lateralmente ao longo de uma mesma bacia deposicional, sendo que para cada intervalo de profundidade com condições específicas de pH e Eh, uma mineralogia específica é depositada de acordo com o diagrama da Figura 6.

Figura 6 – Campos de estabilidade de hematita, siderita e pirita em termos de pH e Eh.



Fonte: Krumbein e Garrels 1952 apud James (1954).

A fácies óxido tende a ocorrer em porções mais rasas da bacia, onde há maior disponibilidade de oxigênio. Na região do Lago Superior não foi considerada uma fácies primária importante. James (1954) a subdividiu em subfácies hematita-bandada e magnetita bandada. A primeira consiste principalmente ou inteiramente de chert e hematita interacamadada. A subfácies magnetita bandada é o principal ocorrente na região do Lago Superior, consiste de camadas de magnetita alternando-se com camadas com proporções variadas de silicatos de ferro, carbonatos e chert.

Nas porções profundas, a disponibilidade de oxigênio é insuficiente pra destruir a matéria orgânica localizada abaixo das zonas aeradas, sendo assim o enxofre proveniente das mesmas é transformado em H_2S por ação bacteriana o qual

reage com os íons de ferro disponíveis na água do mar e precipita sob a forma de pirita. A fácies sulfeto geralmente grada lateralmente para carbonato com o aumento da disponibilidade de oxigênio na água, ou seja, com a diminuição da profundidade, que acarreta em remoção da material orgânica e o ferro precipita-se na forma de carbonato de ferro do tipo siderita ou ankerita (Figura 7).

Figura 7 – Seção esquemática de uma bacia restrita profunda hipotética, mostrando zonas deposicionais do ferro.



Fonte: modificado de James (1954).

A fácies silicato compreende dois tipos principais de rochas, o tipo granular e o não-granular. Ambas, invariavelmente, contém quantidades abundantes de magnetita e carbonatos intercalados com os silicatos de ferro, tais como grinalita, minnesotaíta, estilpnomelano e clorita, onde somente a grinalita aparece como sendo de origem primária. Dentre as 4 fácies relatadas por James (1954) a silicato é a única cuja deposição não tem relação direta com a profundidade.

3.3 Classificação de Formações Ferríferas Bandadas

Gross (1965) depois de ter aceitado a classificação de fácies de James (1954) elaborou uma subdivisão em 4 “tipos”, as quais são: Lago Superior, Algoma e Clinton e Minette. Os critérios para definição de cada uma são variados, entretanto compreende largamente parâmetros relacionados a litologia das formações ferríferas e o modelo conceitual tectono-sedimentar associado à gênese das mesmas.

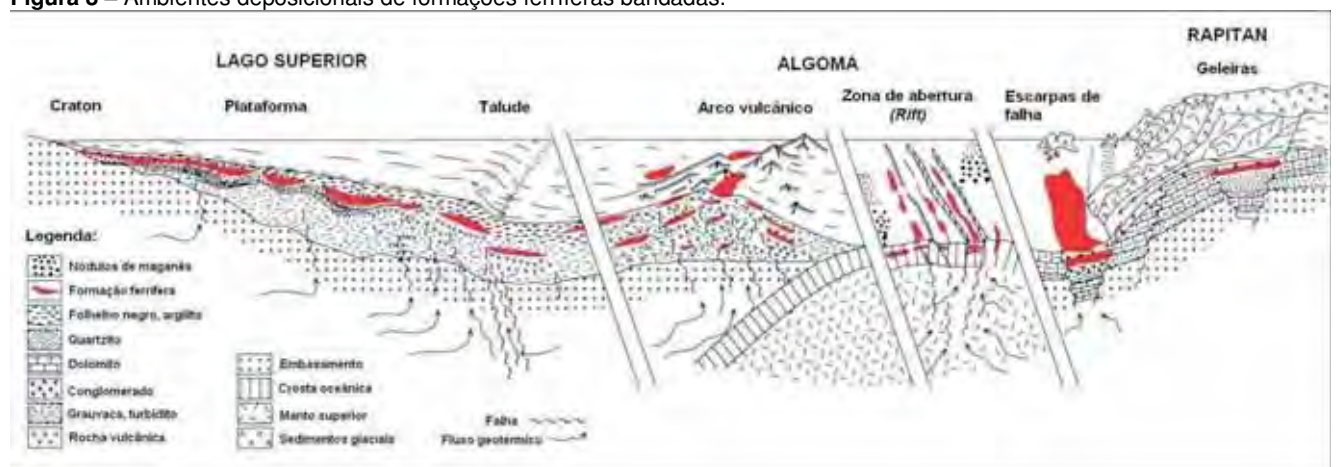
Gross (1980) exclui as formações ferríferas tipo Clinton e Minette e da classificação e posteriormente Gross (1983, 1993) reconheceu outro tipo, denominada como Rapitan, acrescentando-a aos tipos Algoma e Lago Superior. A seguir são apresentadas breves descrições de cada tipo referido:

- **Tipo Algoma:** foram formadas próximas a centros vulcânicos, nos estágios de desenvolvimento de um cinturão de rochas vulcânicas (Figura 8), iniciando com sua deposição nos limites de centros efusivos, exalativos e hidrotermais, estendendo-se para dentro das bacias e depressões locais no meio de fluxos de lavas e complexos sedimentares de deltas. Geralmente estão associadas à folhelhos, grauvas e camadas sedimentares turbidíticas e rochas vulcânicas de bacias arqueas. A fácies carbonato, silicato e óxido são comuns neste tipo de formação ferrífera. (GROSS, 1965, 1980, 1983, 1993).
- **Tipo Lago Superior:** são largamente distribuídas nas rochas Proterozóicas, foram depositadas próximo a costa sobre uma plataforma continental (figura 6) em ambiente miogeosinclinal, em águas relativamente rasas (GROSS, 1965, 1980, 1983, 1993). Estão associadas com dolomitos, quartzitos, folhelhos negros. A fácies carbonato, silicato e óxido são comuns neste tipo de formação ferrífera.
- **Tipo Rapitan:** ocorre principalmente em grábens ou bacias formadas sobre blocos falhados (escarpas de falhas) ao longo das margens continentais (Figura 8) em seqüências de rochas Neoproterozóicas a Paleozóicas (GROSS, 1993).

3. FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS PRÉ-CAMBRIANAS: GÊNESE, CLASSIFICAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E MODELOS EVOLUTIVOS

19

Figura 8 – Ambientes deposicionais de formações ferríferas bandadas.

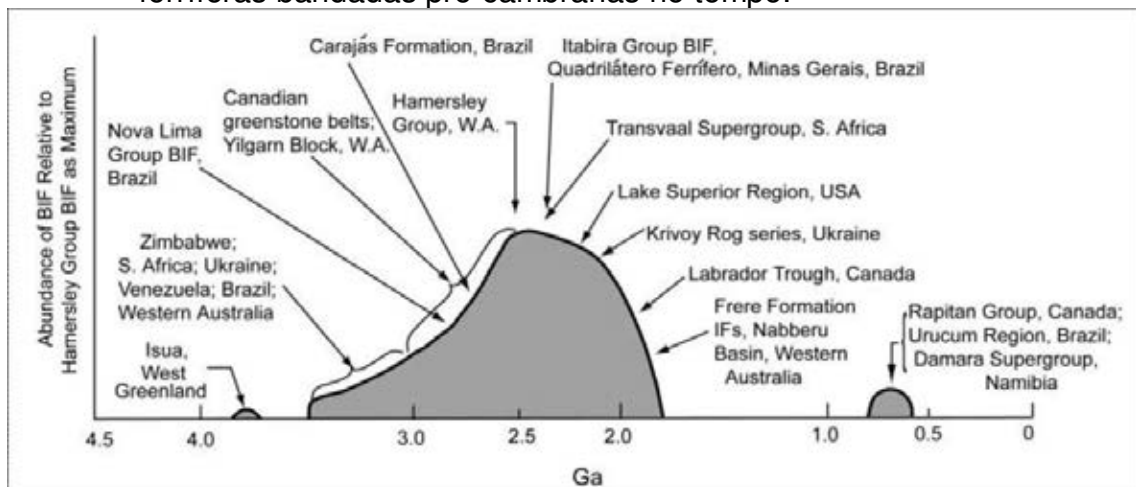


Fonte: modificado de Gross (1993).

3.4 Distribuição Temporal

Foram agrupadas em agrupamento de ocorrências dentro de quatro ciclos principais: Mesoarqueano (3.500 – 3.000 Ma), Neoarqueano (2.900 – 2.600 Ma), Paleoproterozóico (2.500 – 1.900) e Neoproterozóico – Início do Fanerozóico (750 – 450 Ma). Em termos de quantidade de ocorrências, o pico de sedimentação do Paleoproterozóico foi o mais significativo (Figura 9). Neste período a maioria dos grandes depósitos do Tipo Lago superior, e cerca de 90% de todas as formações ferríferas bandadas conhecidas foram depositadas (Klein; Beukes 1992). O pico do final do Arqueano caracteriza milhares de ocorrências de pequenos depósitos de formações ferríferas bandadas Tipo Algoma.

Figura 9 – Diagrama esquemático que mostra a abundância relativa das formações ferríferas bandadas pré-cambrianas no tempo.



Fonte: modificados de Klein e Beukes (1992).

A formação ferrífera bandada mais antiga conhecida é a de Isua, Groenlândia, que possui idade em torno de 3.750 Ma.

3.5 Condições de precipitação e modelos deposicionais de formações ferríferas bandadas

O início do Precambriano é caracterizado por acumulações de rochas efusivas e tufáceas que gradualmente foram sucedidas por sedimentos químicos,

tais como os cherts ferruginosos. O Mesoproterozóico foi marcado por espessas pilhas de rochas clásticas acumuladas nas bacias sedimentares tais como: arcósios, conglomerados, grauvacas, argilitos e formações ferríferas. As últimas tiveram como fonte o ferro lixiviado pelo intemperismo de rochas vulcânicas básicas paleoproterozóicas e, no final do Precambriano, o aparecimento de ardósias grafitosas reflete o desenvolvimento da vida orgânica (MEL'NIK, 1982).

A deposição de sedimentos ricos em ferro foi relativamente curta, mas as espessas pilhas de rochas calcáreas, em algumas partes do mundo, indicam o considerável aumento de carbono disponível em solução. Essa mudança nas características de sedimentação no limite entre o paleo e mesoproterozóico pode ter associação ao espessamento dos pacotes sedimentares nos continentes antigos que acarretou em denudação, erosão e redeposição destas rochas. Um aumento da atividade biológica durante a sedimentação é considerado um fato importante (MEL'NIK, 1982).

Na década de 70 foram formuladas duas hipóteses para gênese de formações ferríferas: “sedimentar clástica” e “vulcano-sedimentar”. No caso da segunda hipótese, Gusel'nikov (1972) afirmou que o magma basáltico, pode ser a fonte do ferro e da sílica na formação do minério, sendo que a deposição do óxido de ferro ocorre sob condições de alta pressão e temperatura, próximo a centros vulcânicos, onde ocorre a separação entre a magnetita e a sílica partir do magma rico nestes componentes minerais. Idéias com base em metassomatismo para gênese de formações ferríferas bandadas é dada por Kozlov (1969) cuja teoria foi revisada por Knyazev et al. (1969).

A hipótese sedimentar clástica tem por base que o ferro e a sílica são oriundos do intemperismo de rochas supracrustais antigas. Sendo que estes componentes foram transportados sob a forma coloidal e depositados numa região da bacia fora do alcance dos sedimentos clásticos, e a precipitação foi condicionada por eletrólitos da água do mar (MEL'NIK 1982).

Na década de 80 muitos estudos sobre a deposição de formações ferríferas sob o aspecto químico e/ou sedimentológico foram largamente registrados. Dentre eles destacam-se principalmente os de Button et al. (1982), Ewers (1983), Holland (1984), Garrels (1987) e Morris e Trendall (1988). A maioria destes autores acreditam num modelo onde as formações ferríferas bandadas foram precipitadas

3. FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS PRÉ-CAMBRIANAS: GÊNESE, CLASSIFICAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E MODELOS EVOLUTIVOS

22

em um oceano pré-cambriano relativamente estratificado, no qual as camadas de águas bem oxigenadas no topo capeia um grande volume de águas anóxicas na base. O modelo de Garrels (1987), em contraste, está baseado na evaporação de cursos d'águas restritos a bacia. Ainda podem ser citados outros modelos deposicionais tais como: vulcanogênicos, biogênicos, químicos catalisados pela energia solar, correntes marinhas.

4 SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

4.1 Aspectos Econômicos Gerais

Estima-se que os recursos de minérios do mundo excedam a casa dos trilhões de toneladas. Depósitos com magnetude da ordem de trilhões destaca-se o distrito de Kursk Magnetic, na Rússia, calculado com tonelagem da ordem de 10 trilhões, com teores de 25 a 30% de ferro. Nos EUA os recursos são estimados em 110 bilhões de toneladas, dos quais 27 bilhões são de ferro contido, provenientes majoritariamente dos taconitos de baixo grau metamórfico do distrito de Lago Superior (fonte: USGS – United State Geological Survey).

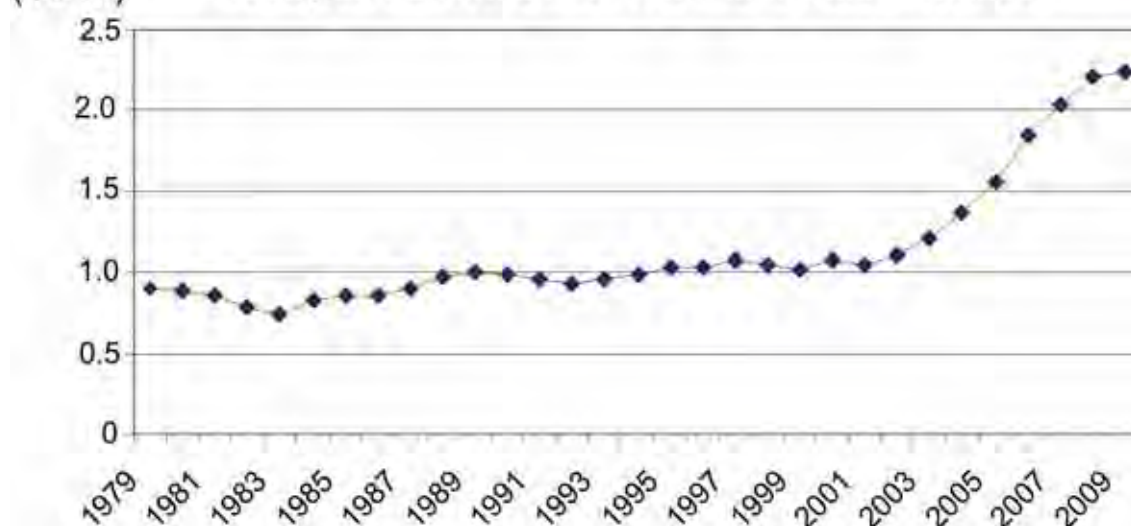
Nesta região, a atividade mineira foi iniciada em 1848; em 1978 foram lavrados 75 milhões de toneladas de minério de ferro, o equivalente a 89% do total produzido nos EUA e o equivalente a 10% do total produzido no mundo naquela época. Em 1988 minas espalhadas pelo mundo produziram um total de 967 milhões de toneladas de ferro, em 2008, 20 anos depois, a produção aumentou mais que o dobro, chegando num total de 2,2 bilhões, mais que 9% superior a produção global de 2007 (Figura 10). Entre o período de 1979 a 2000 a produção se manteve estável (Figura 10).

A partir da primeira década do século 21 ocorreu uma repentina ascensão que se estendeu por todo o intervalo de tempo referido. Isso certamente está associado ao crescimento econômico de países emergentes asiáticos, tais como a Índia e, especialmente a China em face do seu atual consumo de minério de ferro.

4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

24

Figura 10 – Evolução da produção mundial de minério de ferro dos últimos 30 anos.
(10⁸.t.) Produção Mundial de Ferro em toneladas métricas



Fonte: USGS.

O consumo de ferro é estimado pela quantidade de aço que é produzido, que é o principal produto industrializado gerado a partir deste minério. E, como era de se esperar, a soma do consumo de minério de ferro no mundo todo, seguiu a mesma tendência da produção, com crescimento abrupto a partir do início do século 21, sendo que em 2006 atingiu um consumo superior a 1,2 bilhões de toneladas (Figura 11).

4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

25

Figura 11 – Consumo e Produção de ferro de 1990 a 2008, mostrando a mesma tendência de crescimento, com a curva da produção com ascensão mais acentuada em relação ao consumo.



Fonte: USGS.

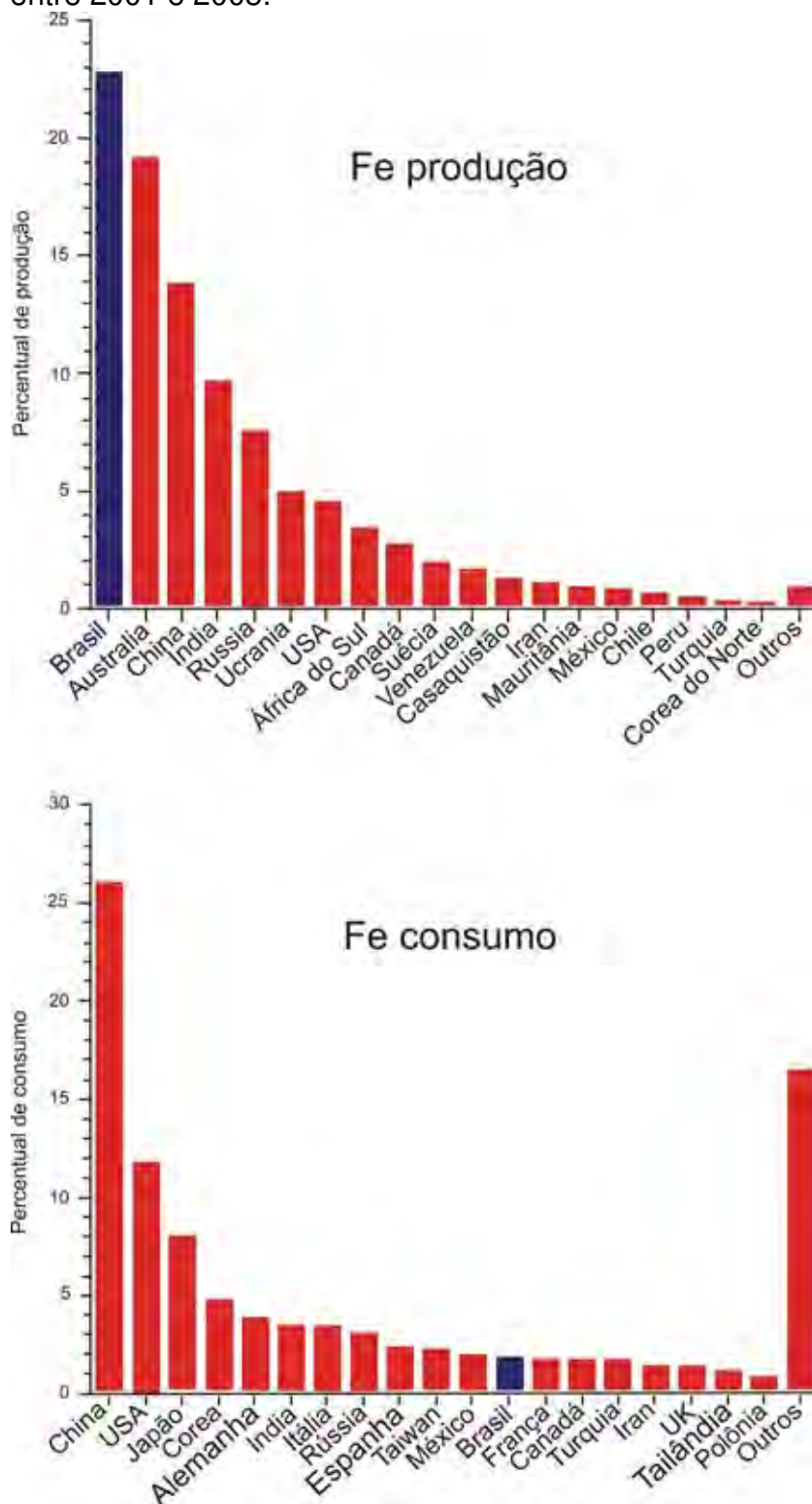
No mundo todo existem 49 países produtores de minério de ferro, sendo que os três maiores perfazem mais que 50% da produção mundial, os quais são: Brasil, maior produtor, Austrália, segunda maior e China terceira maior. Entre os 114 países consumidores, os três maiores são a China, Estados Unidos e Japão, representam 50% do consumo mundial (Figura 12). O Brasil destaca-se por ser, atualmente, o maior produtor mundial de minério de ferro, e o 12º maior consumidor (Figura 12).

A maioria desta produção e consumo é proveniente de depósitos gigantes de formações ferríferas bandadas tipo Lago Superior, que no Brasil é representado pelo Quadrilátero Ferrífero (DORR, 1969; KLEIN; LADEIRA, 2000), a qual é tida com uma das maiores jazidas de minério de ferro do mundo. A figura 13 ilustra a localização dos principais depósitos de minério de ferro do mundo.

4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

26

Figura 12 – Produção e consumo mundial de minério de ferro, com base na média entre 2001 e 2005.

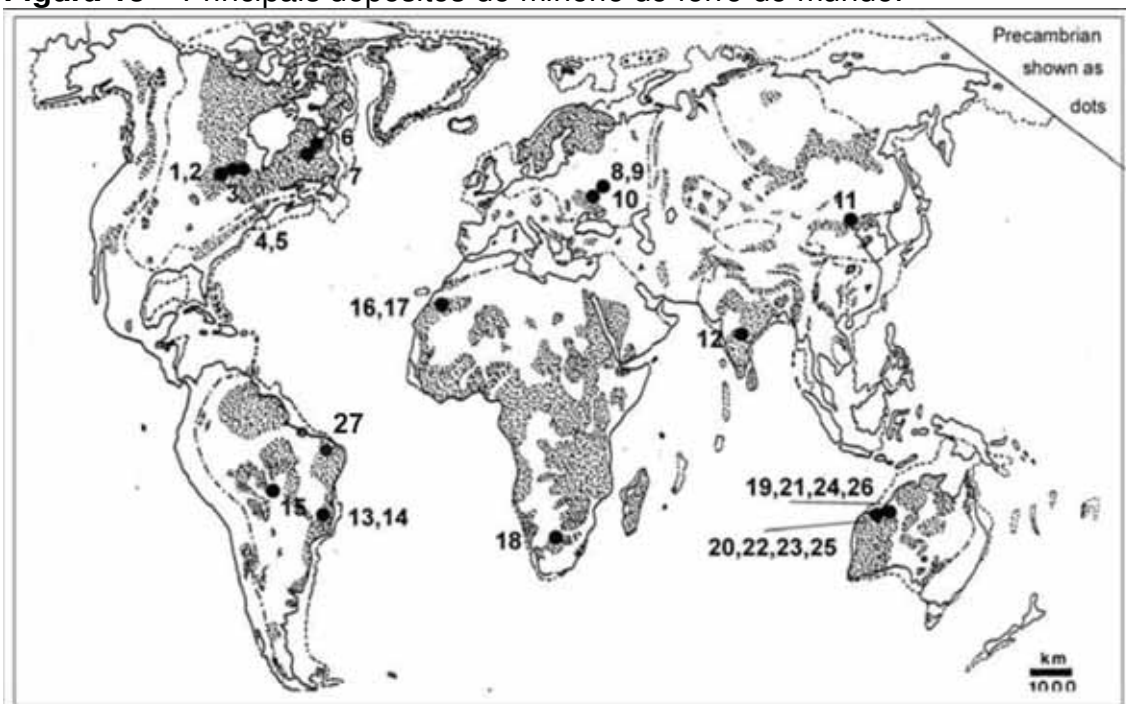


Fonte: USGS – U.S Geological Survey.

4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

27

Figura 13 – Principais depósitos de minério de ferro do mundo.



Fonte: modificado de Laznicka (2006). Os números referem-se às localidades listadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais depósitos de minério de ferro do mundo.

nº	Distrito/Depósito	tonelagem/teor	inferido/teor	Minério enriq.*/teor
1 a 5	Lago Superior/EUA	70 bt/26%	24 bt/28%	3.6 bt/50%
1	Mesabi Range/Minnesota	15 bt/25%	11.25 bt/25%	3.0 bt/54%
2	Cuyuna Range, Minnesota	1.41 bt/32%		82 mt/55.5%
3	Gogebic Range, Wisconsin	2.48 bt/32%		170 mt/55%
4	Marquette Range, Michigan	4.55 mt/26%	1.0 bt/26%	173 mt/51%
5	Menominee Range, Michigan	1.38 bt/32%		148 mt/51%
6	Província Labrador/Canadá	trilhões de t/20-30%		
7	Wabush Range, Quebec		1.15 bt/38%	
8 a 9	Kursk Magnetic Anomaly, Rússia	10 trillion/25-30%	4.6 bt/32%	16 bt/55%
8	Depósito Belgorod			5.93bt/60.5%
9	Mikhailovka deposit		3.614 bt/39%	
10	Krivoi Rog, Ukraine	100 bt+/25-30%	6.543 bt/35.7%	2.784 bt/57.6%
11	Província Hebei, China		1.2 bt/35%	
12	Distrito Bailadila, Índia			998mt/66.5%
13 a 14	Quadrilátero Ferrífero, Brasil	150 bt/40%		16 bt/55%
13	Itabira		1.363/47%	1.15 bt/67%

4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

28

14	Alegria		8.5 bt/50%	150 mt/64%
15	Serra do Urucum, Brasil	15 bt		560 mt/63% canga
16	Tiris, Mauritânia		562 mt/38%	
17	Tasiat, Mauritânia		2.1 bt/35%	
18	Sishen, North Cape, África do Sul			1.3 bt/65%
19-27	Província Hamersley, Austrália	5.2 trillion t/22.5%		19.25 bt/55%
19	Mount Whaleback, Newman			1.09/64%
20	Tom Price			576 mt/64%
21	Ophtalmia Range			472 mt/63%
22	Rhodes Ridge			616 mt/61.6%
23	Marra Mamba (several deposits)			4.84 bt/55%
24	Mining Area		2.4 bt	542mt/61.6%
25	Robe River Tertiary clastics			1.45 bt/58%
26	Marillana Channels (Yandi)**			873mt/58.2%
27	Serra de Carajá/Brasil	18 bt/35-38%		

Fonte: dados extraídos em Laznicka (2006) modificado.

4.2 Panorama econômico nacional do mercado de minério de ferro

A produção de minério de ferro no Brasil é desenvolvida em minas a céu aberto e o beneficiamento consiste de britagem, peneiramento, lavagem, classificação, concentração e pelotização.

O minério bruto (ROM – Run Of Mine), após o beneficiamento, gera produtos classificados como granulados acima de 6,3mm, e finos que são denominados: *sinterfeed* – entre 0,15 e 6,3mm e “*pelletfeed*” – abaixo de 0,15mm. Os granulados são utilizados diretamente nos altos fornos. Os finos passam por processos de aglomeração, tal como sinterização e pelotização, para posteriormente serem adicionados nos fornos de redução. A sinterização consiste na adição de cal e finos de coque ao minério *sinterfeed*, resultando num produto aglomerado denominado *sinter*. O processo de sinterização é desenvolvido nas usinas siderúrgicas.

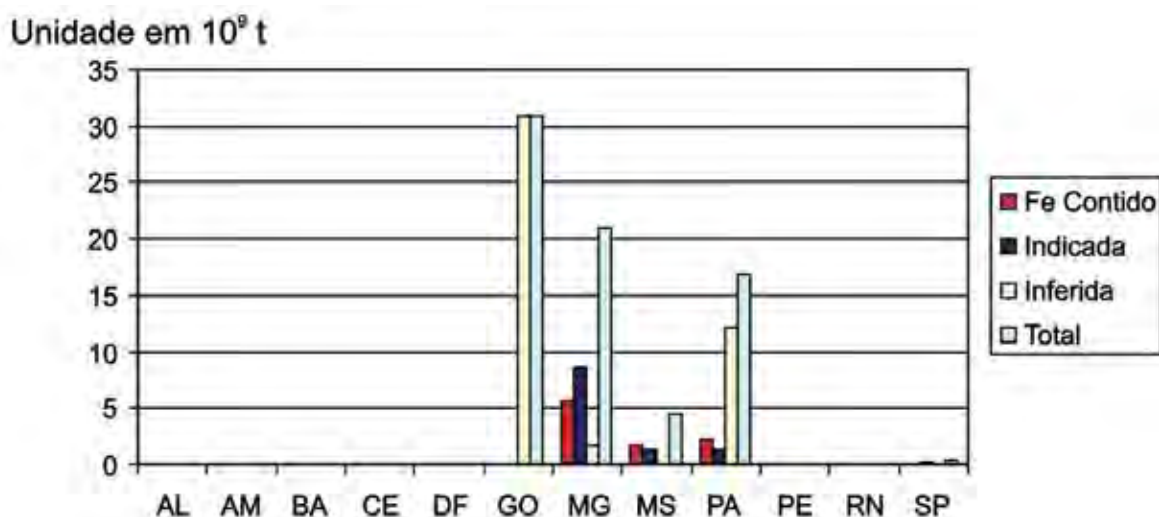
No processo de pelotização o minério do tipo *pelletfeed* recebe a adição de insumos tais como cal, bentonita e finos de carvão e é transformado em pelotas nos discos de pelotização. Após a sua formação as pelotas são queimadas nos fornos de endurecimento (GONÇALVES DE JESUS, 2009).

4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

29

O art. 26 do Regulamento do Código de Mineração (Decreto nº 62.934/1968) classifica as reservas minerais em medidas, indicadas e inferidas. Os recursos brasileiros de minério de ferro, que é dado pela soma das reservas medidas, indicadas e inferidas, reconhecidos oficialmente pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) são da ordem de 73,7 bilhões de toneladas, até o momento da elaboração deste texto (Figura 14).

Figura 14 – Reservas brasileiras de minério de ferro por unidade federativa. Ano base - 2007.



Fonte: DNPM/DIDEM – Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral.

As principais empresas produtoras de minério de ferro no Brasil são: VALE, Minerações Brasileiras Reunidas S/A-MBR, Samarco Mineração S/A e Companhia Siderúrgica Nacional-CSN. Com a incorporação da S/A Mineração da Trindade-SAMITRI, Ferteco Mineração S/A, Mineração Socoimex Ltda. e a participação acionária na Samarco Mineração S/A (50,0%) e nas Minerações Brasileiras Reunidas S/A (100,0% do Grupo CAEMI) a VALE passou a ser a maior produtora de minério de ferro em nível mundial.

A VALE (composição acionária: VALESPAR – 34,10%, ADRS – 33,80%, BNDESPAR – 4,80%, Outros – 27,3%) lava minério de ferro nos estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul.

4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

30

Em Minas Gerais a VALE opera as minas Cauê e Conceição (município de Itabira), Fábrica (Ouro Preto/Congonhas/Belo Vale), Fazendão (Catás Altas), Gongo Soco (Barão de Cocais), Timbopeba (Ouro Preto), Água Limpa (Santa Bárbara/Rio Piracicaba), Alegria (Mariana), Brucutu (São Gonçalo do Rio Abaixo), Córrego do Feijão (Brumadinho) e Fábrica Nova (Mariana). A capacidade instalada de produção nessas minas é da ordem de 181,1Mt-milhões de toneladas / ano (ROM) e as usinas de beneficiamento nelas instaladas têm uma capacidade instalada de 140,6 Mt/ano.

No Pará a VALE opera a mina de Ferro de Carajás (município de Parauapebas), com capacidade instalada de produção de 114,0 Mt/ano (ROM) e 100,0 Mt/ano (minério beneficiado). No Mato Grosso do Sul, através da Mineração Urucum S/A, opera a mina Morro do Urucum (município de Corumbá), com capacidade instalada de 2,2 Mt/ano (ROM) e 2,1Mt/ano (minério beneficiado).

As Minerações Brasileiras Reunidas S/A-MBR lavra minério de ferro no estado de Minas Gerais nos municípios de Brumadinho (Mina da Jangada – capacidade instalada de produção de 6,5Mt/ano-ROM), Itabirito (Mina do Pico – 22,0Mt/ano), Nova Lima (Minas: Capão Xavier – 17,5Mt/ano e Tamanduá – 31,0Mt/ano). A capacidade total de produção dessas minas é de 65,8 Mt/ano. O minério é beneficiado nos municípios de Brumadinho (Instalação de Tratamento de Minérios-ITM-Jangada – capacidade instalada de produção de 4,5Mt/ano, Itabirito (ITM-Pico – 22,0Mt/ano) e Nova Lima (ITM-Mutuca – 8,5Mt/ano, ITM-Vargem Grande – 27,5Mt/Ano e ITM Abóbora – 6,5Mt/ano). A capacidade total instalada de produção das usinas da MBR é de cerca de 69,0MT/Ano.

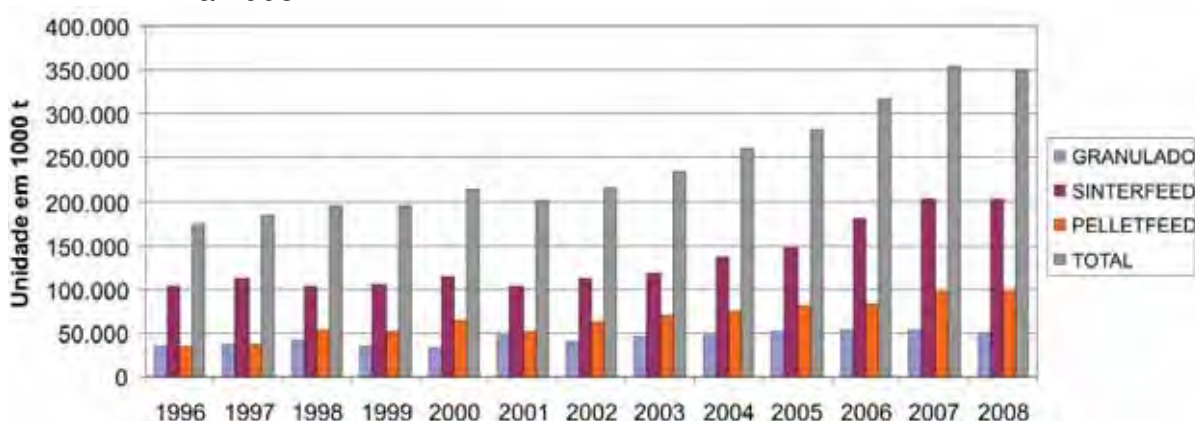
Em 2008 a VALE arrendou os direitos minerários da MBR e passou a ser responsável pela operação de suas minas e usinas. A Samarco Mineração S/A (VALE – 50,0%, BHP Bilinton do Brasil – 50,0%) lavra minério de ferro na Mina de Alegria (Mariana/Ouro Preto/MG), com capacidade instalada de 26,0Mt/ano (ROM). O minério é beneficiado na Usina do Germano (Mariana/MG) (capacidade: 15,5 Mt/ano). A Companhia Siderúrgica Nacional-CSN (Vicunha Siderurgia – 42,74%, ADR – 18,07%, BNDESPAR – 6,28, Outros – 32,91%) lavra e beneficia minério de ferro em Congonhas/MG, na Mina Casa de Pedra, que tem capacidade instalada de produção de 21,0Mt/ano (ROM) e de 20,0Mt/ano (GONÇALVES DE JESUS, 2009).

4.2.1 Evolução da Produção

O gráfico da Figura 15 mostra a evolução da produção de minério, dos tipos granulado, sinterfeed e pelletfeed no intervalo de 1996 a 2008, que destaca no ano 2000 a produção brasileira de minério de ferro passou do patamar de 100,0 Mt/ano para 200,0Mt/ano e a partir de 2006 atingiu o nível de 300,0Mt/ano.

A partir de 2007 a produção do sinterfeed alcançou o patamar de 200,0Mt/ano e, no mesmo ano a produção de pelletfeed atingiu o patamar de 100,0Mt/ano, sendo que em todo intervalo de tempo exibido pelo gráfico a produção deste tipo de minério se mostrou em contínuo crescimento.

Figura 15 – Evolução da produção brasileira de minério de ferro no período de 1996 a 2008.



Fonte: DNPM/DIDEM.

4.2.2 Consumo

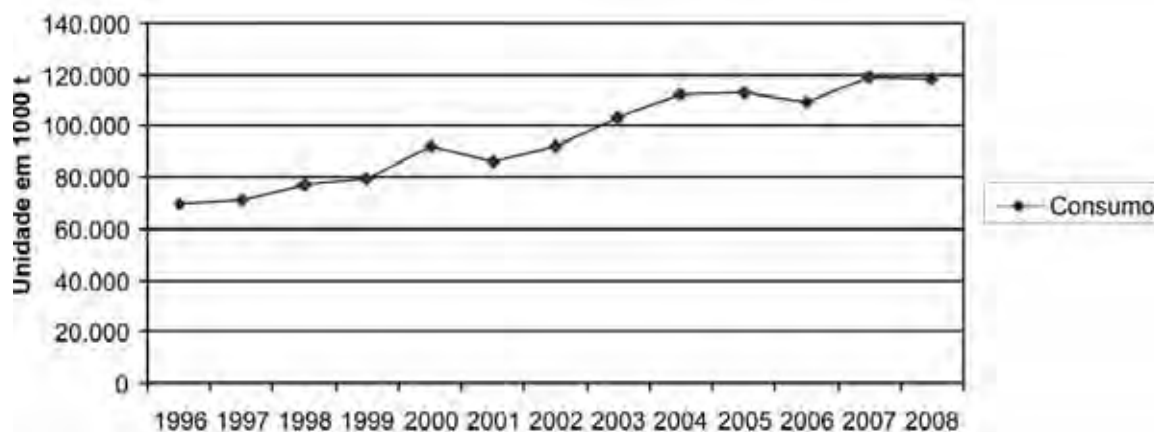
O consumo efetivo interno de minério de ferro está concentrado na produção de ferro gusa e de pelotas. Esse consumo é determinado com base nos índices fornecidos pelas empresas produtoras de ferro gusa e pelotas (1,68t de minério/t de gusa e 1,08t de minério/t de pelotas). Os dados de consumo efetivo de minério de ferro no período 1996/2008 estão relacionados no gráfico da Figura 16. O consumo aparente (Produção + Importação – Exportação) de minério, pelotas, ferro gusa e

4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

32

ação tiveram valores crescentes em praticamente todos os anos do período 1996/2008.

Figura 16 – Evolução do consumo interno de minério de ferro no período de 1996 a 2008.



Fonte: DNPM/DIDEM.

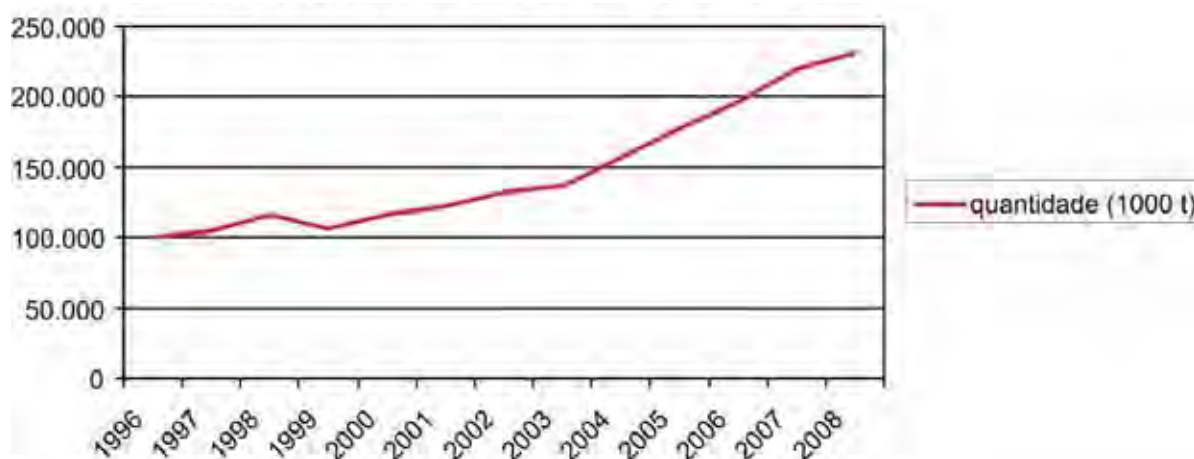
4.2.3 Comércio Exterior

As exportações brasileiras de minério de ferro e pelotas atingiram, em 2008, 281,6Mt, com um valor de US\$-FOB (Free On Base) 16.538,4 milhões. Em comparação com 2007 houve um aumento de 11,1% na quantidade e de 18,0% no valor das exportações. As exportações para a China representaram 13,0% do total exportado em 2002, 21,0% em 2003, 22,0% em 2004, 24,0% em 2005, 28,0% em 2006, 33,0% em 2007 e 38,0% em 2008 (Figura 17).

As exportações brasileiras de produtos siderúrgicos em 2008 totalizaram 9.180,0 mt, com um valor de US\$-FOB 8,0 bilhões, mostrando uma diminuição de 12,0% na quantidade exportada e um aumento de 19,8% no valor das exportações. Os principais destinos das exportações foram América Latina – 30,1%, América do Norte – 13,9% e Europa – 11,8%. As importações de produtos siderúrgicos em 2008 totalizaram 2.656,0mt, com um valor de US\$-FOB 3.697,0 milhões, mostrando um aumento de 62,0% na quantidade importada e de 87,4% no valor das importações. O saldo do comércio exterior de produtos siderúrgicos representou 17,6% do saldo comercial do Brasil em 2008.

A partir de 2004 o grande crescimento do valor das exportações de minério de ferro e pelotas reflete os aumentos dos preços praticados pelas empresas exportadoras. Em 2004 o valor das exportações de minério foi 33,3% maior que o registrado em 2003. A variação desse valor de 2003 para 2007 foi de 133,8%. Em relação ao valor das exportações de pelotas, de 2003 para 2004 houve um aumento de 46,0%, e de 2003 para 2007 a variação foi de 448,0% (Fonte: DNPM/SECEX/MDIC – Secretaria de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio).

Figura 17 – Evolução da exportação de minério de ferro brasileiro, no período de 1996 a 2008.



Fonte: SECEX/MDIC.

4.2.4 Preços

Os preços de minério de ferro são determinados em negociações anuais entre os compradores, tais como usinas siderúrgicas e vendedores que são as empresas de mineração. Normalmente os contratos dos compradores europeus são negociados em novembro de cada ano e os dos compradores do mercado asiático nos primeiros meses do ano.

O preço é fixado para um determinado teor de ferro (base 65,0% Fe) por unidade metálica (1%) em centavos de dólar (US\$ cents) em base seca e em função do grau de beneficiamento a que o minério foi submetido. As variáveis que mais

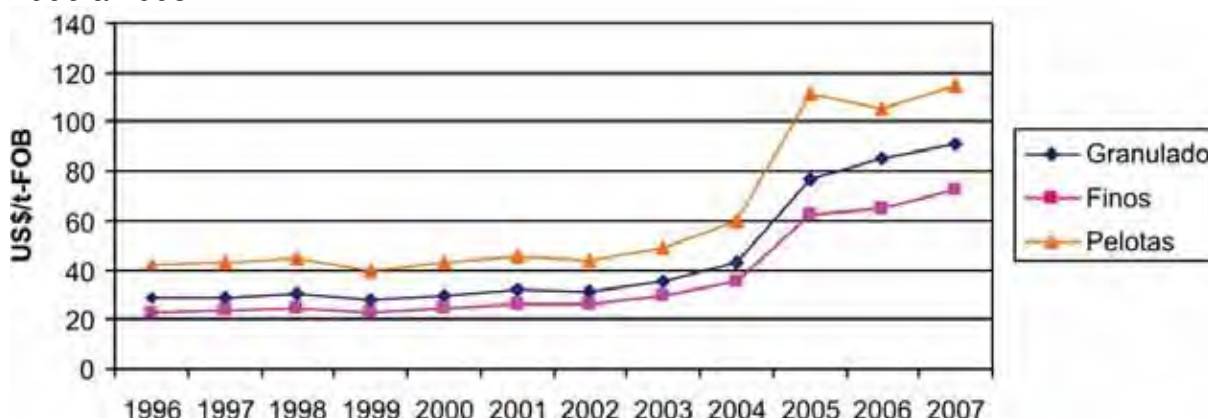
4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

34

influenciam na formação do preço são: o custo de lavra, tratamento, concentração, transporte e condições de mercado (GONÇALVES DE JESUS, 2009).

Os preços de minério de ferro se mantiveram estáveis no período 1996/2003. A partir de 2003 a VALE vem conseguindo aumentos expressivos nos seus contratos de exportação. Os aumentos médios acumulados no período são da ordem de 143,87%, para os tipos granulados, 132,31% para finos e 120,04% para pelotas (Figura 18). Em fevereiro de 2008 foi anunciado um aumento de 65,0% no preço do minério fino do Sistema Sul da VALE (preço FOB – Porto de Tubarão) e de 71,0% no preço do minério fino de Carajás nos contratos com as siderúrgicas Nippon Steel (Japão) e Posco (República da Coreia).

Figura 18 – Evolução dos preços de minério de ferro brasileiro comercializado de 1996 a 2008.



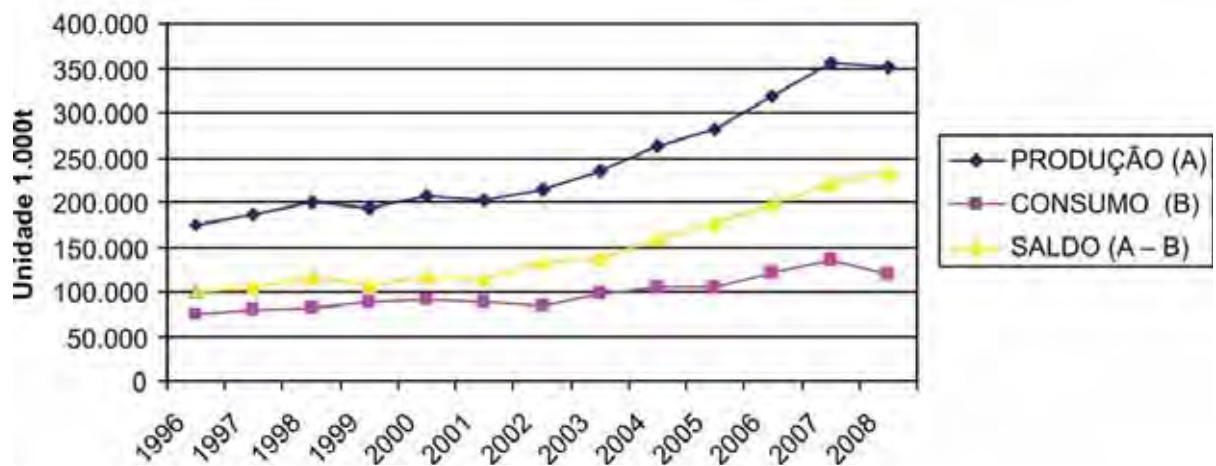
Fonte: UNCTADT – United Nations Conference on Trade and Development.

Mesmo com os preços a partir de 2004 apresentando abrupto crescimento, a balança produção/consumo em todo período de 1996 a 2008 apresentou saldo positivo, o que remeteu à geração de excedentes exportáveis (Figura 19).

4. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DO MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO E NO BRASIL

35

Figura 19 – Balanço da produção/ consumo de minério de ferro brasileiro no período de 1996 a 2008.



Fonte: DNPM/DIDEM.

5 HISTÓRICO DA ATIVIDADE MINEIRA DE PIUMHI/MG

O nascimento da cidade da Piumhi está ligado à vocação mineraria da região, cujas primeiras atividades mineiras são datadas no século XVIII, mais precisamente no ano de 1731 no qual o bandeirante João Batista Maciel, vindo de São Paulo, subindo o Rio São Francisco a procura de sua nascente, onde se acreditava existir um depósito aurífero, montou um acampamento de garimpeiros, o qual, mais tarde, em 20 de Julho de 1868, foi transformado em município, denominado como Piumhi, referida como Pium-i, que na língua tupi quer dizer “rio de muito peixe” (Dados obtidos da Secretaria Municipal de Educação de Piumhi).

A busca pelo ouro, organizada pelo bandeirante João Batista Maciel foi financiada pela Vila de Pitangui, onde hoje fica a cidade de Pitangui, cujo procurador da câmara daquela vila na época referida acreditava na existência desse bem mineral na região e que sua descoberta seria convertida em inúmeros benefícios ao povo ali residente e à coroa Portuguesa.

Dados de outra fonte (IBGE) mostram que já em 1708 existiam grupos garimpeiros na região. Neste mesmo ano, o Padre Marcos Pires Corrêa propôs aos habitantes que construíssem uma capela e conseguissem o necessário para a celebração dos ofícios divinos, uma vez que todos eram católicos. Em 15 de agosto de 1708, era celebrada a 1ª missa na região.

Após a guerra dos Emboabas, voltaram às bandeiras paulistas a desbravar os sertões, datando daí a crescente povoação de Nossa Senhora do Livramento do Piu-i, conhecido, então, somente por Piu-i, nome do rio que atravessa a região. O vocábulo Piu-i, indígena, significa “água cheia de moscas” e na verdade, as águas quase paradas do rio são infestadas por esses insetos.

Em 1770, o povoado foi elevado à categoria de curato, sendo primeiro cura o Padre Francisco Alves Torres. Em 1813 era elevado à categoria de freguesia. A paróquia foi criada em 1854 e, em 20 de julho de 1868, o povoado de Nossa

Senhora do Livramento do Piu-i foi elevado à condição de cidade e sede municipal com a denominação de Piui.

Na metade do século XX, a cidade de Piumhi voltou a ter identidade mineira, em face da lavra garimpeira de rocha ultramáficas cromitíferas. O cromo extraído nesta época era exportado essencialmente para fins bélicos em decorrência da Segunda Guerra Mundial. Entretanto tal atividade perdurou até o final da década de 80 com produção irrisória. Atualmente a região de Piumhi apresenta inúmeras áreas requeridas junto ao DNPM para pesquisa de ferro entre outras substâncias.

6 CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

6.1 Características Gerais das Entidades Geotectônicas do Sudoeste de Minas Gerais

A área estudada está inserida no setor meridional da Província Estrutural Tocantins, definida por Almeida et al. (1981), a qual faz limite na porção leste com a Província São Francisco (MARINI et al. 1984) e a sudeste com a Província Mantiqueira. (Figura 20).

Figura 20 – Posicionamento da região estudada, marcada pelo círculo em azul, em relação às Províncias Estruturais de Almeida et al. (1981).



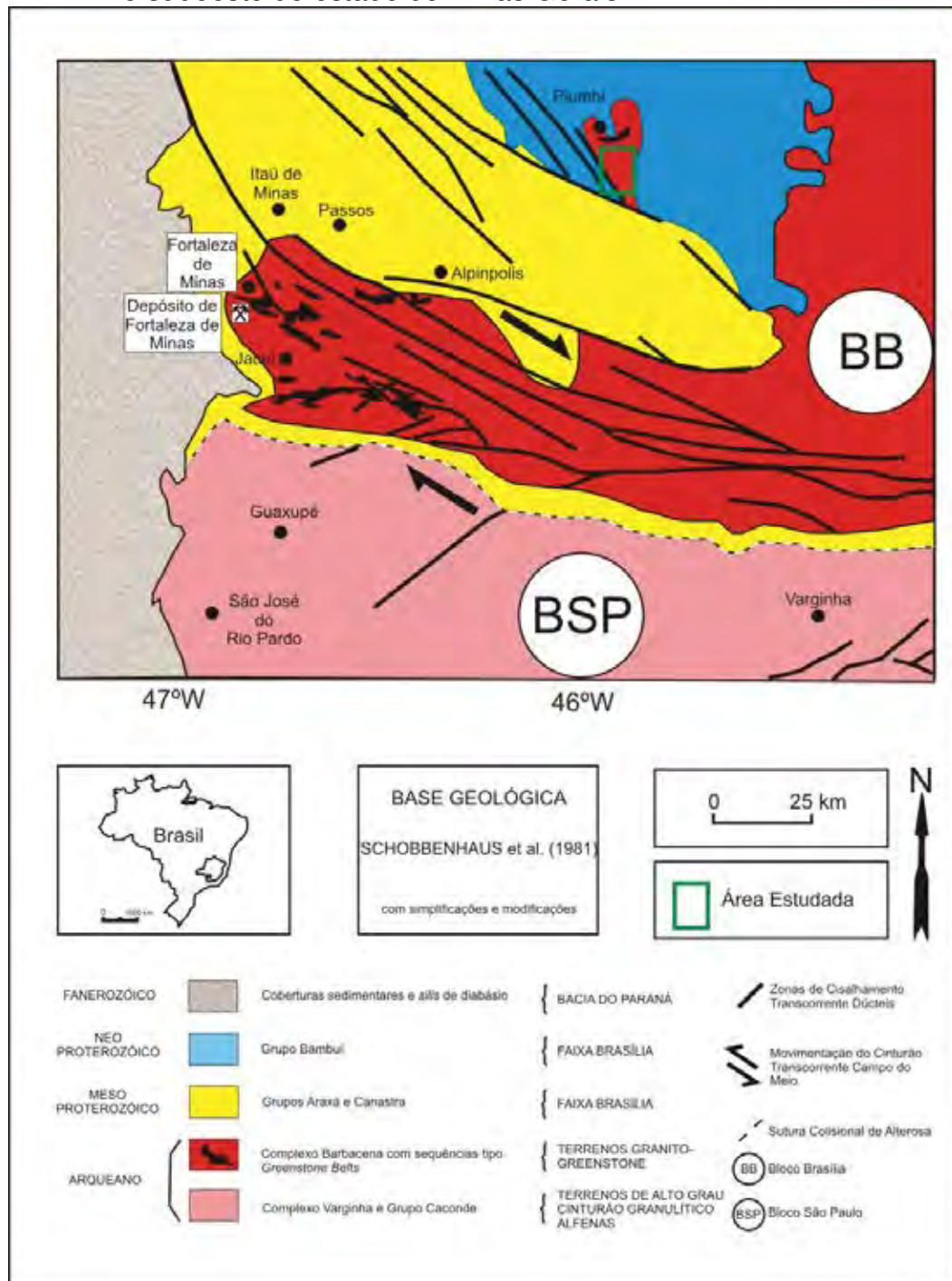
Fonte: modificado de Almeida et al. 1981.

Com base na literatura geológica podem ser destacadas 4 entidades geotectônicas de expressão regional que exercem influência na área estudada: complexos gnáissicos-migmatíticos arqueanos denominados como Campos Gerais e Barbacena, que representam o embasamento cristalino da região; sequência metavulcano-sedimentar *greenstone belt* de Piumhi; unidades alóctones de sequências metavulcano-sedimentares pertencentes aos grupos Araxá, Paciência e

Lavapés, estes dois últimos associados ao greenstone belt de Piumhi, constituem o Maciço de Piumhi (SCHRANK; ABREU, 1990) e, por fim, seqüência metacarbonática-metapelítica do Grupo Bambuí (Figura 21).

Em relação à Figura 21 cabe destacar que os dados mais recentes existentes na literatura, mostram que os grupos Araxá e Canastra são de idade neoproterozóica e, que o Complexo Varginha e Grupo Caconde não são arqueanos e sim neoproterozóicos e em publicações recentes, também são atribuídos a Faixa Brasília (FUCK et al., 1993; FUCK, 1994; CAMPOS NETO, 2000; ZANARDO, 1992; VALERIANO, 1992). Para Zanardo (1992) o Complexo Varginha corresponde a crosta inferior do Cráton que colidiu com o Cráton São Francisco no Neoproterozóico.

Figura 21 – Entidades Geotectônicas na porção meridional da Província Tocantins no sudoeste do estado de Minas Gerais.



Fonte: Fernandes (2002). O retângulo em verde representa a área estudada.

6. 2 Unidades Litoestratigráficas do Arcabouço Geológico Regional

6.2.1 Complexo Barbacena

Hasui et al. (1988) separou o Complexo Barbacena como uma associação de granitóides homogêneos mais ou menos foliados, biotita e/ou anfibólios gnaisses do tipo bandado, facoidal e laminado, e migmatitos principalmente de tipo estromático, mas também nebulítico e ultramáfico (principalmente hornblendíticos e actinolíticos) e leucossoma granítico a diorítico.

Esse complexo é considerado de idade arqueana e possui remanescentes de seqüências metavulcano-sedimentares do tipo greenstone belt (Morro do Ferro e Piumhi) cortadas por zonas de cisalhamento dextrais dúcteis WNW-ESE, representa um terreno granito-greenstone no sudeste do Estado de Minas Gerais (Figura 19).

6.2.2 Complexo Varginha

Definido por Cavalcante et al. (1979) como um pacote de ortognaisses tonalíticos a graníticos, caracterizados pelo metamorfismo de fácies granulito, mais ou menos migmatitizados e retrometamorfizados em condições de grau médio a baixo, com formato triangular limitado a norte e sudeste respectivamente pelos cinturões de cisalhamento Campo do Meio e Ouro Fino, e a oeste, por sedimentos Paleozóicos da Bacia do Paraná.

As supracrustais associadas são paragneisses, quartzitos, micaxistos, mármore, rochas cálcio-silicáticas, formação ferrífera bandada, anfibolitos e metaultrabasitas pertencentes ao Grupo Caconde (HASUI; OLIVEIRA, 1984; MORALES; HASUI, 1990; ZANARDO, 1992; DEL LAMA, 1993).

A idade deste conjunto é atribuída como brasileira a partir de datações Rb/Sr e U/Pb em zircão, apresentadas por Oliveira et al. (1986). Essa idade é atribuída ao metamorfismo granulítico e não necessariamente ao protólito (SOARES et al., 1990), todavia, de um modo geral as idades-modelo Sm-Nd (TDM) são inferiores a 2 Ga. Os dados geocronológicos sugerem evolução policíclica com forte rejuvenescimento em torno de 640 Ma, associado à deformação e metamorfismo de fácies granulito a anfibolito (CAMPOS NETO; CABY, 1999; CAMPOS NETO, 2000). Estes aspectos

levaram Zanardo (1992, 2003) a interpretar o Complexo Varginha (Varginha-Guaxupé ou Guaxupé) como crosta inferior de bloco continental que teria cavalgado o Cráton do São Francisco, em processo colisional de idade neoproterozóica. Essas rochas de alto grau metamórfico representam o Cinturão Granulítico Alfenas, atribuído inicialmente ao arqueano (ALMEIDA et al., 1980).

6.2.3 Greenstone Belt de Piumhi

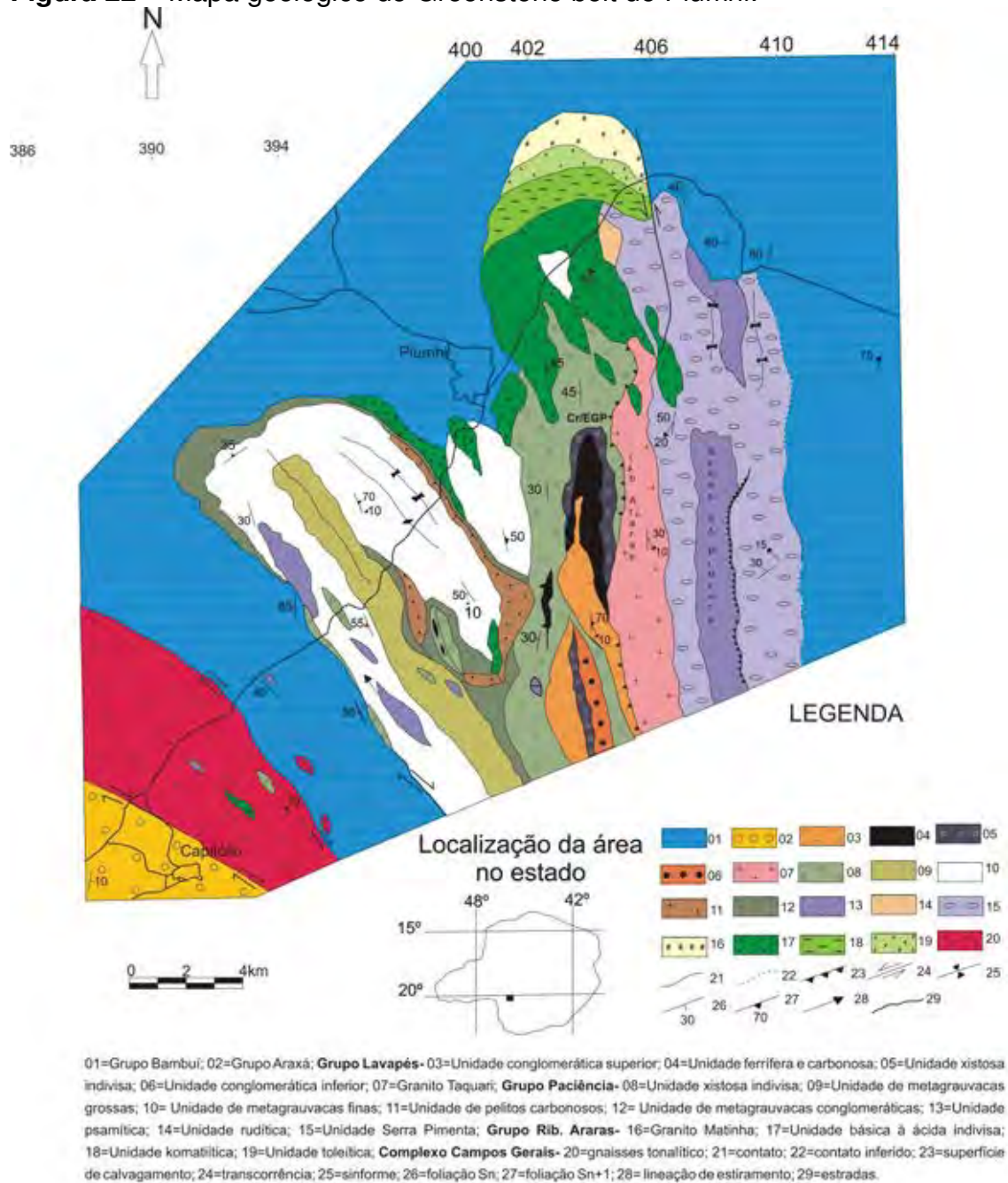
Até final da década de 70 a região de Piumhi era conhecida apenas por abrigar depósitos de cromita (SOUZA, 1943). Em 1980 foi demonstrada a existência de komatiitos (SCHRANK; BROUSSE, 1980) e Fritzons et al. (1980) apresentaram os primeiros resultados de cartografia 1:25.000 da metade setentrional do que foi mais tarde denominado de Maciço de Piumhi (SCHRANK, 1982).

Schrank e Abreu (1990) dividiram o Maciço de Piumhi em três grupos: Ribeirão Araras, Paciência e Lavapés, entre os quais somente o primeiro apresenta características de um greenstone belt.

O greenstone belt de Piumhi (GBP) está situado no sudoeste do Estado de Minas Gerais a partir da cidade homônima por cerca de 70 km na direção S20°E, com formato de ampulheta e largura máxima de 20 km. Está envolto por metassedimentos do Grupo Bambuí a norte e a leste. Ocupa uma área de cerca de 40 km² ao longo de uma faixa de bordas irregulares, com direção norte e noroeste (Figura 22).

6.2.4 Grupo Ribeirão Araras

Schrank (1982) caracterizou este grupo como sendo constituído por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas de composição ultramáfica a máfica e sedimentos de composição máfica subordinados. Contém diversos tipo de rochas intrusivas, incluindo sills e diques máficos, necks e domos félsicos. O mesmo autor definiu este grupo como um Cinturão de Rochas Verdes ou greenstone belt arqueano. Mostra contatos tectônicos com os grupos Paciência e Lavapés.

Figura 22 – Mapa geológico do Greenstone belt de Piumhi.

Fonte: Ferrari (1996).

6.2.5 Grupo Paciência

O Grupo Paciência, com extensão superior a 600 km² de área cartografada, divide-se em dois conjuntos de serras de direção submeridiana (SCHRANK; SILVA, 1993). Está tectonicamente sobreposto e discordante ao Grupo Ribeirão Araras; é formado, na base, por metassedimentos platformais tais como metassiltitos,

metagrauvacas e quartzitos com intercalações de metacalcários, formados numa sequência tipo *flisch*. Sobre estes ocorre uma sequência turbidítica.

Ferrari (1996) estudando aspectos tectono-estruturais do *Greenstone belt* de Piumhi, subdividiu o Grupo Paciência em 8 unidades: unidade clástica da Serra da Pimenta, de natureza pelito-psamítica dado por rochas xistosas; unidade rudítica, composta por metabrechas, quartzitos conglomeráticos, metassedimentos finos e meta arcóseos; unidade psamítica, na qual predominam quartzitos puros; unidade de metagrauvacas conglomeráticas; unidade de pelitos carbonosos; unidade de metagrauvacas finas; unidade de metagrauvacas grossas, unidade de xistos grauváquicos indivisos.

Da mesma forma que no Grupo Ribeirão Araras no Grupo Paciência a deformação é expressa por dobras de achatamento, com eixos variando de sub-horizontais a invertidos; corredores de cisalhamento subverticais, zonas de cisalhamento sub-horizontais, com lineação de estiramento N0-10 e transporte para norte e, por fim, cavalgamentos sub-horizontais a mergulhantes para W de características rúpteis (SCHRANK; SILVA, 1993).

Valeriano (1995) subdividiu o Grupo Paciência nas seguintes unidades: unidade conglomerática inferior; unidade conglomerática superior e Granito Taquari, este assim denominado inicialmente por Mimura et al., (1992), correspondente ao Maciço Central de Fritszons et al., (1980). Trata-se de um corpo granítico alongado de direção N-S, com cerca de 21 km de comprimento e 1,5 km de largura aproximada (Figura. 22). Aflora entre rochas do Grupo Ribeirão Araras, Paciência e Lavapés (SCHRANK, 1989).

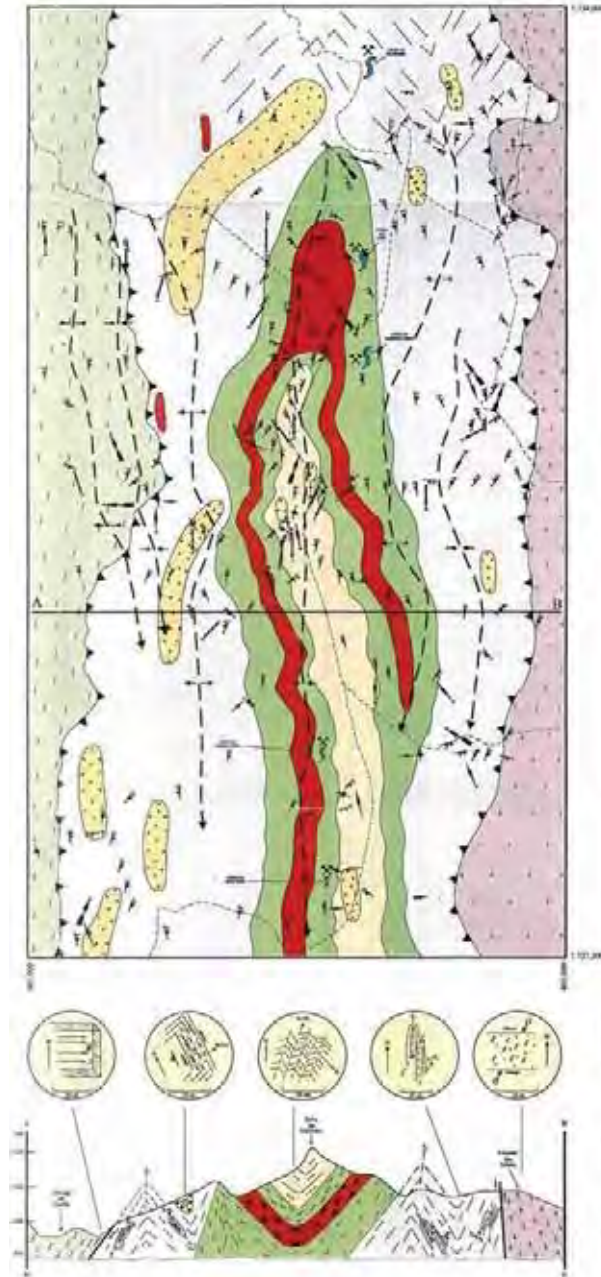
6.2.6 Grupo Lavapés

Tectonicamente sobreposto e discordante ao Grupo Paciência, constitui uma associação de quartzitos, conglomerados, xistos a sericita, clorita, quartzo e carbonatos, contendo lentes grafitosas, formações ferríferas bandadas e manganésíferas e corpos máfico-ultramáficos contendo cromititos (MACHADO; SCHRANK, 1989), sendo que as formações ferríferas alojadas nesse grupo são objeto de estudo da presente dissertação.

Valeriano (1995) caracterizou o Grupo Lavapés como uma unidade alóctone transportada por leques imbricados com cavalgamento de sul para norte.

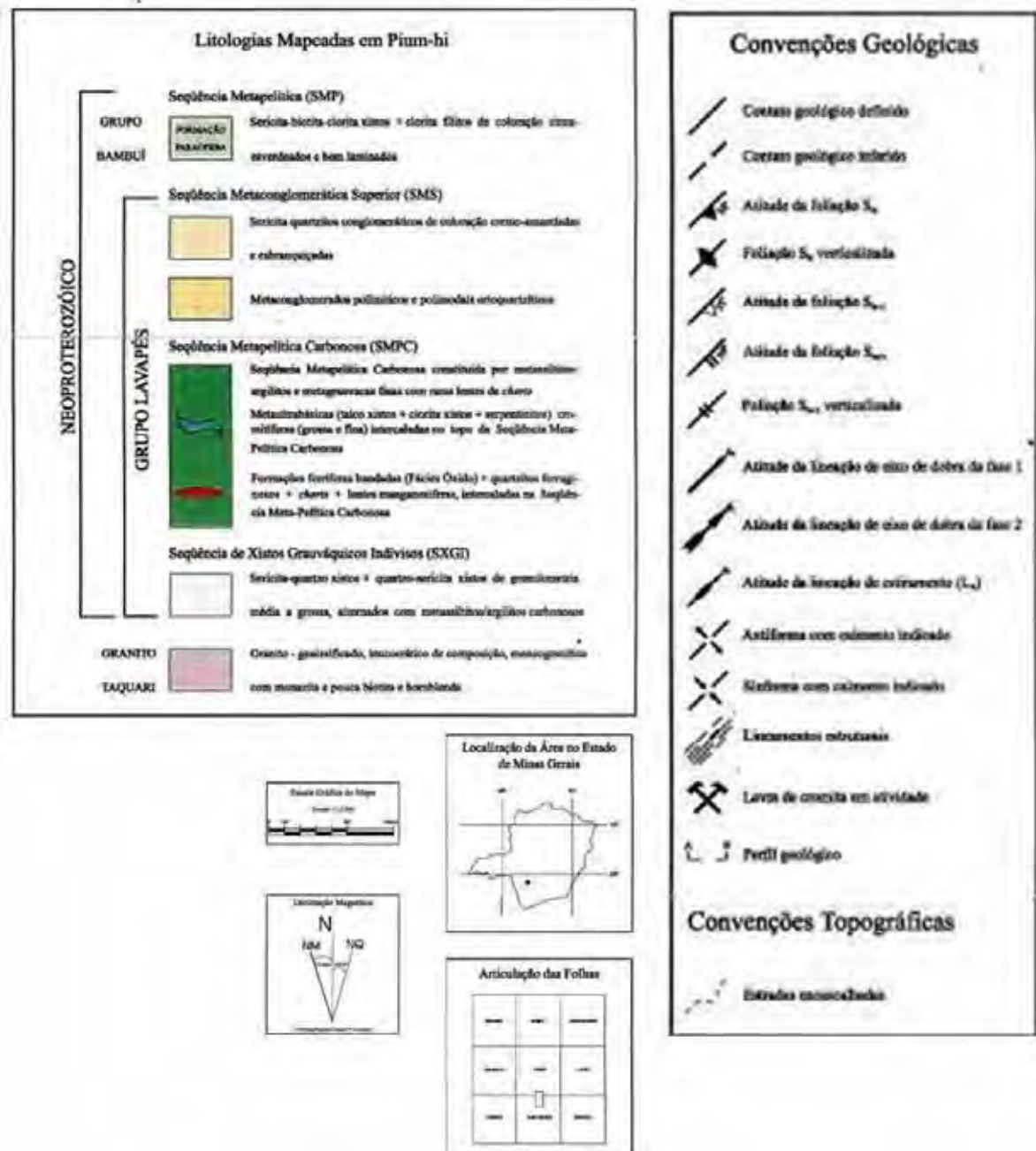
Fernandes (2002) estudando as formações ferríferas da região de Piumhi subdividiu o Grupo Lavapés em três sequências: xistos grauváquicos indivisos (SXGI); metapelítica carbonosa (SMPC), sequência esta onde estão alojadas as formações ferríferas estudadas nesta pesquisa e por fim sequência metaconglomerática superior (SMS). Para o mesmo autor, o Granito Taquari não está inserido no Grupo Lavapés (Figura 23 e 24).

Figura 23 – Mapa geológico realizado por Fernandes (2002) na região de Piumhi, com a respectiva proposta de subdivisão do Grupo Lavapés.



Fonte: Fernandes (2002).

Figura 24 – Legenda da Figura 23.



Fonte: modificado de Fernandes (2002).

Neste grupo as rochas estão predominantemente milonitizadas, com os corpos de cromititos estirados, os quais se assemelham tanto na forma dos corpos quanto nas texturas deformacionais dos espinélios, às características encontradas em maciços ofiolíticos (HOCK; FRIEDRICH, 1985).

A paragênese metamórfica observada caracteriza a fácies xisto verde o que está em desacordo com a deformação apresentada nos litotipos do grupo, fato que indica um caminho metamórfico-deformacional bastante distinto dos grupos

Paciência e Ribeirão Araras, os quais nunca foram metamorfisados e deformados em condições superiores à fácies xisto verde (SCHRANK; SILVA, 1993).

As estruturas presentes foram geradas por cisalhamento com eixo variado nos setores N0-10 a N70-90 e cavalgamentos rúpteis. Em síntese, Schrank e Silva (1993) acreditam que os dobramentos por achatamento puro e os corredores de cisalhamento sejam arqueanos, e as zonas de cisalhamento sub-horizontais do Proterozóico Superior, relacionadas à deformação e colocação do Grupo Lavapés, e a deformação rúptil estaria diretamente relacionada à colocação da *Nappe* de Passos.

Valeriano et al., (1995), a fim de caracterizar a evolução estrutural do Domínio Externo da Faixa de Dobramentos Brasília, através de critérios estruturais e litológicos dividiram o substrato rochoso da região em seis escamas tectônicas de baixo grau metamórfico. A divisão proposta e sua equivalência com trabalhos anteriores estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Quadro de correspondência entre as escamas tectônicas discriminadas por Valeriano et al. (1995) e as unidades litoestratigráficas definidas em trabalhos anteriores.

Valeriano et al (1995)	Fritzsos Jr. et. al. (1980)	Machado Filho et. al. (1983)	Schrank & Abreu (1990) Schrank & Abreu (1993)	Valeriano (1992)
Escama VI	Grupamento intermediário: Quartzitos predominantes	Grupo Canastra (Formação Tromenta)	Porção quartzítica do Grupo Paciência	Sequência Serra da Boa Esperança (Unidade Serra do Chapadão)
Escama V	Grupamento intermediário: sequência conglomerática superior, sequência carbonosa ferrífera	Grupo Canastra (Formação Tromenta)	Porção metassedimentar do Grupo Lavapés	Sequência Serra da Boa Esperança (Unidade Serra da Mamona) + lentes de Embasamento Alóctone
Escama IV	Grupamento Intermediário: Sequência cromitífera	Grupo Piumhi	Porção ultramáfica do Grupo Lavapés	Embasamento alóctone
Escama III	Grupamento intermediário: xistos grauváquios, metagrauvacas	Grupo Canastra (Formação Ilicínea)	Porção turbidítica do Grupo Paciência	Sequência Serra da Boa Esperança (Unidade Ilicínea)
Escama II	Grupamento das rochas vulcânicas e intrusivas ácidas	Grupo Piumhi Complexo Campos Gerais	Porção quartzítica do Grupo Paciência	Sequência Serra da Boa Esperança (Unidade Serra do Chapadão) + lentes de Embasamento Alóctone
Escama I	Base do grupamento Intermediário: quartzitos, metabrechas e metapelitos	Grupo Canastra (Formação Tromenta) Complexo Campos Gerais	Porção quartzítica do Grupo Paciência	Sequência Serra da Boa Esperança (Unidade Serra do Chapadão) + lentes de Embasamento Alóctone

Fonte: Valeriano et al. (1995).

6.2.7 Grupo Canastra

Constituído por quartzitos, filitos prateados e grafitosos com pirita, sendo que os quartzitos, por vezes são ferruginosos a itabiríticos (ZANARDO, 1992). Em vários locais as rochas do Grupo Canastra estão cavalgadas sobre o Grupo Bambuí. Em alguns locais apresentam intensa deformação, por esta razão, seu empilhamento estratigráfico ainda não é plenamente entendido na comunidade geocientífica.

Simões (1995) caracterizou o Grupo Canastra como parte integrante do Domínio Alóctone Externo da Faixa de Dobramentos Brasília (FDB) e que está cavalgado pelos metassedimentos do Grupo Araxá, pertencente ao Domínio Alóctone Interno da mesma faixa de dobramentos.

Valeriano et al. (1995) estudando a evolução estrutural da FDB para a região aflorante do Grupo Canastra, o qual foi inserido no Domínio Alóctone Externo que é um sistema de calvagements (BOYER; ELLIOT, 1982), cuja organização é dominada por imbricação de 6 escamas tectônicas (*thrust sheets*), empilhadas durante dois episódios de empurrão. Um antigo, vertente para norte, associado à lineação de estiramento e ao metamorfismo, e o outro, tardio, ligado à colocação da Nappe de Passos, a qual é delimitada pela faixa de afloramentos do Grupo Araxá. Dessas 6 escamas, 4 representam associações de rochas anteriormente definidas como pertencentes ao Grupo Canastra, as quais:

Escama I: metarenitos de grão médio a grosso, composicionalmente são ortoquartzitos puros a micáceos e, localmente feldspáticos, com freqüentes intercalações de metapelitos. Repousam sobre o empurrão basal do Domínio Alóctone Externo.

Escama III: compreende um pacote metassedimentar de natureza turbidítica, corresponde à parte do Grupo Paciência de Schrank e Abreu (1990). Vide tabela 1.

Simões e Valeriano (1990) consideram que o limite entre a sedimentação que originou o Grupo Canastra, e o ciclo sedimentar do Grupo Araxá, de natureza imatura, coincide com o aparecimento de paragneisses, xistos feldspáticos logo acima do banco de quartzito.

Escama V: metaconglomerados intensamente deformados, com seixos majoritariamente de quartzo em matriz quartzo-sericítica, com variações granulométricas laterais e verticais bruscas.

Escama VI: de colocação tardia, recobre todas as demais sob a forma de vários *klippen*, truncando seus contatos. Apresentam os mesmos litotipos da escama I, porém com maior grau de recristalização.

Na Serra da Canastra, Passos, Paracatu e Araxá, onde o Grupo Canastra é marcado por rochas metassedimentares de baixo grau metamórfico, ocorrem estruturas sedimentares preservadas, as quais foram identificadas por Simões et al. (1988).

Mapeamento geológico detalhado realizado por Silva (2003) em uma das localidades-tipo do Grupo Canastra, a região compreendida entre as Serras da Canastra e da Bocaina (SW de Minas Gerais), mostrou que esta área é segmentada por uma zona de cisalhamento, subdividindo-a em dois segmentos.

O segmento oeste é marcado por duas escamas tectônicas separadas por falha de empurrão. Na escama 1 ocorrem granada-grafita-muscovita xistos com quartzitos. Na escama 2 ocorrem granada-mica xistos, com intercalações de hornblenda-mica xistos, anfibolitos e metaultramáficas. Estes passam a quartzitos micáceos, que são sobrepostos por gnaisses. As associações minerais descritas para a escama 1 permitem situa-la na fácies xisto verde superior. Já as rochas da escama 2 são situadas na fácies anfibolito.

Na área pesquisada Grupo Canastra ocorre como associação de quartzito milonitizado, aflorante na crista da Serra da Pimenta, em contato tectônico com o granito Taquari.

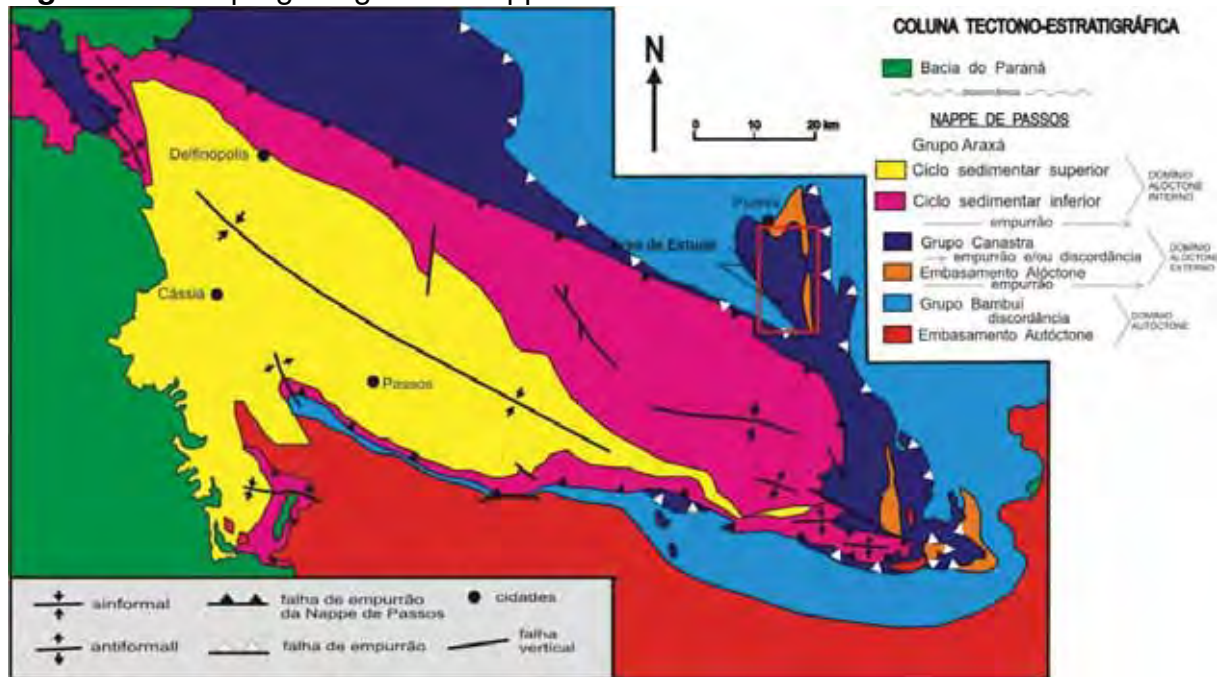
6.2.8 Grupo Araxá

Inicialmente foi denominado de Formação Araxá por Barbosa (1955), sendo composto por mica xistos, quartzitos e migmatitos. A partir de 1970 Barbosa *et al.* (1970) passaram a usar o termo grupo, restringindo o Grupo Araxá aos xistos e quartzitos, considerando as rochas gnáissicas pertencentes a um conjunto mais antigo.

A presença de intercalações ocasionais de anfibolitos, nas rochas do Grupo Araxá, é ressaltada por vários autores. Na região estudada o Grupo Araxá está inserido no contexto tectônico da Nappe de Passos (Figura 25), a qual foi reconhecida inicialmente por Teixeira e Danni (1978) e Schmidt e Fleischer (1978).

Posteriormente foi detalhada por Correa (1986), Heilbron et al. (1987), Simões et al. (1988), Zanardo (1992), Valeriano (1992), Morales et al. (1996), Simões (1995) e Valeriano e Simões (1997).

Figura 25 – Mapa geológico da Nappe de Passos.



Fonte: SIMÕES (1995). O Retângulo em vermelho destaca a área estudada.

Simões e Valeriano (1990) ressaltaram o fato da porção inferior da Nappe de Passos ser representada por uma sedimentação essencialmente madura. Contrapondo-se com a porção superior, caracterizada pela freqüente ocorrência de sedimentos imaturos. Estes autores utilizaram a denominação Ciclo Depositional Inferior e Ciclo Depositional Superior (figura 22).

Valeriano et al. (1995) define este grupo como pertencente ao Domínio Alóctone Interno (DAI) da faixa de dobramentos Brasília, sendo caracterizado como domínio tectônico estruturalmente superior, com graus de deformação e metamorfismo mais intensos regionalmente, que cavalgou as unidades subjacentes, incluindo o Grupo Bambuí autóctone, por volta de 600 Ma.

O metamorfismo apresenta uma faixa de fácies xisto verde a anfibolito com distribuição invertida das isógradas (HEILBRON et al., 1987; SIMÕES et al., 1990; VALERIANO, 1992; ZANARDO, 1992; MORALES, 1993; MORALES et al., 1996; ZANARDO et al., 1996).

Dados geoquímicos de elementos traço e terras raras confirmaram a existência de uma bacia oceânica Araxá nas regiões de Passos, Araxá, Abadia dos Dourados, Abadiânia e Silvânia. A distribuição descontínua das ocorrências vulcânicas com cromita associada pode sugerir que a abertura do oceano Araxá foi pontual e heterogênea (DARDENE, 2000).

6.2.9 Grupo Bambuí

As rochas do Grupo Bambuí ocorrem a norte do Complexo Barbacena, a leste do Grupo Araxá e recobrem o Greenstone Belt de Piumhi a norte, leste e oeste (Figura 20). Corresponde à sedimentação pós-Espinhaço e pode ser caracterizado como uma cobertura plataformar do Proterozóico Superior, depositada sobre vastas áreas do Cráton do São Francisco, e mesmo transcendendo seus limites, onde foi afetado pela tectogênese brasileira (VALERIANO, 1992).

Na região estudada este grupo é representado por ardósias e metassiltitos por vezes com lentes de mármore, características da Formação Paraopeba, que estão interdigitados com os metaconglomerados polimíticos da Formação Samburá, assim denominada por Branco (1956). Esses metaconglomerados apresentam matriz esverdeada e seixos de quartzito, calcário, granito, rochas vulcânicas, que segundo Dardenne (1978), representam a expressão de uma glaciação em escala continental no Neo-proterozóico.

Na região de Piumhi estas rochas foram descritas por Ferrari e Brandalise (1971), onde as mesmas exibem intercalações de arenito feldspático e lentes de arcócio, com predominância de seixos maiores de quartzo e menores de filito. Estes autores interpretam tais depósitos como fanglomerados.

6.3 Compartimentação Tectônica entre as Entidades Geotectônicas Abordadas

A borda SW do cráton do São Francisco apresenta estruturação complexa em virtude da situação limítrofe entre os grandes blocos crustais. Vários modelos de compartimentação tectônica foram propostos na região em trabalhos como Schmit e Fleischer (1978), Teixeira e Danni (1978), Machado Filho et al. (1979), Morales et al.

(1983), Simões et al. (1988), Hasui et al. (1988; 1993), Soares et al. (1990) e Valeriano (1992).

A análise cinemática das rochas do Proterozóico e Arqueano, na borda SW do Cráton do São Francisco destacada por Schrank et al. (1990) revela uma compartimentação tectônica de terrenos alóctones tais como, Complexo Campos Gerais, nappes de Guaxupé e Passos; e autóctones, representados por associação granito-greenstone, dispostos em contato por superfícies de cavalgamento. A associação de terrenos autóctones insere-se no Cinturão Campos Gerais e em janelas estruturais nos arredores de Piumhi (FRITZSONS et al., 1980; SCHRANK, 1982) e a leste de Passos (Machado et al., 1983).

Hasui et al. (1988, 1993) apresentaram um modelo de colisão continental abordando a dinâmica espacial e temporal da formação de grandes blocos crustais no Arqueano, definidos como Brasília e São Paulo, representando duas paleo-placas separadas pela Sutura de Alterosa. A justaposição de blocos é atribuída a processos colisionais, que desenvolveram sistemas tectônicos de cavalgamentos sobrepostos por sistemas transcorrentes (HASUI et al., 1993).

Soares (1988) e Soares et al. (1990) apresentaram um modelo localizado de colisão oblíqua, para a compreensão da região sudoeste do Estado de Minas Gerais. Desta forma a preservação, geometria e deformação das sequências vulcano-sedimentares em nível regional são entendidas como um dos resultados da tectônica colisional oblíqua entre o Bloco Paraná e a margem sul do Cráton do São Francisco, no Maciço Guaxupé (CARVALHO et al., 1996). Devido a esta colisão foram criadas condições necessárias para preservação dos greenstone belts em estruturas sinformais do embasamento cristalino, em dois ambientes geotectonicamente distintos, e para acreção de terrenos tipo fundo oceânico, interpretadas como seqüências ofiolíticas (SOARES et al., 1990).

7 LITOESTRATIGRAFIA DA SERRA DA GABIROBA E PIMENTA PIUMHI/MG

Neste capítulo estão descritas as unidades litoestratigráficas cartografadas na área de estudo, de acordo com o mapa geológico em anexo (apêndice B). Em síntese, foram discriminadas três unidades separadas por falhas de empurrão (Figura 26), sendo que na porção central do mapa, ao longo da Serra da Gabiroba aflora o Grupo Lavapés, para o qual foram propostas 4 subdivisões, entre as quais uma delas é constituída por formações ferríferas bandadas, que são os principais objetos de estudo do presente trabalho. Na porção oeste ao longo da Serra da Pimenta ocorrem rochas do Grupo Canastra cavalgadas sobre o Granito Taquari.

Figura 26 – Unidades litoestratigráficas discriminadas na área mapeada na Serra da Gabiroba. Piumhi/Santo Hilário – MG.

Litoestratigrafia da área mapeada - Sul de Piumhi - Folha Santo Hilário



Fonte: Figura elaborada pelo autor desta dissertação (2011).

7.1 Granito Taquari

Assim denominado por Mimura et al. (1992), corresponde ao maciço central de Fritszons et al. (1980), representa a unidade mais antiga da área estudada. Aflora no vale entre as serras da Pimenta e da Gabiroba, na forma de laje e matacões arredondados (Figura 27 A). Os contatos com as unidades sobrejacentes são de natureza tectônica por falhas de empurrão de direção norte/sul com mergulho médio de 40° rumo oeste, no contato com a Unidade Conglomerática do Grupo Lavapés, e 35° rumo leste no contato com os quartzitos do Grupo Canastra (vide apêndice B – Mapa Geológico e perfis). Sendo que nas zonas de contato o Granito Taquari apresenta gnaissificação e níveis xistificados, certamente decorrentes da deformação dúctil associada ao empurrão.

O Granito Taquari na área mapeada é leucocrático, branco a levemente róseo equigranular, com porções porfiríticas restritas, de granulação média a grossa, com fenocristais de microclínio de até 1cm (Figura 27 B).

Sob a ótica microscópica apresenta textura xenomórfica (Figura 28). Dentre os minerais formadores de rochas, foram descritos: fenocristais de microclínio anedrais a subeuédricos com geminação em grade difusa, que perfazem cerca de 45% da composição modal; quartzo de hábito anedral de até 2 mm e aparece na forma de trilhas de cristais recristalizados de granulação inferior a 50µm, representa

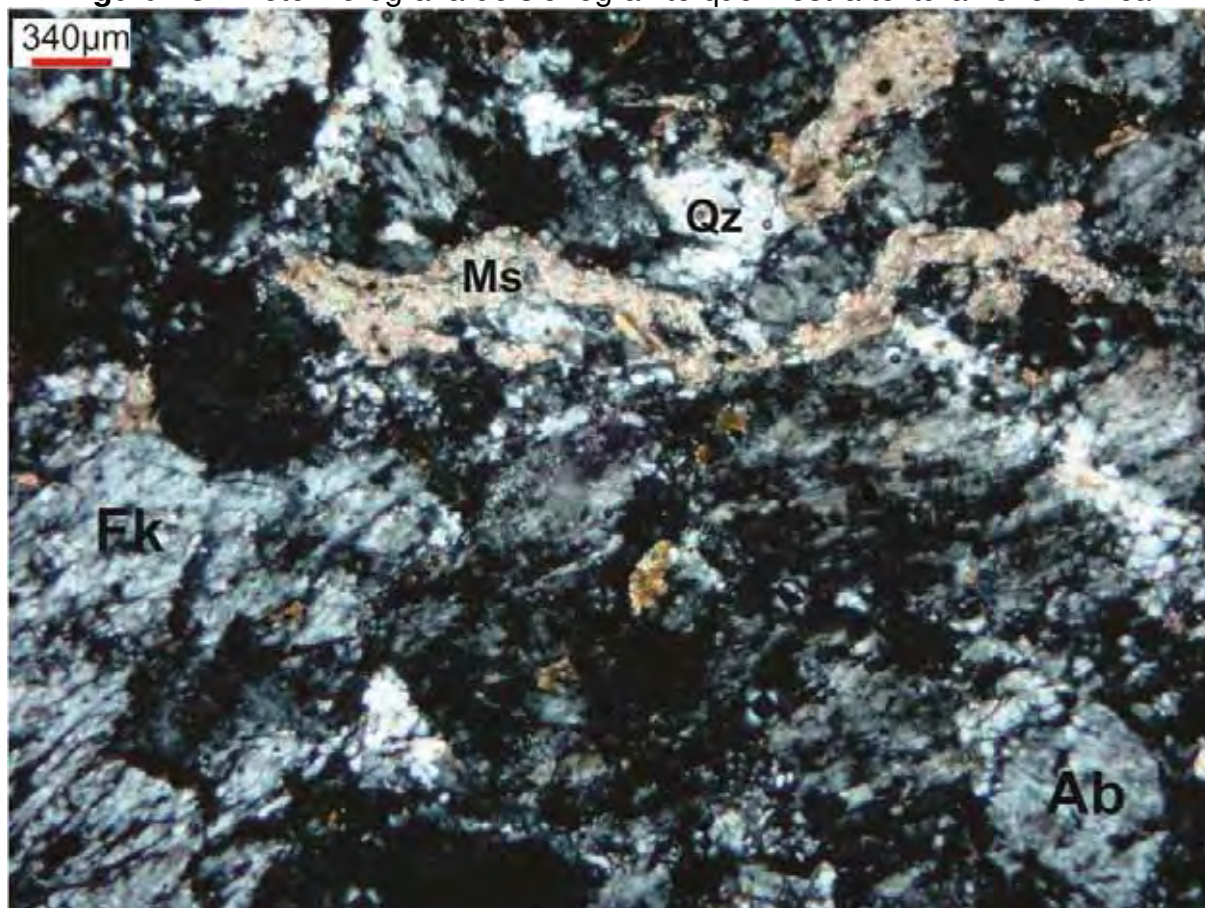
30% da moda; o plagioclásio (albita e ou oligoclásio) é subeuédrico a anédrico com cristais de 700 a 1000µm, representa 20% da moda. Dentre os acessórios, foram descritos muscovita, que perfaz por volta de 5% da composição modal, ocorre na forma de filmes micáceos e localmente intercrescida com cristais quartzo cuja textura sugere tratar-se de produto de transformação mineralógica por passagem de fluidos. Ocorrem traços de biotita verde, pleocróica, submilimétrica.

Estas evidências petrográficas permitem classificar o Granito Taquari no grupo dos sienogranitos.

Figura 27 – Granito Taquari na área estudada e mapeada.



A) Matacão que apresenta típicas feições intempéricas de rochas graníticas aflorante no sopé da serra da Gabiroba. B) Textura equigranular do Granito Taquari. Ponto 184 (apêndice A).

Figura 28 – Fotomicrografia de sienogranito que mostra textura xenomórfica.

Fk=microclínio, Ms= muscovita, Ab= albita, Qz=quartzo. Polaróides cruzados. Ponto 158 (Apêndice A).

7.2 Grupo Lavapés

Constitui a unidade de maior expressão do mapa geológico produzido neste trabalho (Apêndice B), abrangendo cerca dois terços da área mapeada. Aflora ao longo de toda a Serra da Gabiroba sobrepondo-se ao Granito Taquari por falha de empurrão de direção norte/sul e caimento para oeste com cerca de 30°.

Fritzons Jr et al. (1980) estudando a geologia de Piumhi dividiram as rochas dessa região em 4 grupos: Grupamentos de Rochas Vulcânicas, Rochas Intrusivas, Grupo intermediário e Grupo Paraopeba (Supergrupo Bambuí), sendo o penúltimo formado por 12 sequências das quais as Conglomerática Inferior, Cromífera, Carbonosa/Ferrífera e Conglomerática Superior correspondem a porção metassedimentar do Grupo Lavapés de Schrank (1982), Schrank e Abreu (1990) e Schrank e Abreu (1993). Valeriano et al. (1995) para a mesma associação litológica

classificou como sendo a escama tectônica V do Domínio Alóctone Externo (tabela 3).

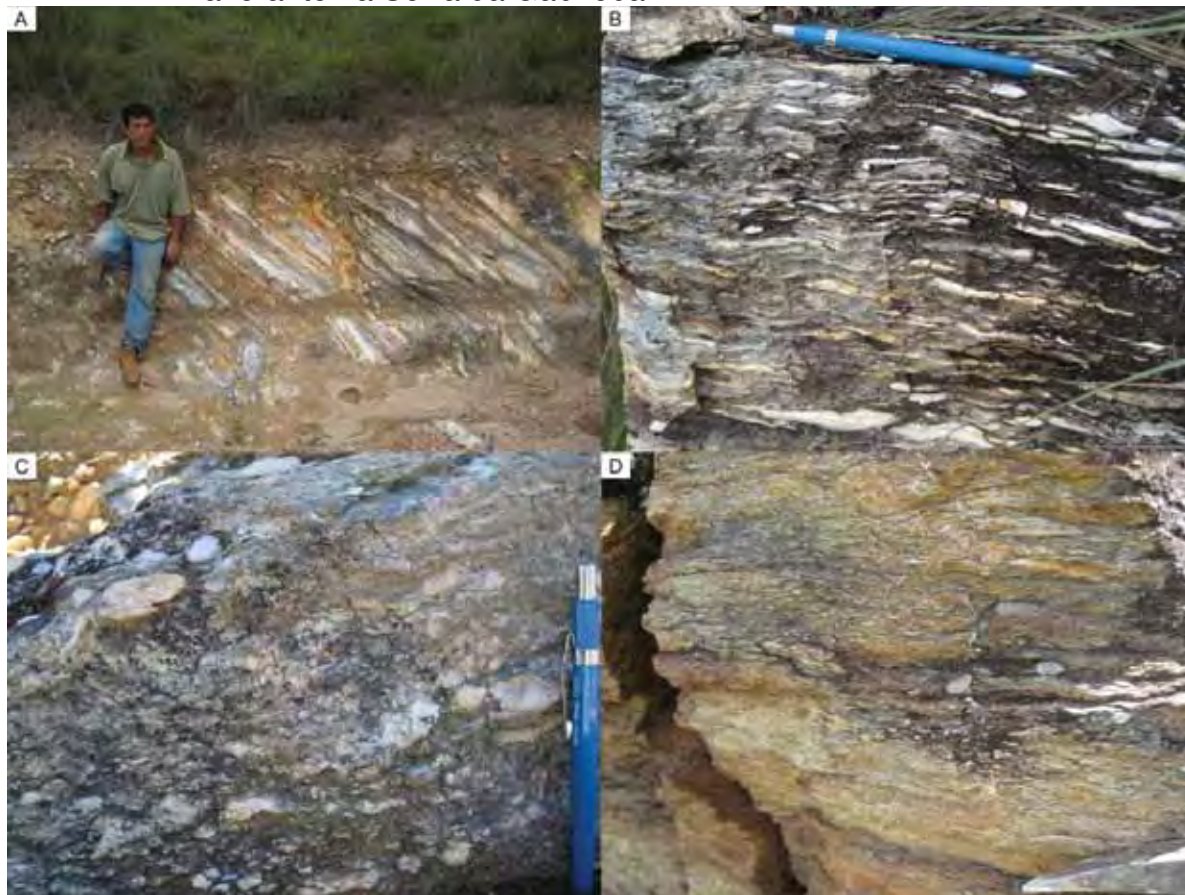
Neste trabalho preferiu-se manter o nome Grupo Lavapés devido às semelhanças das feições observadas em campo com o descrito pelos autores que assim denominaram a unidade. Foram propostas 4 unidades ao longo da Serra da Gabiroba, a fim de se caracterizar empilhamento dos litotipos desta unidade, os quais estão descritos abaixo.

7.2.1 Unidade Conglomerática

Representa a unidade basal do Grupo Lavapés na área estudada, tem a maior expressão em superfície entre as unidades discriminadas, perfazendo cerca de 50 % da área mapeada. Aflora ao longo das vertentes leste e oeste da Serra da Gabiroba até as imediações do morro Caxambu e serra da Vargem (apêndice I e II). O contato com a unidade sotoposta é tectônico por falha de empurrão de direção norte sul com mergulho médio de 40º rumo oeste. Sua porção oeste é marcada por sucessão de sinformes e antiformes. Entre as unidades metassedimentares da área mapeada é a mais espessa, acredita-se que tenha pelos menos 430 m (vide perfis geológicos apêndice B).

Litologicamente é constituída, predominantemente, por metaconglomerados oligo- a polimíticos bandados (Figura 29 A) e subordinadamente quartzitos, quartzomuscovita xisto, metagrauvacas e metassiltitos. Todos litotipos apresentam deformação dúctil, caracterizada por foliação milonítica, localmente crenulada, gerada pela orientação de minerais micáceos, grãos e seixos de quartzo estirados (Figura 29 B, C, D) e lineação de estiramento com duas orientações principais N/NE e ENE/E.

Figura 29 – Metaconglomerado da unidade Conglomerática do Grupo Lavapés, aflorante na Serra da Gabiroba.



A) Mostrando bandamento composicional. B) Mostrando seixos estirados de quartzo (ponto 55). C) Apresentando seixos preservados da deformação. D) Metaconglomerado com a foliação milonítica (ponto 133).

Os metaconglomerados, do ponto de vista microscópico, apresentam um *fabric* formado por uma matriz de granulação da ordem de 50 μ m constituída por cristais recristalizados de quartzo e sericita, a qual apresenta aspecto acicular na seção de corte. Imersos na matriz ocorrem seixos que quando preservados, mostram forma ovalada a sigmoidal. Estes são predominantemente de quartzo, que apresenta frequente deformações intracristalinas tais como extinção ondulante e recuperação em subgrãos.

Os seixos líticos e de feldspato foram parcial a totalmente dissolvidos por ação de fluidos metamórficos, e, por conta desta alteração, se apresentam como agregados de muscovita/sericita de formato retangular, lenticular e irregulares (Figura 30).

Figura 30 – Fotomicrografia de metaconglomerado polimítico do Grupo Lavapés que mostra seixos de quartzo e agregados de sericita que são resultado da alteração de fragmentos líticos e de cristais de feldspato.

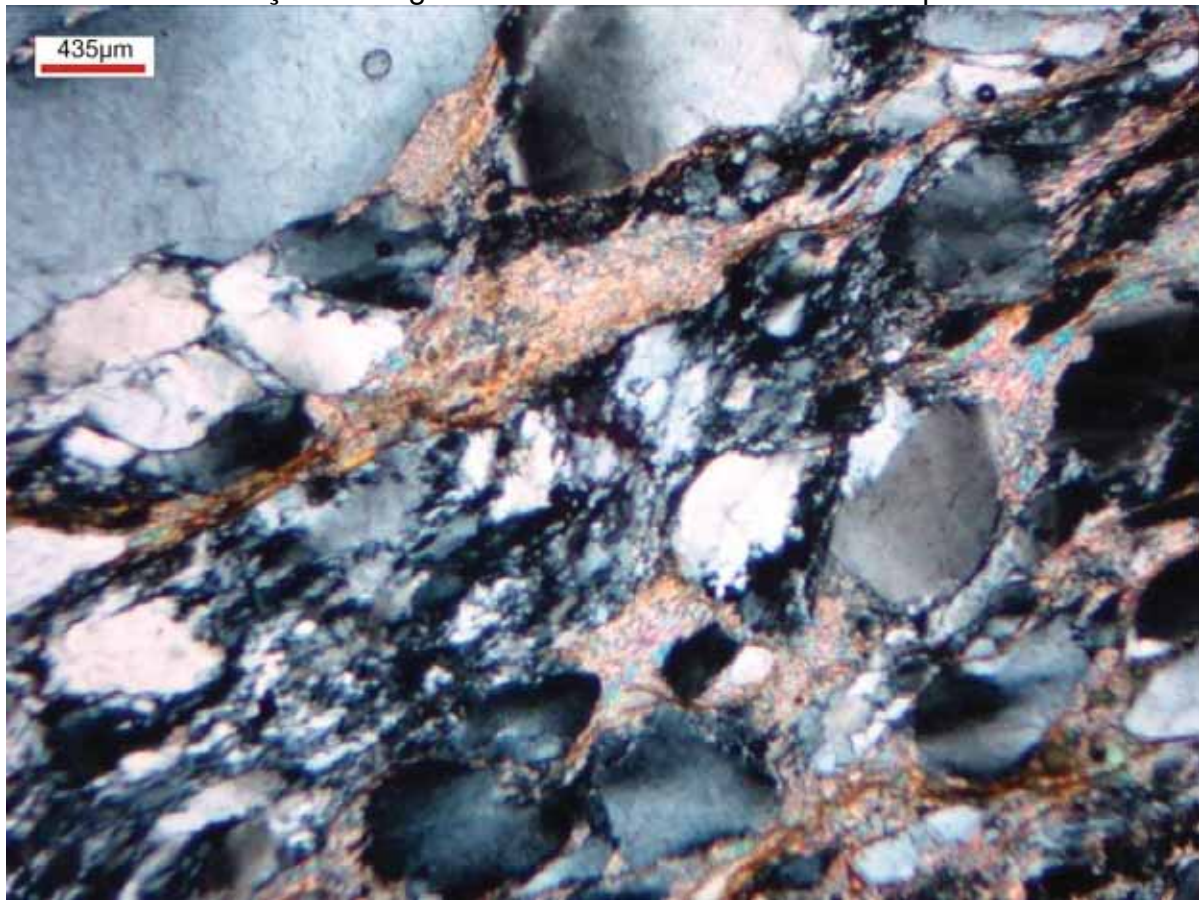
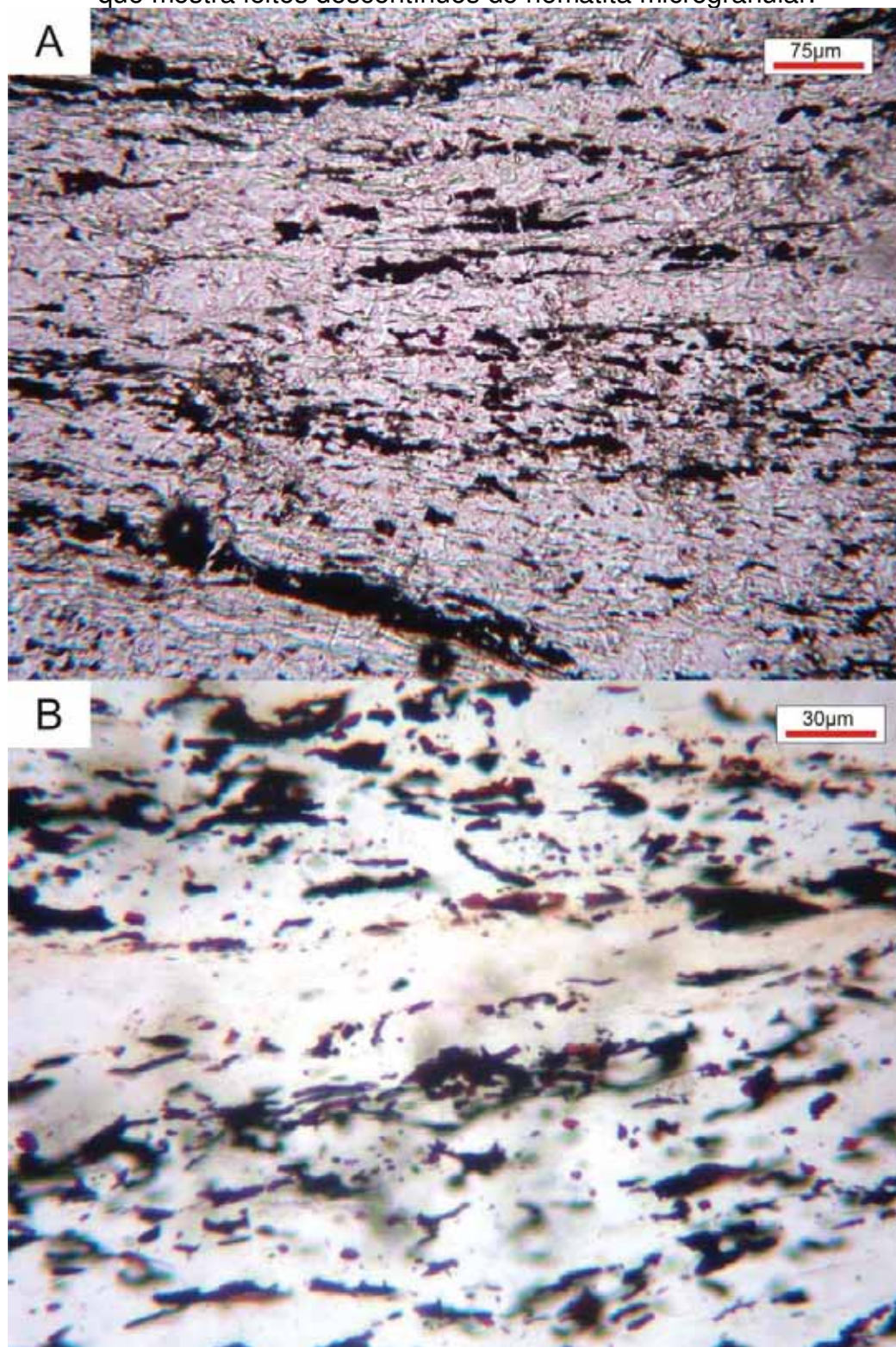


Imagem obtida com polaróides cruzados. Ponto 145 (apêndice I).

Dentre os aspectos estruturais e texturais dos metaconglomerados polimíticos, destaca-se o bandamento composicional (Figura 29 A) o qual é definido por bandas de 1 a 5 cm de espessura, de tonalidade mais escura (cinza), intercaladas ritmicamente com bandas cinza claro a brancas de espessura variada não ultrapassando 10 cm. As análises microscópicas revelaram que essas bandas de coloração mais escuras (cinzas) apresentam níveis de hematita microgranular vermelha que formam lâminas e leitos descontínuos (Figura 31 A e B).

Figura 31 – Fotomicrografias de metaconglomerado polimítico do Grupo Lavapés que mostra leitos descontínuos de hematita microgranular.

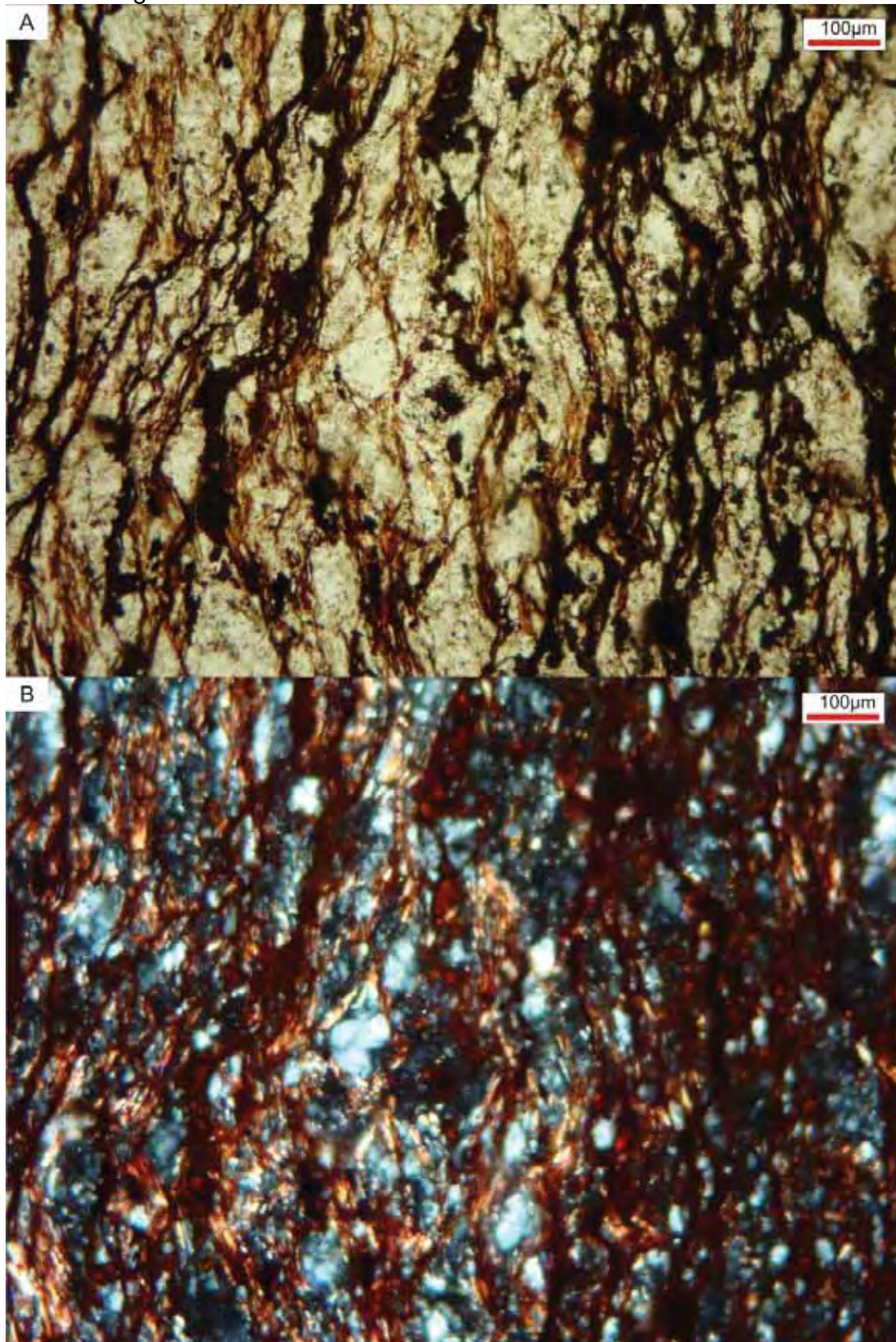


Polaróides paralelos, sendo a imagem B obtida com a luz conoscópica. Ponto 132 (apêndice I).

Dado que esta Unidade Conglomerática está estratigraficamente sotoposta à Unidade ferrífera, sugere-se que a hematitização observada nos metaconglomerados polimíticos tenha sido o início da precipitação do ferro que conduziu a formação das camadas de formação ferrífera bandada da unidade sobrejacente.

Os litotipos finos, tais como muscovita-quartzo xisto, metarenitos e metassiltitos, de ocorrência restrita ao longo da unidade apresentam *fabric* com cristais de quartzo recristalizados, com granulação da ordem de 10 μm . Nos metarenitos finos e metassiltitos destaca-se a coloração avermelhada decorrente da intensa “ferruginização” definida por leitos contínuos de hematita granular vermelha e goethita (Figura 32 A e B).

Figura 32 – Fotomicrografias de metarenito fino do Grupo Lavapés na serra da Gabiroba que mostram filetes contínuos de hematita granular e goethita.



A) Polaróides paralelos. B) Polaróides cruzados e luz conoscópica.

7.2.2 Unidade Ferrífera

Constituída de formações ferríferas bandadas fácies óxido e hematita filitos subordinados em duas camadas principais: uma na porção norte da área mapeada, com espessura inferida da ordem de 30 a 40 m, com aproximadamente 3,5 km de comprimento, mergulho rumo leste na vertente oeste da serra da Gabiroba e na vertente leste os mergulhos da camada são para oeste, com direção norte/sul. Na porção sul ocorre uma camada de direção NNW/SSE, com mergulhos de 35° para WSW, com espessura inferida variando de 20 a 60 m e comprimento de 1 km. Também ocorrem em forma de lentes métricas interdigitadas na Unidade Conglomerática (Apêndice B).

Os afloramentos ocorrem, em geral, na meia encosta da serra da Gabiroba, ao longo de sulcos de drenagens, vertentes escarpadas, lajes de trilhas e estradas, na forma de blocos rolados, matacões, também são comuns exposições “*in situ*” escarpadas (Figura 33 A, B e C).

A composição modal dessas formações ferríferas é basicamente formada por hematita, das variedades granular e especular, magnetita, em diversos estágios de martitização, goethita e quartzo. Apesar da martitização observada em quase todas as amostras descritas, o magnetismo das mesmas ainda se mantém presente.

Neste trabalho foram destacados dois tipos texturais, aqui denominados como: tipo semi-friável, e tipo compacto; nestes, o quartzo é fino e localmente ocorrem níveis de hematita maciça. O detalhamento de suas respectivas características petrográficas está exposto no capítulo 6.

Figura 33 – Afloramentos de Formações Ferríferas ao longo da Serra da Gabiroba.

A) Exposição “*in situ*” de formação ferrífera bandada da camada aflorante na terminação sul da Serra da Gabiroba (ponto 57). B) Exposição “*in situ*” de formação ferrífera bandada da camada aflorante na porção central da Serra da Gabiroba (ponto 51). C) blocos de formação ferrífera bandada (ponto 86 apêndice I)

Cabe ressaltar que a partir do limite norte do mapa geológico apresentado neste trabalho (Apêndice B) a camada mineralizada em ferro tem continuidade no rumo norte por cerca de 5 km, ao longo de uma estrutura sinformal, cuja charneira ocorre na extremidade norte da Serra da Gabiroba (vide apêndice C).

No capítulo 9 está apresentada uma estimativa da tonelagem das camadas de formação ferríferas com base no mapeamento geológico realizado por Fernandes (2002) com o mapa geológico apresentado em anexo.

7.2.3 Unidade Metapelítica-Metarenítica

Ocorre na porção extremo oeste da área mapeada, perfaz menos de um quarto da mesma. É constituído por metassiltitos vermelho a amarelados, foliados, moderadamente intemperizados e metarenitos ferruginizados, cujas feições de

campo sugerem que estes ocorrem na forma de lentes, de poucos metros de espessura, dentro do pacote de metassiltito. Além da ferruginização, que reflete um vermelho escuro observado nesta rocha, ocorrem vênulas de quartzo que cortam a mesma em várias direções (Figura 34).

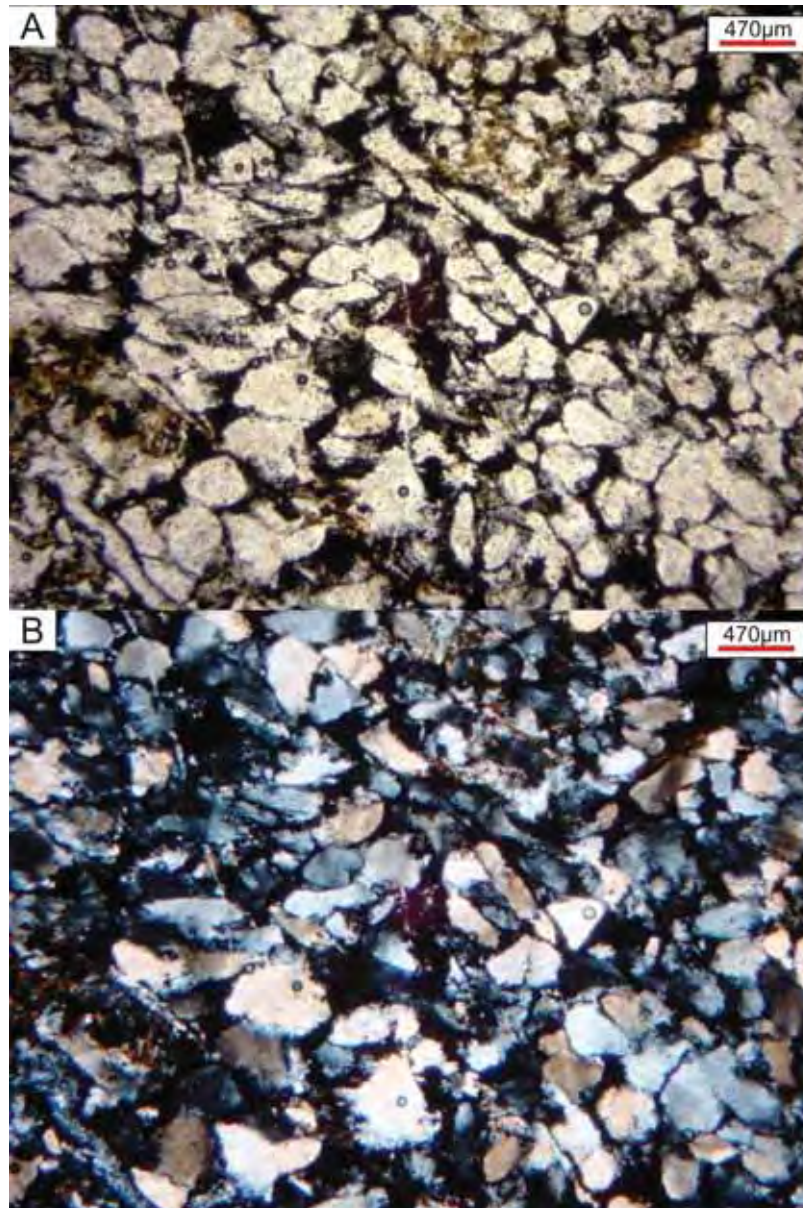
Figura 34 – Metarenito ferruginizado e cortado por vênulas de quartzo branco, pertencente da Unidade Metapelítica – Metarenítica.



Aflorante na margem oeste do córrego dos Campos. Ponto 178.

Do ponto de vista micropetrográfico, os metarenitos estão incipientemente deformados, sendo que na maioria dos grãos está preservado o arredondamento decorrente do transporte sedimentar. Mineralogicamente são constituídos predominantemente por quartzo, que perfaz cerca de 80% das amostras analisadas; óxidos e hidróxidos de ferro que perfazem cerca de 20%, e ocorre nos interstícios dos grãos de quartzo; a sericita representa menos de 1 % e ocorre como palhetas disseminadas pela rocha (Figura 35).

Figura 35 – Fotomicrografias do metarenito ferruginizado da Unidade Metapelítica-Metarenítica que mostra preservação parcial do arredondamento sedimentar.



(Foto A) polaróides paralelos. (Foto B) polaróides cruzados. Aflorante no córrego dos Campos. Ponto 110 (apêndice A).

7.2.4 Unidade Quartzítica

Aflorante na porção central da área mapeada, ao longo das cristas aplainadas da serra da Gabiroba. Litologicamente esta unidade é constituída de quartzitos finos a grossos, esbranquiçados, silicificados, localmente com textura sacaroidal.

Apresentam foliação milonítica, com dobras parasíticas assimétricas tipo “S” e “Z” (Figura 36).

Próximo à vertente leste da serra apresenta mergulhos da camada com rumo para oeste com 30° de caimento em média. Na vertente oeste os mergulhos da camada são para leste com mesmo mergulho, o que caracteriza a unidade estruturada numa dobra sinformal (vide apêndice B).

Figura 36 – Unidade Quartzítica, aflorante na crista da Serra da Gabiroba.

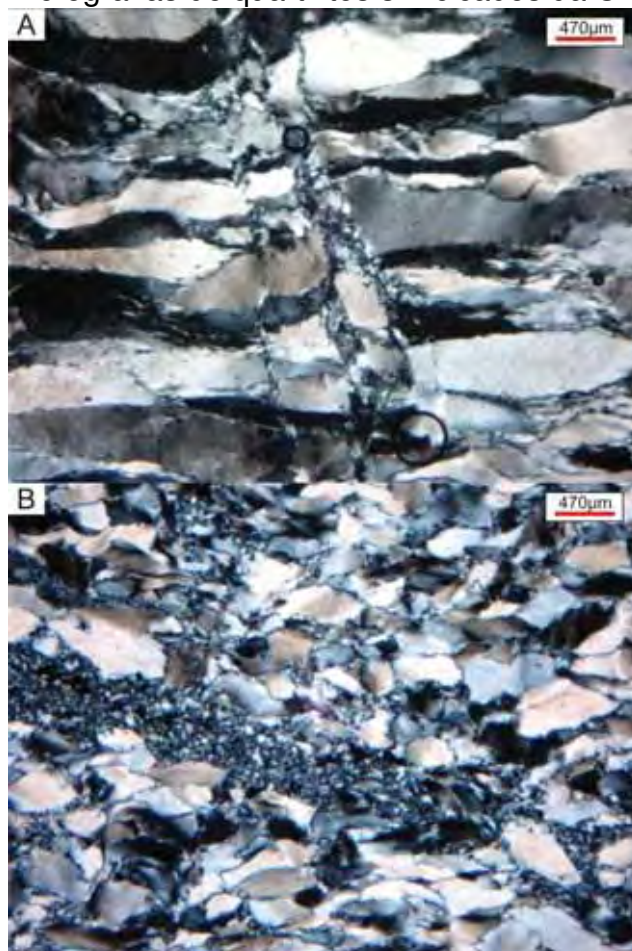


A) quartzito da Unidade Quartzítica mostra caimento das camadas para leste. Foto tirada no rumo sul. B) quartzito da mesma unidade mostrando dobras parasíticas assimétricas em “S”.

Estes quartzitos são basicamente formados por 90 a 95% de quartzo, 2 a 3% de sericita, 1% de óxidos e hidróxidos de ferro, 3 a 5% calcedônia; esta ocorre nos interstícios dos grãos de quartzo em microdescontinuidades, o que caracteriza uma silicificação de baixa temperatura (Figura 37 A e B).

O *fabric* é definido por grãos de quartzo deformados com granulação na faixa de 300 a 1500 μm , com contatos retos a engrenados e interpenetrados. Apresentam recristalização com migração de limites, que em alguns locais desenvolveu textura tipo *ribbon* (Figura 37 A), em outros pontos ocorrem com formato sigmodal, cuja interpretação estrutural sugere movimentação sinistral. Deformações intracristalinas tais como recuperação em subgrãos e deformação lamelar ocorrem na maioria dos grãos. A orientação unidirecional dos cristais de quartzo tipo *ribbon* e dos cristais de sericita define a foliação penetrativa de natureza milonítica presente nesses quartzitos.

Figura 37 – Fotomicrografias de quartzitos silificados da Unidade Quartzítica.



A) mostrando quartzo tipo *ribbon* e microdescontinuidades com calcedônia. B) quartzito silificado mostrando preenchimento de calcedônia em microdescontinuidade. Ambas fotos obtidas com polaróides cruzados. Ponto 43 (apêndice A).

7.3 Grupo Canastra

Aflora no extremo leste da área mapeada, especificamente em algumas porções do topo da serra da Pimenta, perfaz menos de um quarto do total mapeado, está sobreposto ao granito Taquari por falha de empurrão de direção norte/sul com caimento para leste (vide apêndice B – mapa geológico).

Valeriano (1992) com base em critérios de identificação das “*thrust sheets*” de Boyer e Elliot (1982) classificou o Grupo Canastra como pertencente ao Sistema de Cavalcamento Ilicínea-Piumhi, o qual está empurrado sobre a cobertura autóctone neoproterozóica denominada como Grupo Bambuí e esta cavalgada pelos metassedimentos da Nappe de Passos, diferindo desta por estar associada a um

encurtamento crustal em níveis relativamente mais rasos face ao baixo grau metamórfico e pelas numerosas falhas de empurrão internas.

Simões e Valeriano (1990), Simões (1995), Valeriano (1999) classificaram esse mesmo sistema de cavalgamentos como pertencente ao Domínio Alóctone Externo (DAE) da Faixa Brasília. Valeriano et al. (1995) discriminaram para o (DAE) 6 escamas tectônicas no setor norte, sendo que a unidade aqui tratada corresponde a escama IV (vide Tabela 3).

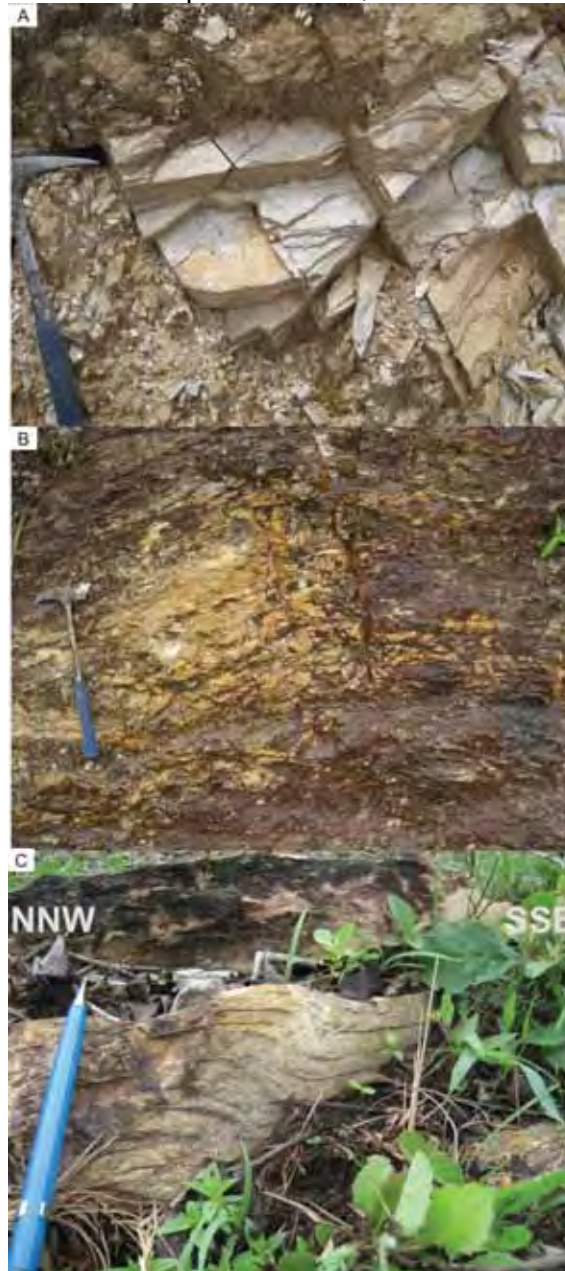
Sua constituição litológica é definida por camadas de quartzito branco, fino a médio, com lâminas de minerais micáceos, foliação milonítica e dobras suaves (Figura 38 A e B) e lineação de estiramento com rumo N, NE e E. Associada à deformação dúctil ocorrem dobras parasíticas assimétricas tipo “Z” (Figura 38 C).

As feições petrográficas das rochas desta unidade guardam semelhanças com a dos quartzitos aflorantes na crista da serra da Gabiroba, porém neste trabalho foram tratadas como unidades diferentes, visto que as correlações estratigráficas entre as mesmas não são evidentes no campo.

Os quartzitos foliados do Grupo Canastra, na área de estudo, apresentam foliação penetrativa contínua fina gerada por cristais de quartzo e sericita recristalizados e orientados. A mineralogia é constituída essencialmente de quartzo, que perfaz cerca de 90% e sericita com 10% do total, opacos e cristais de zircão são raros. O arcabouço é formado por quartzo microgranular recristalizado e grãos fração areia ovóides a lenticulares, alguns com textura sedimentar preservada (Foto 15A), outros apresentam recristalização com migração de limites (Foto 15A). Feições estas que expressam a deformação dúctil imposta à unidade durante o transporte tectônico.

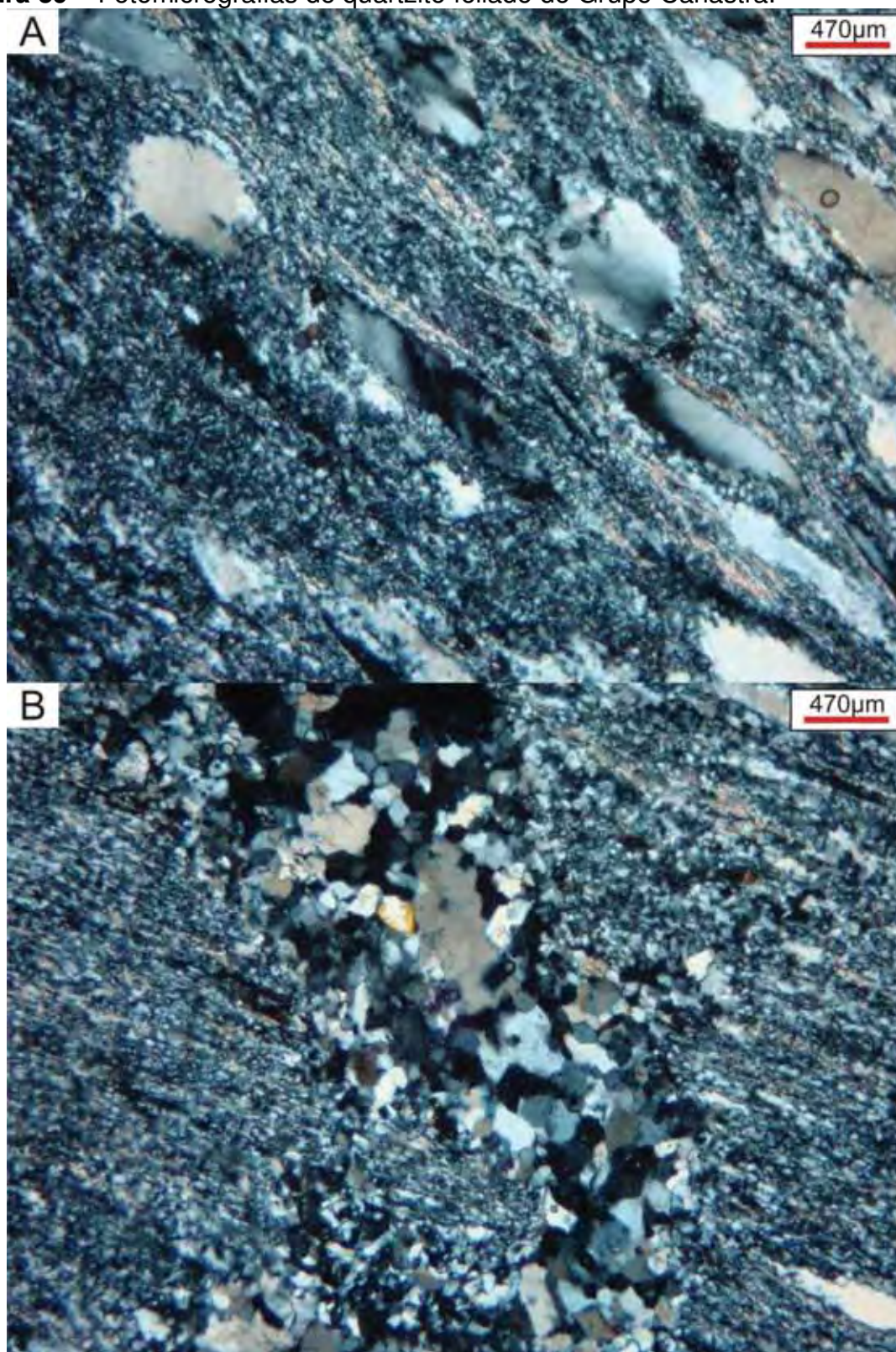
Foram observadas texturas de mobilização de sílica, tais como cristais poligonalizados de quartzo que ocorrem em microdescontinuidades, provavelmente associados à passagem de fluidos metamórficos de baixa temperatura (Figura 39 A).

Figura 38 – Quartzito do Grupo Canastra, aflorante na Serra da Pimenta.



A) Quartzito do Grupo Canastra que apresenta estrutura foliada, aflorante na Serra da Pimenta (Ponto 127). B) Afloramento de quartzito da mesma unidade mostrando dobra suave. C) Mostrando dobra assimétrica em “Z”. Aflorantes na Serra da Pimenta. Piumhi/MG.

Figura 39 – Fotomicrografias de quartzito foliado do Grupo Canastra.



A) Mostrando arcabouço com grãos de quartzo com textura sedimentar parcialmente preservada. B) Microdescontinuidade da mesma amostra preenchida por quartzo gerado por mobilização de sílica. Fotos tiradas a polaróides cruzados. Ponto 183 (apêndice A).

7.4 Horizonte Manganesífero

Associada às formações ferríferas de Piumhi ocorrem, ao longo da área mapeada e arredores, concentrações manganesíferas (Figura 40), denominadas por Fritzons Jr et al. (1980) como lentes manganesíferas. Apresenta hábito botrioidal, mineralogicamente constituída por todorokita, criptomelana, manjiroíta e quartzo. Fases minerais estas determinadas por difração de raios X (Figura. 41) que revelou a presença todorokita, criptomelana e/ou manjiroíta e quartzo.

A análise química de elementos maiores via fluorescência de raios X nesse material mostrou concentração de óxido de manganês em torno de 65,34% (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise química de elementos maiores via fluorescência de raios X. Amostra de Laterita Manganesífera coletada no ponto 56 (Apêndice A).

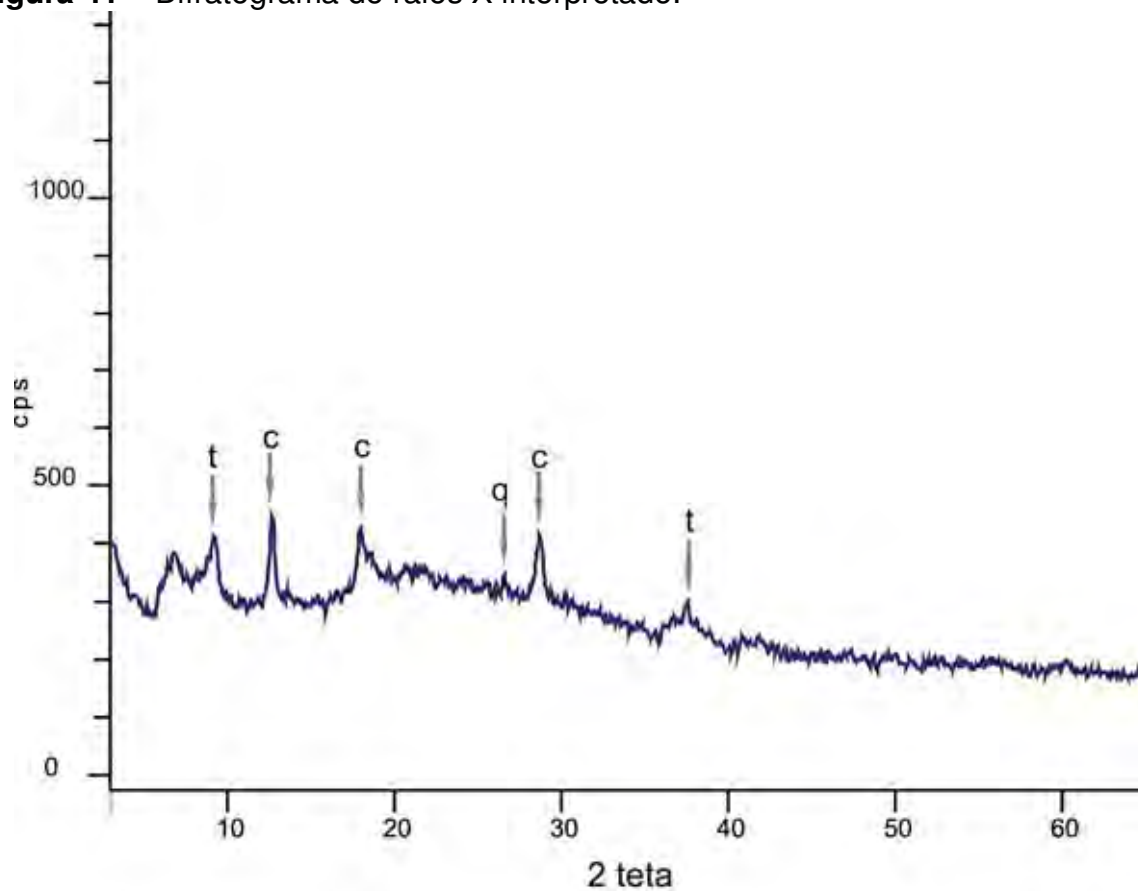
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Soma
Ponto 56	4,25	0,004	4,24	5,54	65,34	1,99	0,01	3,6	0,13	14,51	100

Figura 40 – Concentrações residuais supérgenas de óxidos de manganês associadas às formações ferríferas bandadas.



Ponto 56 – apêndice 1. Neste ponto, sotoposto a estes blocos, ocorre formação ferrífera bandada.

As evidências de campo não permitiram delinear uma camada manganesífera no mapa geológico em. Foram encontrados blocos rolados dessas concentrações manganesíferas, cujos locais estão registrados nos mapas de pontos e geológico (Apêndices A e B). A textura característica é indicativa de concentração de manganês em ambiente supérgeno, em processo de laterização, portanto trata-se de uma rocha bem mais jovem que as demais sotopostas. Sendo assim, carecem de maiores estudos para o entendimento de suas reais dimensões, neste trabalho foi individualizado como horizonte de rocha separado das unidades mapeadas (apêndice B) em virtude de suas características descritivas.

Figura 41 – Difratoograma de raios X interpretado.

t = todorokita $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K})_2\text{Mn}_6\text{O}_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

c = criptomelana $\text{KMn}_8\text{O}_{16}$ e manjiroíta $(\text{Na}, \text{K})_2\text{Mn}_8\text{O}_{16} \cdot n\text{H}_2\text{O}$

q = quartzo SiO_2

Amostra de laterita manganésífera coletada na Serra da Gabiroba. Ponto 56 (Apêndice A).

8 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DE PIUMHI

As formações ferríferas de Piumhi de acordo com classificação proposta por James (1954) pertencem à fácies óxido. No presente trabalho, foram divididas em dois tipos petrográficos principais: maciça e bandada (Figura 42 A,B,D) sendo que para última foram discriminados dois subtipos, aqui denominadas como bandada semi-friável e bandada compacta. As do tipo bandada são predominantes em toda área estudada, apresentam bandas desde 1,5 cm até lâminas milimétricas a submilimétricas de óxidos de ferro de granulação fina, de cor cinza a vermelho intercaladas com bandas brancas quartzosas de espessura variando na mesma ordem de grandeza das bandas de óxidos. A maciça ocorre em pequenos níveis dentro da formação ferrífera bandada.

Figura 42 – Afloramentos dos tipos de formação ferrífera presentes na Serra da Gabiroba.



A) Formação Ferrífera bandada. Ponto 103. B) formação ferrífera bandada tipo semi-friável. D) formação ferrífera maciça. Ponto 49. Para localização dos pontos vide apêndice A.

As formações ferríferas de Piumhi apresentam constituição mineralógica definida essencialmente por hematita granular, localmente especular; magnetita, em alguns locais com martitização parcial a total, goethita e quartzo microgranular recristalizado.

8.1 Formação Ferrífera Bandada Semi-Friável

Apresenta fácil fragmentação a golpes de martelo, devido a presença de plaquetas de muscovita/sericita e de hematita especularítica. A composição modal varia de 45 a 60% de quartzo, 10 a 45% de hematita granular; 35 a 55% de hematita especularítica, 0 a 20% de magnetita, 1 a 5% de goethita e 1 a 5% de muscovita. Este último mineral foi identificado somente nesta subfácies.

Em nível microscópico apresentam foliação penetrativa (Figura 43 A e B), de natureza milonítica, gerada pela orientação de placas/lâminas de hematita do tipo especularita, plaquetas de muscovita e quartzo, a qual é paralela ao microbandamento composicional, definido por bandas quartzosas intercaladas com bandas difusas formadas por quartzo e óxido de ferro ripiforme a laminar interpenetrados (na seção polida). Microdobras assimétricas, juntas e microfalhas de extensão são comuns (Figura 43 C e D). O contato das bandas de óxido de ferro com o quartzo é irregular, localmente denteado a engrenado e, mais frequentemente, reto paralelo à foliação (Figura 43 E)

Os cristais de magnetita são predominantemente euédricos, octaédricos, com granulação média de 100 um, porém ocorrem cristais de até 250 um. A martitização ocorre em vários estágios, desde incipiente a total. Associada este processo ocorre geração de micro a cripto poros, sendo que nos cristais que exibem estágios avançados de martitização foi observado que a microporosidade é maior (Figura 44 A e B).

A hematita apresenta dois hábitos, um do tipo granular subeuédrica a anedral, gerada a partir da martitização total da magnetita. Também ocorre a variedade especularítica (Figura 43 B).

O quartzo exibe dois tipos texturais: na forma de cristais paralelos à foliação principal, com até 100 μm formando “*ribbons*”, devido à recristalização por migração de limites; e na forma poligonalizada, cujos contatos retos em junções tríplices em sombras de pressão de cristais rotacionados de magnetita (Figura 46 A e B).

A muscovita ocorre como palhetas tabulares, com aspecto acicular na seção de corte perpendicular a foliação e paralelo a lineação, de até 80 um de comprimento, disseminada e orientada paralelamente a foliação principal. A goethita ocorre na forma de auréolas de alteração em cristais de martita, nos interstícios dos cristais de quartzo e como preenchimento de microdescontinuidades (Figura 45).

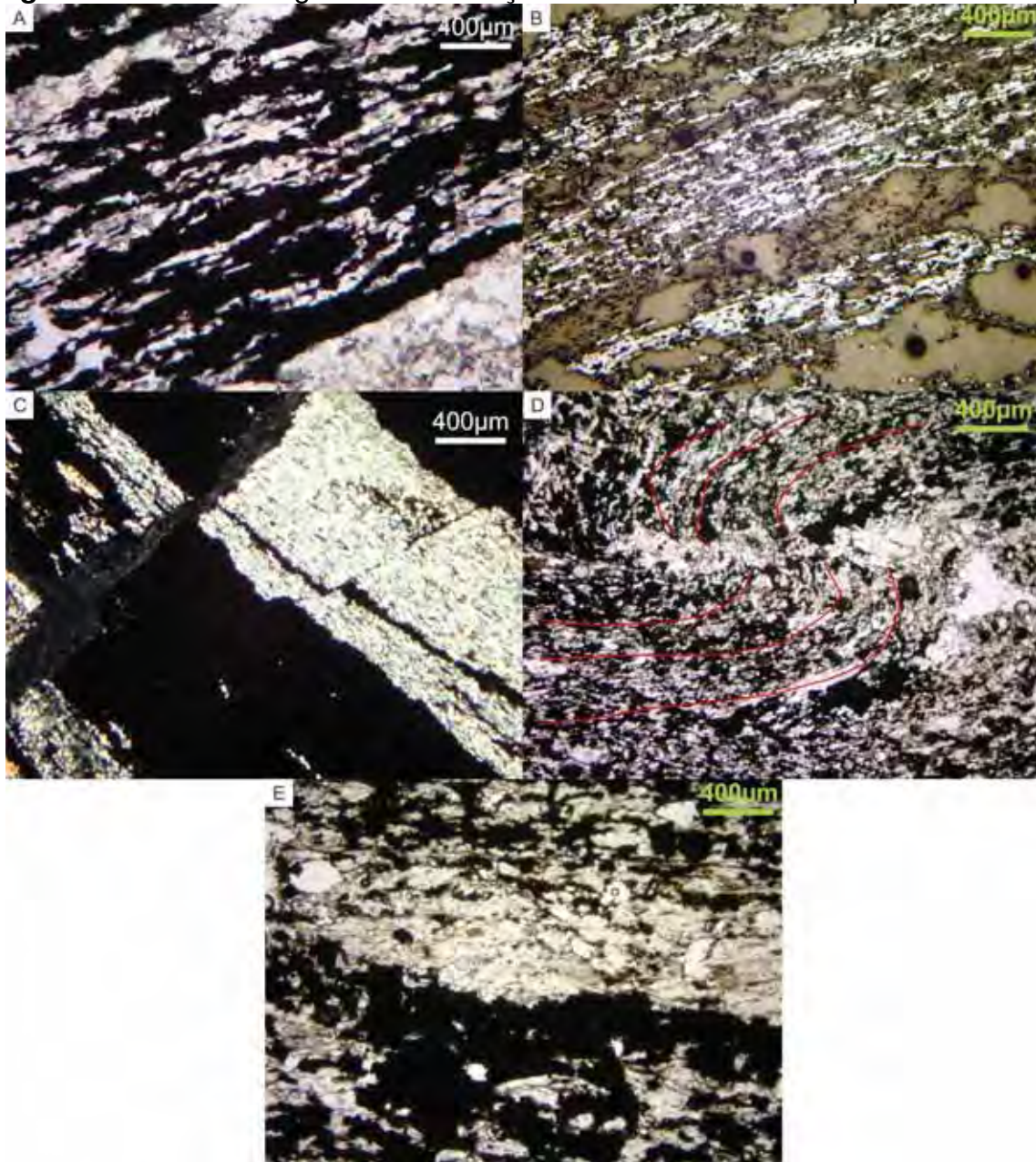
A granulometria dos cristais de hematita e magnetita exerce importante influência no aproveitamento econômico de formações ferríferas bandadas. Pois tal parâmetro interfere diretamente em algumas etapas do beneficiamento mineral, tais como britagem, moagem e ensaios de concentração magnética, gravimétrica ou flotação.

Neste aspecto, as análises petrográficas, focadas em determinar o tamanho dos cristais de óxidos de ferro, permitiram definir 5 faixas granulométricas “*in loco*” que os cristais de óxido e hidróxido de ferro exibem (vide Tabela 5). Cerca de 24,5% dos cristais de martita ocorrem na faixa de 200 a 450 μm ; 22,7% dos cristais de hematita granular, especularita e de martita ocorrem entre 80 a 150 μm ; com 40 μm ocorrem de 35,05 % dos cristais opacos, dentre os quais a martita e especularita são predominantes; a faixa de 20 μm perfaz de 12, 3% dos cristais de martita e hematita granular, e por fim, na faixa inferior a 10 μm ocorrem cerca de 5,2% a 10% dos cristais, os quais são predominantemente de hematita granular porém a especularita também ocorre. Estes dados percentuais foram obtidos a partir da média da porcentagem modal de cada fase mineral estimada visualmente em cada faixa granulométrica de todas as amostras de formação ferrífera analisada petrograficamente, recalculadas a 100%.

Tabela 5 – Distribuição granulométrica estimada in natura da formação ferrífera bandada semi-friável de Piumhi/MG.

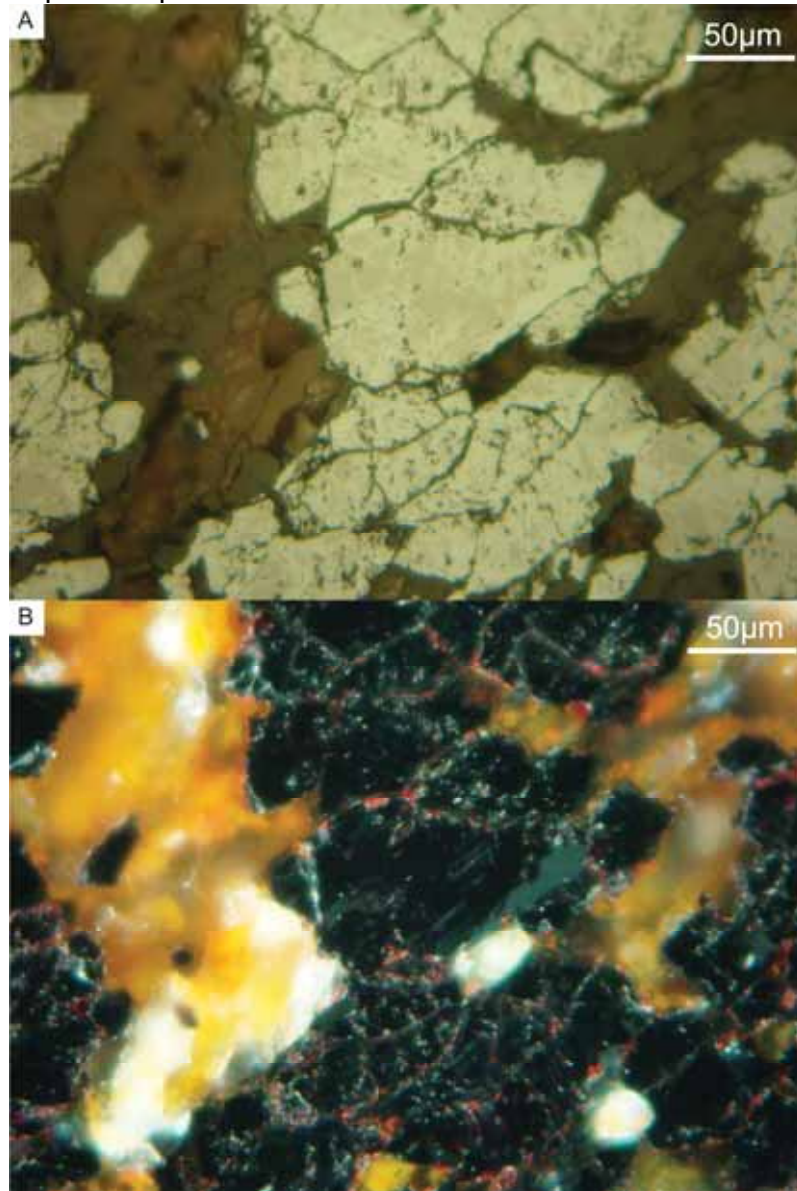
faixa granulométrica em μm	%	magnetita/martita	hematita granular	especularita
200 a 450	24,5	presente	ausente	ausente
150 a 80	22,7	presente	presente	presente
40	35,05	presente	ausente	presente
20	12,3	presente	presente	ausente
<10	5,2	ausente	presente	presente

Figura 43 – Fotomicrografias de formação ferrífera bandada subtipo semi-friável.



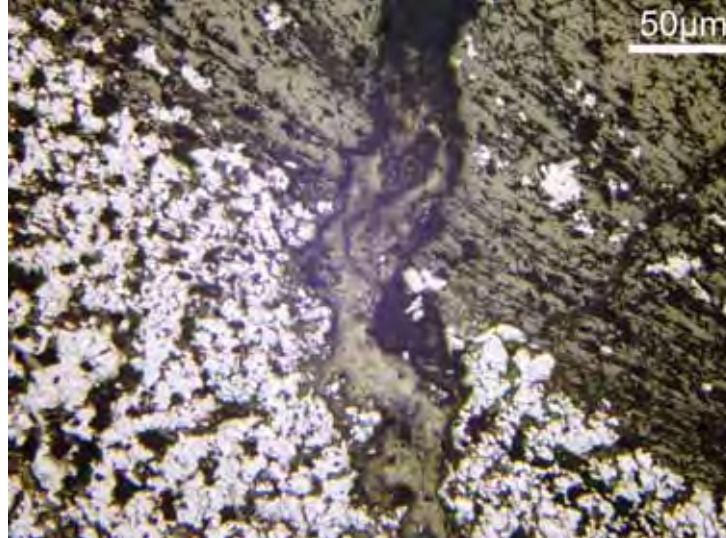
A) mostra foliação milonítica dada pela orientação de cristais recristalizados de quartzo e óxido de ferro. Luz transmitida e polaróides paralelos. Grupo Lavapés. Ponto 86. B) mostra microbandamento composição dada por bandas formadas por plaquetas de especularita intercaladas com bandas de quartzo. Cabe ressaltar que nas bandas especularíticas também ocorre cristais de quartzo interpenetrados com especularita. Luz refletida e polaróides paralelos. Grupo Lavapés. Ponto 86. C) exhibe microfalha. Luz transmitida e polaróides paralelos. Grupo Lavapés. Ponto 88. D) Os traços em vermelho indicam microdobras de arrasto na formação ferrífera. Luz transmitida e polaróides paralelos. Ponto 29. E) relações de contato localmente denteado entre quartzo e martita. Nas bandas de óxido de ferro ocorrem grãos de quartzo aprisionados na banda preta. Luz transmitida e polaróides paralelos. Grupo Lavapés. Ponto 87. Para localização dos pontos vide apêndice I.

Figura 44 – Fotomicrografia com luz refletida da formação ferrífera bandada semi-friável que mostra cristais de martita contendo micro a criptoporos disseminados e restos de magnetita (manchas rosadas difusas). Grupo Lavapés.



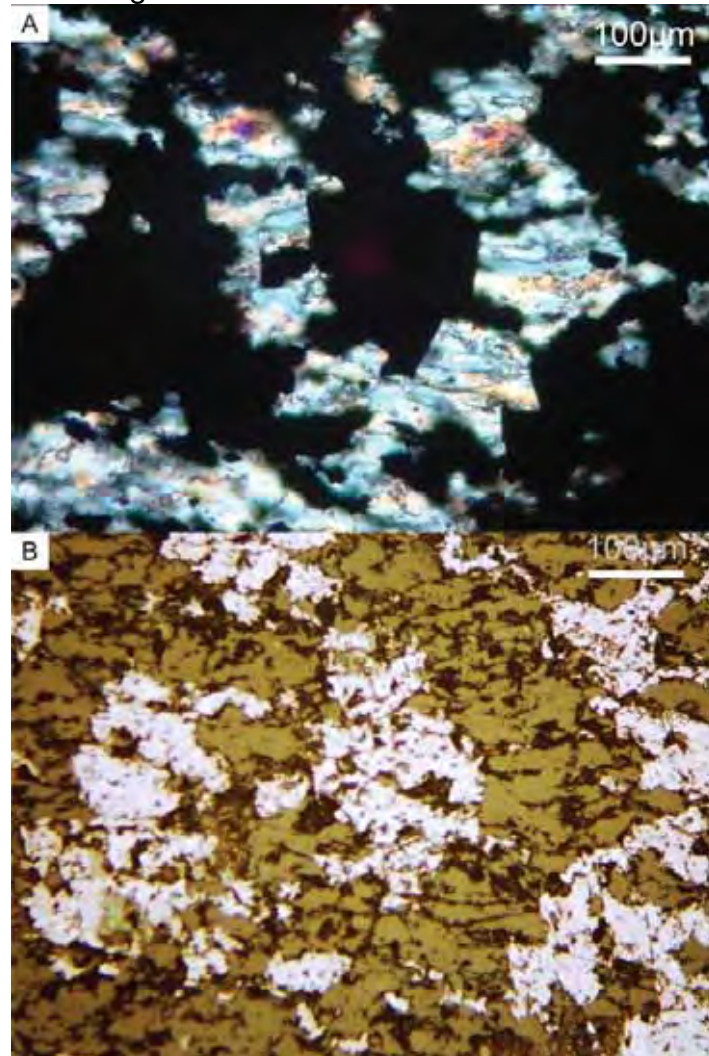
A) Polaróides paralelos. B) Luz transmitida e polaróides cruzados ressaltando as terminações delgadas de hematita (pontuações vermelho fogo) e a presença de películas de goethita/hidróxidos de ferro entre/sobre os cristais de quartzo. Para localização do ponto vide apêndice I.

Figura 45 – Fotomicrografia com luz refletida da formação ferrífera bandada subtipo semi-friável que mostra no centro da foto microdescontinuidade preenchida por goethita, decorrente de remobilização supérgena.



Grupo Lavapés. Ponto 48. Para localização do ponto vide apêndice I

Figura 46 – Fotomicrografias de formação ferrífera subtipo semi-friável que mostra no centro da foto cristal de magnetita com sombras de pressão constituídas de quartzo com crescimento perpendicular as paredes do cristal de magnetita.



A) luz transmitida a polaróides cruzados. B) luz refletida a polaróides paralelos. Grupo Lavapés. Ponto 87. Para localização dos pontos vide apêndice I.

8.2 Formação Ferrífera Bandada Compacta

Apresenta 40 a 55% de quartzo, 15 a 45% hematita, 5 a 35 % de magnetita e 5 a 10% de goethita. A hematita especularítica só foi observada em níveis restritos, predominantemente foliados.

A martitização, assim como no subtipo semi-friável, está presente, porém aqui em estágio relativamente mais avançado e, assim como no primeiro ocorre micro a cripto poros disseminados nos cristais de óxidos de ferro (Figura 47 A e B).

O *fabric* é definido por foliação milonítica com microdobras abertas assimétricas e deformação rúptil superposta, dada por microfalhas e juntas. Os opacos são formados por cristais de magnetita parcial a total martitizados (Figura 48 A e B) com hábito anedral, concentrados em bandas de até 600 μm de espessura com raras micro-inclusões de quartzo. Em pequenas porções ocorre formação de especularita, decorrente da deformação dúctil. O contato das bandas opacas com o quartzo é irregular, localmente denteado, porém o contato reto e paralelo à foliação é predominante.

O quartzo ocorre formando bandas quartzosas e, interpenetrado aos cristais de óxidos de ferro ao longo das bandas opacas (Figura 47 A e B), com granulometria da ordem de 40 a 150 μm . Exibe recristalização metamórfica com migração de limites, está orientado unidirecionalmente, sendo que consiste no principal elemento gerador da foliação observada.

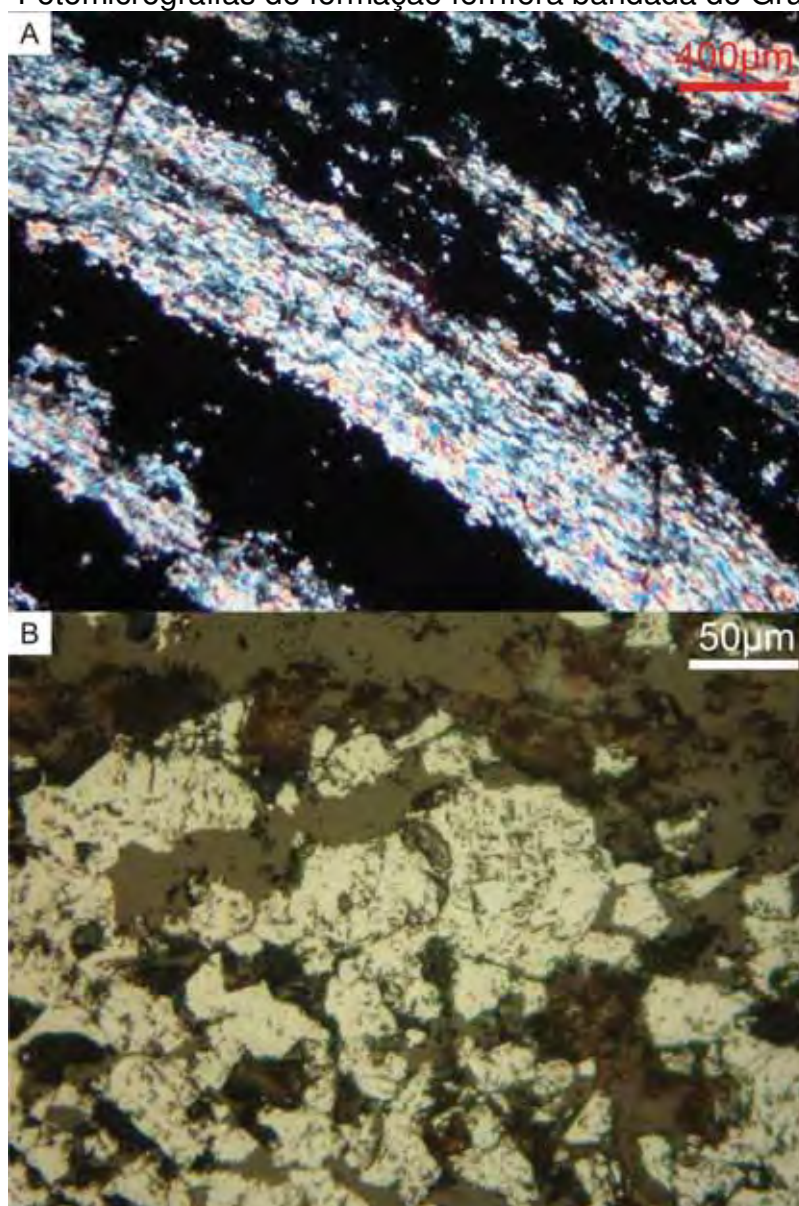
A goethita ocorre na forma de material de preenchimento de fraturas abertas e formando borda de alteração em cristais de martita.

A partir da análise petrográfica “*in loco*” dos óxidos de ferro na formação ferrífera bandada compacta, foram definidas 4 faixas granulométricas, as quais são: 250 a 100 μm que perfaz cerca de 30 a 35% do cristais de hematita granular, martita e goethita; de 80 a 40 μm ocorrem 20% dos mesmos; de 40 a 20 μm varia de 20 a 80%; com granulometria inferior a 10 μm ocorrem de 15 a 20% dos óxidos e hidróxidos de ferro. Estes resultados estão sumarizados na Tabela 6. O procedimento para obtenção destes dados foi mesmo utilizado para subfácies semi-friável. Na qual os dados percentuais foram obtidos a partir da média da porcentagem modal de cada fase mineral estimada visualmente em cada faixa granulométrica, de todas as amostras de formação ferrífera analisada e recalculada a 100%.

Tabela 6 – Distribuição granulométrica estimada in loco da formação ferrífera bandada compacta de Piumhi/MG.

faixa gran. em μm	%	magnetita/martita	hematita granular	especularita	goethita
250 a 100	27,07	presente	presente	ausente	presente
80 a 40	16,66	presente	presente	ausente	presente
40 a 20	41,65	presente	presente	presente	presente
<10	14,57	presente	presente	presente	presente

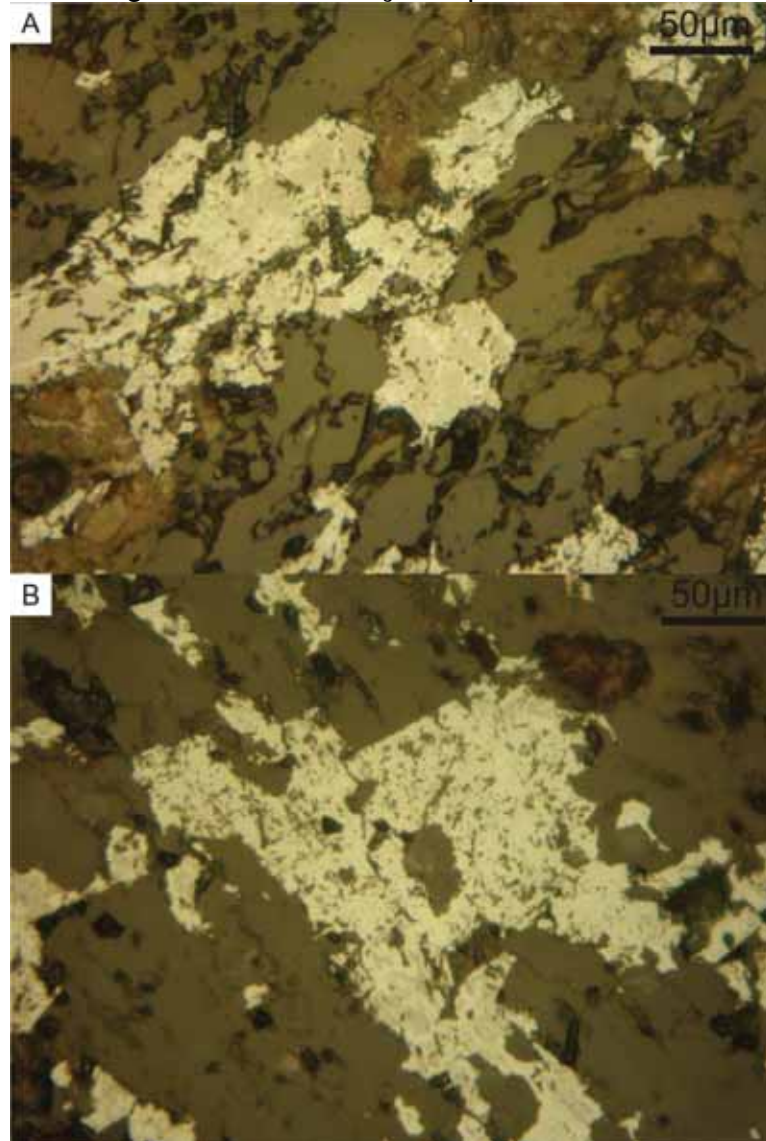
Figura 47 – Fotomicrografias de formação ferrífera bandada do Grupo Lavapés.



A) mostra quartzo recrystalizado em bandas quartzosas e interpenetrado com óxidos de ferro nas bandas opacas. Luz transmitida a polaróides cruzados. Ponto 58. B) Cristais de magnetita totalmente martitizados com micro a criptoporos disseminados.

Luz refletida a polaróides paralelos. Ponto 58. C) Martita transformada parcialmente em goethita. Luz refletida a nicóis paralelos. Go= goethita, Mt=martita. Ponto 64. Para localização dos pontos vide apêndice I.

Figura 48 – Fotomicrografias de formação ferrífera bandada do Grupo Lavapés com diferentes graus de martitização e porosidade.



A) formação ferrífera bandada compacta fracamente martitizada (magnetita com lamelas e manchas de hematita) pobre em poros disseminados. Ponto 87. B) formação ferrífera bandada compacta fortemente martitizada rica em poros. Ponto 64. Ambas fotos tiradas com luz refletida a polaróides descruzados.

8.3 Formação Ferrífera Maciça

Diferentemente dos dois subtipos descritos acima, esta apresenta um fabric sem orientação preferencial, mineralogicamente composto essencialmente por 20 % de hematita, 20 a 25% de magnetita e 45 a 55% de goethita.

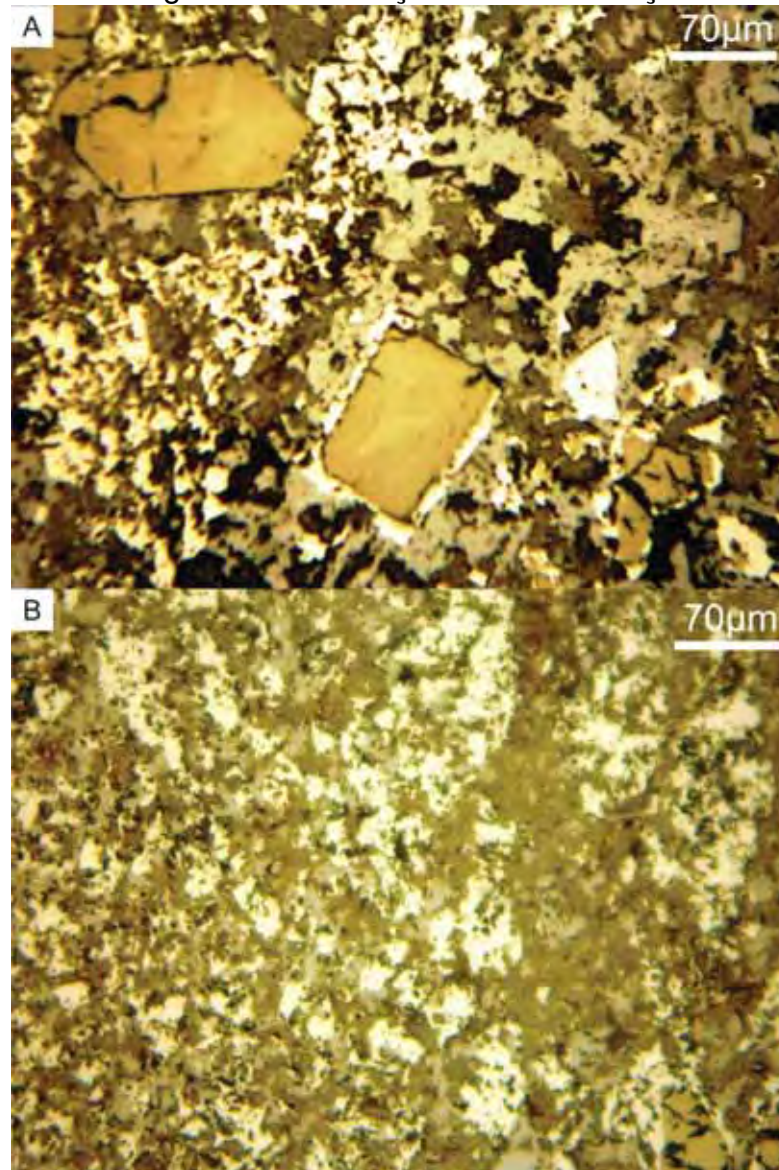
A magnetita nesta fácies ocorre na forma de cristais euédricos com faces octaédricas de até 250 μm , sem sinais de martitização e apresenta tom acastanhado (Figura 49 A), disseminados numa matriz formada por hematita anedral com terminações irregulares, em alguns locais intercrescida com goethita (Figura 49 B), esta também ocorre na borda de cristais de magnetita e hematita, sugerindo ser produto de alteração desses cristais.

A análise da distribuição granulométrica *in loco* dos óxidos e hidróxidos de ferro permitiu definir 4 faixas granulométricas: 250 a 100 μm , 80 a 40 μm , 40 a 20 e inferior a 10 μm , as quais estão sintetizadas na Tabela 7. O procedimento para obtenção dos percentuais foi o mesmo que o apresentado para as subfácies semi-friável e compacta.

Tabela 7 – Distribuição granulométrica estimada *in loco* da formação ferrífera maciça de Piumhi/MG.

faixa granulométrica em μm	%	magnetita/martita	hematita granular	goethita
250 a 100	13,63	presente	ausente	presente
80 a 40	18,18	presente	ausente	presente
40 a 20	54,54	ausente	presente	presente
<10	13,63	ausente	presente	presente

Figura 49 – Fotomicrografias de formação ferrífera maciça do Grupo Lavapés.



A) cristais euédricos de magnetita sem sinais de martitização. B) cristais anedrais de hematita intercrescidos com goethita. Ponto 63. Para localização do ponto vide apêndice A.

9 LITOQUÍMICA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DE PIUMHI

Formações ferríferas, por se tratarem de sedimentos químicos, suas características litogeoquímicas fornecem importantes informações a respeito do ambiente deposicional e contexto geotectônico no qual se formaram. Por esta razão, guardam evidências da fonte metalífera da qual o ferro é oriundo.

Estudos de caracterização química de formações ferríferas foram pioneiramente elaborados por James (1966) e posteriormente Eichler (1969, 1970) os quais fizeram análises comparativas dos elementos maiores entre as fácies óxido, silicato, carbonato e sulfeto das formações ferríferas, propostas por James (1954).

De modo geral, diferentes tipos de formações ferríferas mostram grande homogeneidade quanto à composição de elementos maiores, menores e traços, sendo que variações relativamente pequenas são interpretadas como resultantes de variações mineralógicas e ou das condições metamórficas em que foram submetidas.

Foram analisadas 10 amostras de formação ferrífera em elementos maiores, menores e traços, entre as quais 1 é do tipo maciça, 3 do tipo compacta e 6 do tipo semi-friável. Entre os elementos maiores, expressos na forma de óxidos, foram estudados os seguintes: SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 e TiO_2 obtidos via ICP.

Os estudo geoquímico de elementos maiores, via de regra, é usado basicamente para três finalidades: classificação de rochas, para elaboração de diagramas de variação e para determinação da composição de rochas experimentalmente daquelas em que são conhecidas as condições físico-químicas de formação (ROLLINSON 1993). Neste tópico do trabalho pretende-se apresentar os dados percentuais dos elementos maiores obtidos das formações ferríferas de Piumhi em diagramas de variação binária.

Nas amostras estudadas a soma de $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ apresentou valores percentuais de 81,39 a 98,59 dos óxidos totais, valores estes bastantes semelhantes aos obtidos por Fernandes (2002) que mostrou valores entre 82,30 e 99,16% para as formações ferríferas de Piumhi, o que confere variações pouco significativas. Ao separarem-se as subfácies petrográficas com seus respectivos valores desta soma, as diferenças apresentam o mesmo resultado. Pois na subfácies maciça tem-se 81,38; na semi-friável 95,79 a 98,59 e para compacta, 96,04 a 98,08 (Vide Tabela 8).

Tabela 8 – Análise litogeoquímica de elementos maiores expressos em porcentagem (%) de amostras das formações ferríferas de Piumhi, aflorantes na Serra da Gabiroba.

Amostra	Subfácies	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + SiO ₂
54	semi-friável	0,56	0,02	0,16	33,45	0,04	0,77	63,71	0.008	97,16
57	compacta	0,02	0,06	0,09	48,96	0,06	0,64	47,08	0.031	96,04
61	semi-friável	0	0,25	0,12	35,01	0,03	1,55	61,96	0.036	96,97
63	semi-friável	0	0,04	0,06	46,46	0,03	0,79	50,24	0.100	96,7
67	compacta	0	0,01	0,17	41,23	0,02	0,46	56,13	0.013	97,36
78	maciça	0,35	0,05	0,19	2,31	0,12	3,23	79,08	7.706	81,39
79	compacta	0	0,02	0,04	39,7	0,02	0,45	58,1	0.016	97,8
86	semi-friável	0	0,12	0,02	38,72	0,01	0,36	59,87	0.041	98,59
106	semi-friável	0	0,24	0,1	41,14	0,01	0,41	56,94	0.023	98,08
28	semi-friável	0,01	0,02	0,2	36,29	0,02	0,57	59,5	0.021	95,79

Em termos de SiO_2 a subfácies semi-friável é ligeiramente mais pobre em quartzo que a compacta, pois varia de 33,45 a 46,46%, a compacta de 41,14 a 48,96% e a maciça, como era de se esperar, apresenta o valor mais baixo de todas, da ordem de 2,31%. Para $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{Total}}$ a subfácies semi-friável é mais rica que a compacta, apresenta valores entre 50,24 a 63,71% enquanto que a compacta varia entre 47,08 a 56,94, entretanto a mais rica em óxido de ferro é a subfácies maciça, com 79,08%, o que está em acordo com os dados petrográficos obtidos da mesma.

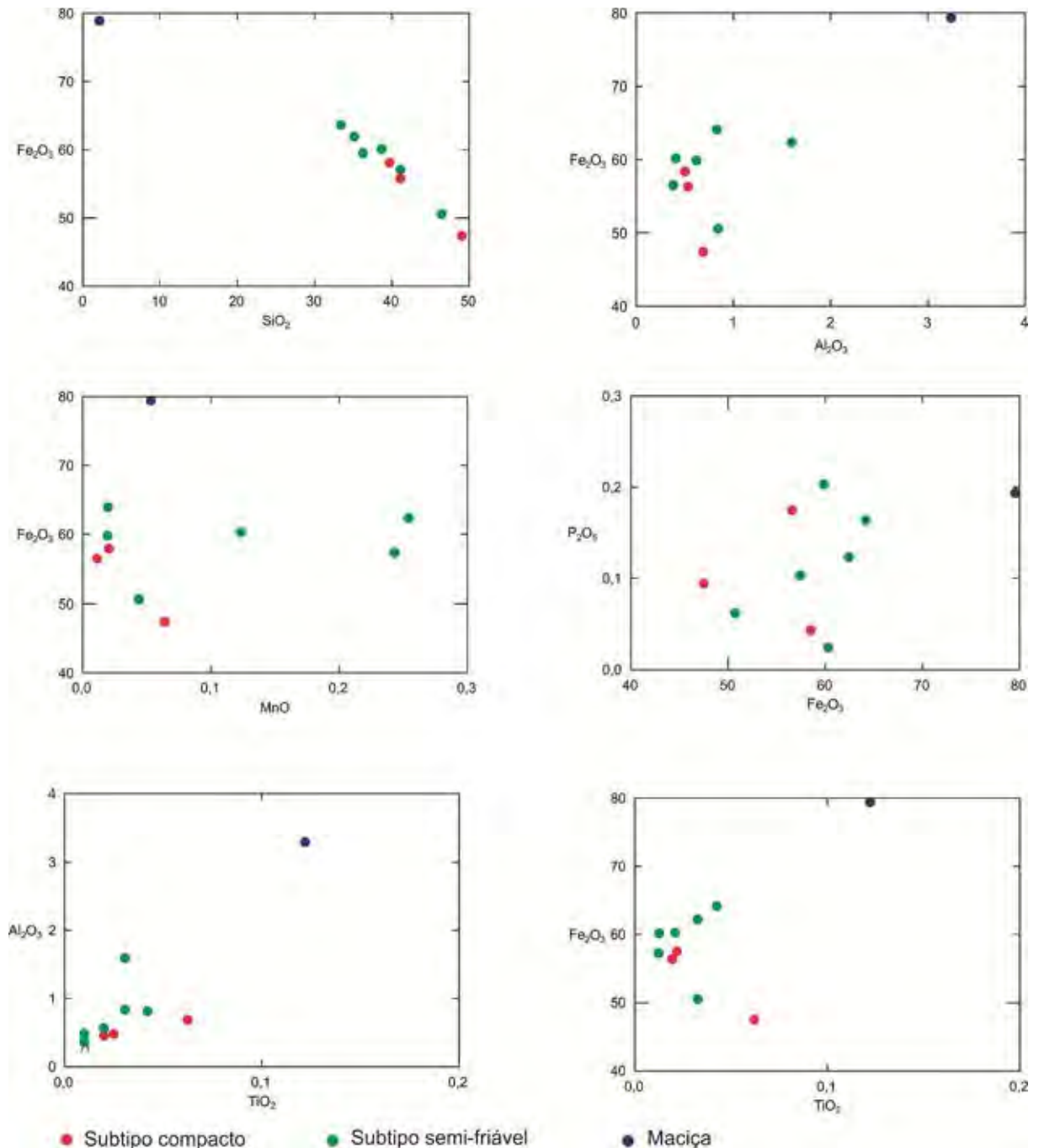
Merece destaque em algumas amostras a presença de óxido de cromo que apresenta valores entre 0,008 e 0,100% na subfácies friável, 0,016 e 0,031 % na compacta e 7,7% para maciça, valores estes não convencionais para formações ferríferas fácies óxido, assim como o Al_2O_3 está acima do observado em outras

formações ferríferas de outros locais do mundo. O P_2O_5 apresentam normalidade em relação à média determinada para BIF's fácies óxido, na medida em que todas as amostras analisadas apresentam percentuais inferiores a 0,2.

Os elementos maiores plotados em diagramas binários das formações ferríferas bandadas de Piumhi apresentam algumas tendências (Figura 50). A relação SiO_2 vs Fe_2O_3 apresenta correlação linear negativa, pois o teor em Fe_2O_3 cresce inversamente proporcional ao de SiO_2 (Figura 50).

Os diagramas Fe_2O_3 vs MnO , P_2O_5 vs Fe_2O_3 e Fe_2O_3 vs Al_2O_3 não apresentam tendências, entretanto Al_2O_3 vs TiO_2 mostra discreta correlação linear positiva, e por fim, o diagrama Fe_2O_3 vs TiO_2 exibe dois grupos de amostras: um com correlação linear positiva e outro negativa. Merece destaque o padrão gráfico da amostra em azul, pertencente à subfácies maciça que em todos os diagramas mostra-se afastada das demais, devido ao alto teor em Fe_2O_3 e por ser no mínimo duas vezes mais rica em Al_2O_3 e TiO_2 (Figura 50). O fato de todas as amostras do subtipos semi-friável e compacto apresentarem algum teor em Cr e relativa alta concentração deste elemento no tipo maciço (amostra do ponto 78 – apêndice I e IV), adicionado aos teores significantes de Ni nas amostras do ponto 78 e 106 (vide apêndice IV), atestam possível contruibuição de fluidos de filiação magmática máfica/ultramáfica na gênese das formações ferríferas de Piumhi.

Figura 50 – Diagramas de variação binária de elementos maiores das formações ferríferas bandadas de Piumhi/MG, aflorantes na serra da Gabiroba.



Fonte: Figura elaborada pelo autor da dissertação (2011).

Estudos realizados por Clout (1998) revelaram que certos elementos químicos presentes no minério de ferro em determinadas proporções podem afetar os processos de sinterização e pelletização, da seguinte forma:

- Álcalis (acima de 0,09%) – abaixa o ponto de fusão na redução;
- Alumina (Al_2O_3 acima de 2,8%) – aumenta a viscosidade do fundido e, por consequência, aumenta o consumo dos fornos;
- Sílica (acima de 5%) – afeta a redução, exigindo maior teor carbono no processo;

Pela análise das amostras da tabela 6 pode ser verificado que em termos de alumina, somente o tipo maciço apresenta teor acima de 2,8%. O teor médio em sílica nos tipos semi-friável e bandado é da ordem de 36%. Portanto, estes tipos de minério para serem levados a alto forno para redução necessitam de testes de beneficiamento a fim se direcionar a melhor rota de processos a fim de reduzir a sílica dos mesmos a um teor inferior a 5%.

10 ENSAIOS DE BENEFICAMENTO

O primeiro texto que se constitui em instrumento de referência sobre bens minerais foi publicado em 1556 por Agrícola. Neste, já há registro da utilização do moinho tipo pilão movido à água, o que representa uma concentração gravítica através da calha e em leito pulsante, obtido com auxílio de peneira em forma de cesta, o que pode ser definido como um jigue primitivo. A partir do século XVIII com a invenção da máquina a vapor, que marcou o início da revolução industrial, ocorreram significativas inovações na área de tratamento de minérios.

Frequentemente um bem mineral não pode ser utilizado logo em seguida da sua extração. Quando o aproveitamento de um bem mineral vai desde a concentração até a extração do metal, a primeira operação traz vantagens econômicas à metalurgia, devido ao descarte de massa do rejeito.

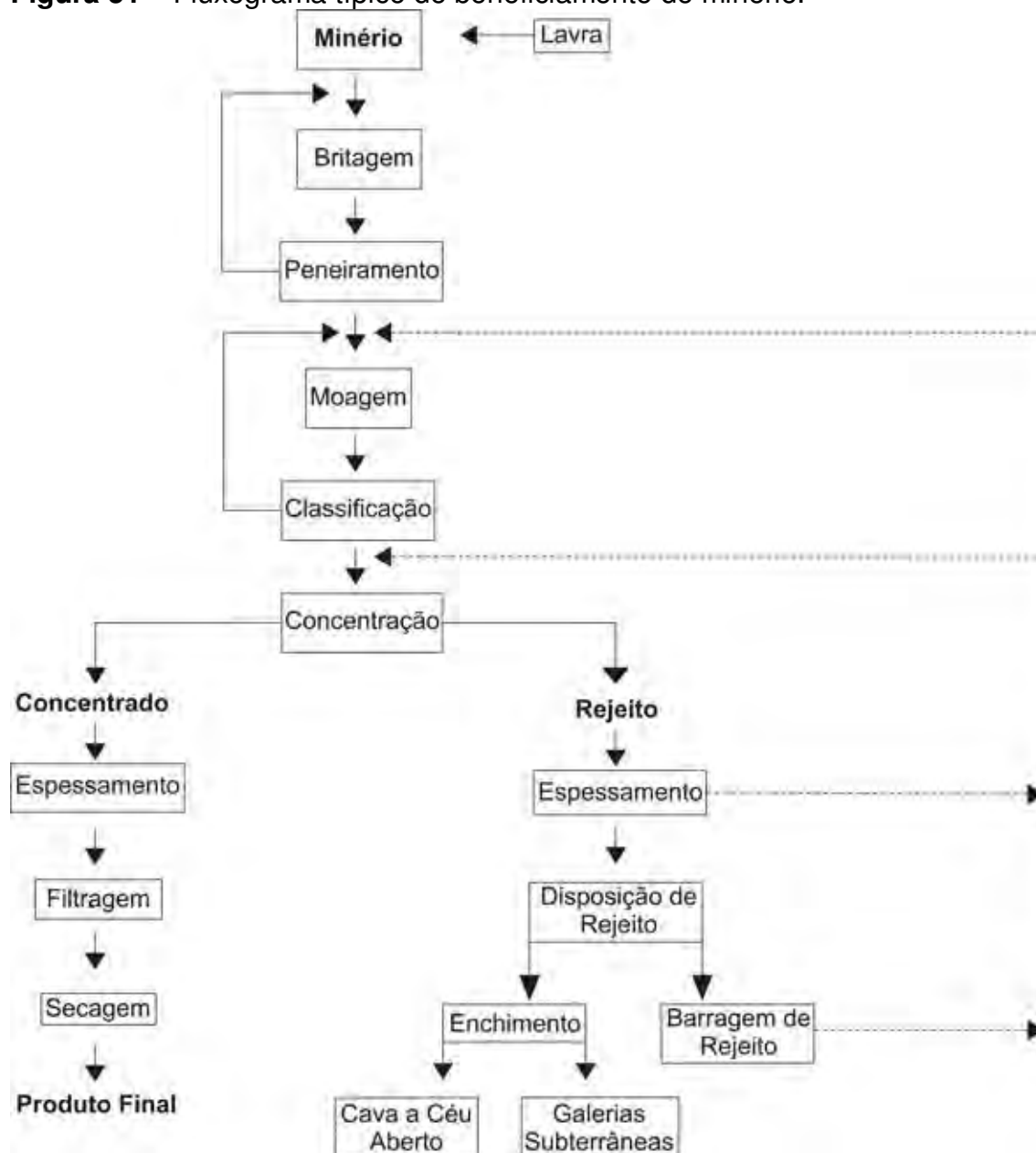
O tratamento ou beneficiamento de minérios consiste de operações, aplicada aos bens minerais, com intuito de modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem modificar a identidade química ou física dos minerais (BENVINDO DA LUZ & LINS 2002). Há autores que defendem o conceito mais amplo, abrangendo mudanças químicas resultantes de decomposição térmica ou mesmo de reações típicas geradas pelo calor. A Figura 51 mostra um fluxograma típico de beneficiamento de minério.

Em se tratando de minério de ferro, os produtos finais gerados nas usinas de beneficiamento ocorrem basicamente em três faixas granulométricas, as quais podem ter diferenças a depender da usina produtora e das características do minério:

- WLO (washed lump ore), minério granulado entre 31,5 e 6,3 mm. Para consumo em altos-fornos;
- Sinter feed, representa a faixa granulométrica de 6,3 a 0,1 mm para sinterização;

- Pellet feed, concentrado abaixo de 0,1 mm, utilizado na produção de pelotas para alto forno (SCHNELLRATH et al. 2001).

Com base nas características mineralógicas e texturais das formações ferríferas de Piumhi foram realizados três ensaios de beneficiamentos: britagem manual, peneiramento, a fim de se obter a distribuição granulométrica das mesmas, e ensaios de concentração magnética, cujos resultados levantam hipóteses para o qual produto final poderia ser gerado a partir das amostras tratadas no presente estudo.

Figura 51 – Fluxograma típico de beneficiamento de minério.

Fonte: Benvindo da Luz & Lins (2002).

10.1 Distribuição Granulométrica das Formações Ferríferas Bandadas de Piumhi

Para um minério ser concentrado é necessário que seus constituintes minerais estejam liberados. Isto implica que uma partícula deve apresentar, idealmente, uma única fase mineral. Para se obter a liberação, o minério é submetido a uma redução de tamanho por britagem e, a depender das

características mineralógicas e texturais, em seguida deve passar por moagem, cujas partículas podem variar de centímetros até micrometros.

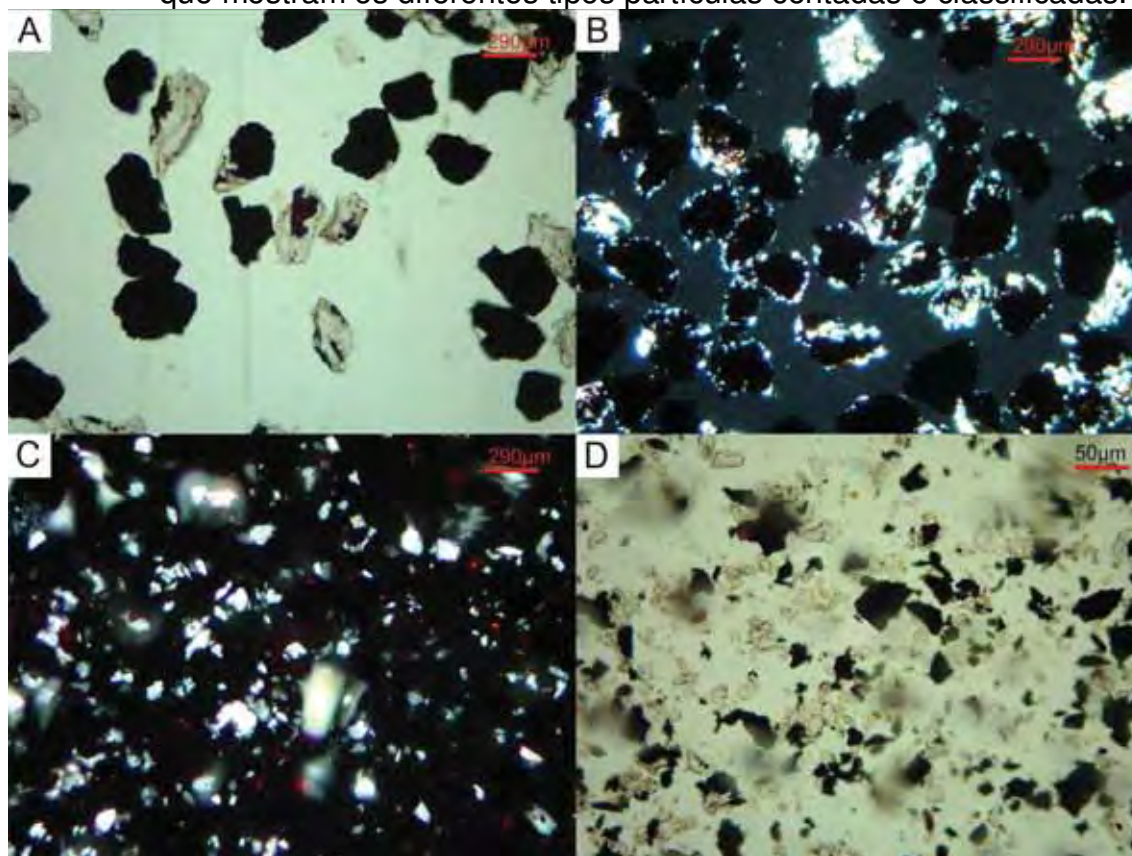
Para a verificação do grau de liberação das partículas de óxido de ferro dos subtipos petrográficos das formações ferríferas de Piumhi foram britadas 4 amostras, sendo 2 do subtipo friável e 2 do compacto, em seguida peneiradas com peneiras de 6 aberturas diferentes para posterior contagem dos grãos (para detalhamento do procedimento ver capítulo 2 – Materiais e Métodos). Para cada amostra foram contadas cerca de 1000 partículas e foram separadas segundo 5 categorias (foto 25):

- Óxido livre= partículas completamente desprovidas de quartzo.
- Quartzo livre=partículas completamente desprovidas de óxido de ferro.
- Mista= partículas formadas pela duas fases minerais. De forma que ocupam aproximadamente o mesmo volume na partícula ;
- Quartzo com pinta de óxido= partículas em que há predominância de quartzo em relação a óxido de ferro;
- Óxido com pinta de quartzo= partículas em que há predominância de óxido de ferro em relação ao quartzo.

. Os resultados mostram que a maior massa britada e moída se concentra na granulometria inferior a 325 mesh em todas as amostras e nessa mesma faixa granulométrica ocorre o maior número de partículas livres de óxido e de quartzo (Tabelas 9, 10, 11 e 12).

Do ponto de vista microscópico a liberação do quartzo intercrescido aos cristais de hematita e martita aumenta quanto menor a dimensão das partículas após a moagem, porém, mesmo na faixa granulométrica inferior a 325 mesh a liberação não é total, pois ocorre considerável número de partículas mistas, de óxido com pinta de quartzo e de quartzo com pinta de óxido (Figuras 52 e 53).

Figura 52 – Fotomicrografias de partículas de amostra de formação ferrífera moída que mostram os diferentes tipos partículas contadas e classificadas.



A) as duas partículas no centro da foto são do tipo mista. Foto a nicóis paralelos. B) a maioria são do tipo óxido com pinta de quartzo. Foto a nicóis cruzados. C) as partículas brancas são de quartzo livre. Foto a nicóis cruzados D) as pretas são de óxido livre. Foto a nicóis paralelos. Formação ferrífera bandada de Piumhi/MG.

Tabela 9 – Resultado da contagem e classificação de 1000 partículas da amostra do subtipo semi-friável. Amostra ponto 86 (apêndice I – mapa de pontos). Formação ferrífera bandada de Piumhi/MG.

faixas granulométricas em mesh	Nº de partículas			
	Peso (g)	% em peso	óxido livre	quartzo livre
<325	1,367	45,796	355	235
325<X<270	0,241	7,982	116	69
270<X<200	0,299	9,903	21	30
200<X<150	0,277	9,175	2	20
150<X<100	0,24	7,946	4	7
100<X<60	0,595	19,705	0	9
total	3,019	100,507		
óxido com pinta de quartzo	quartzo com pinta de óxido	mista	total	
54	125	165	934	
317	34	658	1194	
114	193	675	1033	
62	61	760	905	
53	115	830	1009	
29	76	900	1014	

Tabela 10 – Resultado da contagem e classificação de 1000 partículas da amostra do subtipo semi-friável. Amostra ponto 28 (apêndice I – mapa de pontos). Formação ferrífera bandada de Piumhi/MG.

faixas granulométricas em mesh	Nº de partículas			
	Peso (g)	% em peso	óxido livre	quartzo livre
<325	1,967	45,062	340	64
325<X<270	0,442	10,125	240	23
270<X<200	0,456	10,446	104	10
200<X<150	0,421	9,644	37	7
150<X<100	0,352	8,063	34	4
100<X<60	0,727	16,654	1	0
total	4,365	99,994		
óxido com pinta de quartzo	quartzo com pinta de óxido	mista	total	
90	105	105	704	
114	68	210	655	
112	90	480	796	
67	54	650	815	
75	9	685	807	
30	4	370	405	

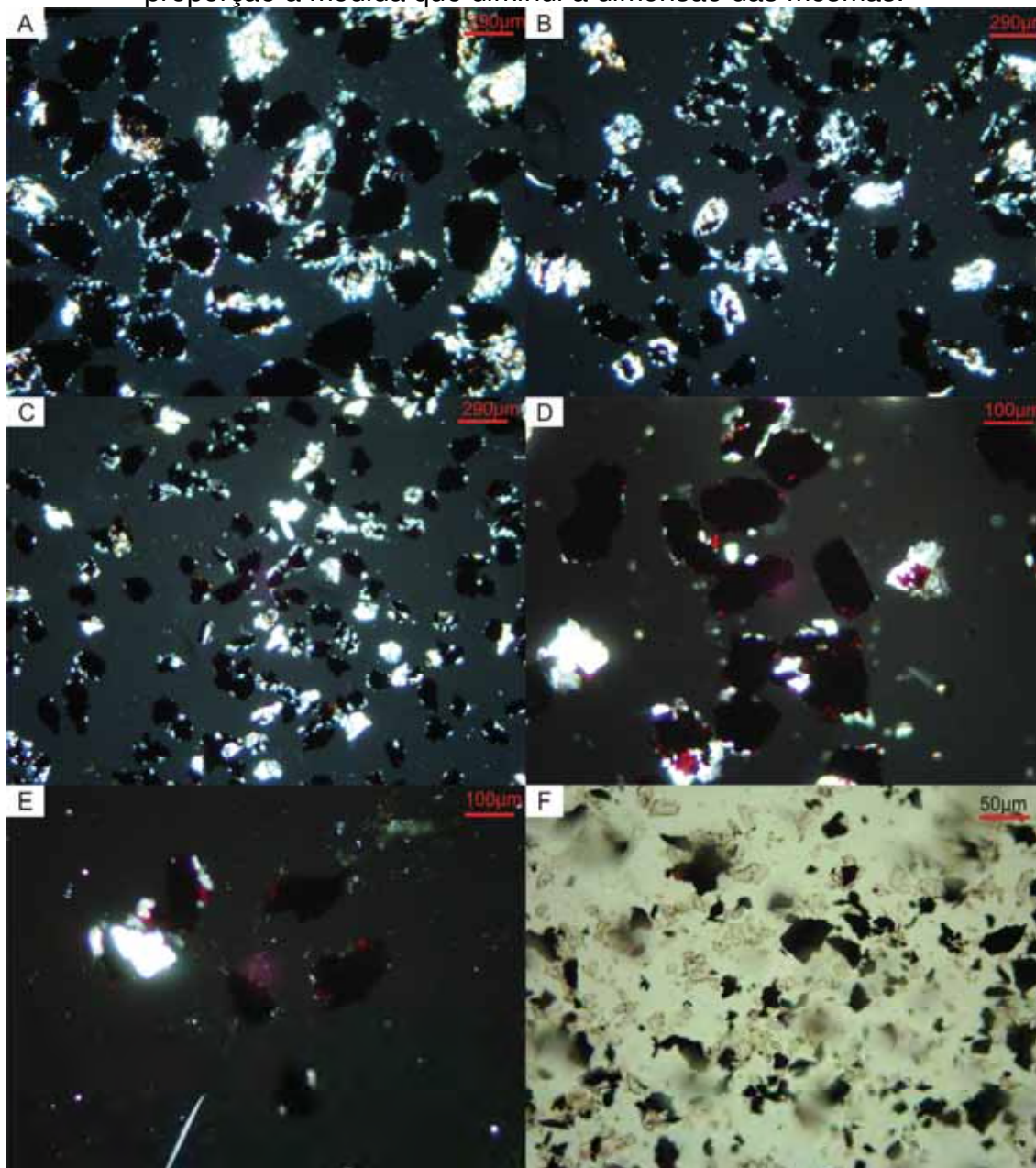
Tabela 11 – Resultado da contagem e classificação de 1000 partículas da amostra do subtipo compacto. Amostra ponto 79 (apêndice I – mapa de pontos). Formação ferrífera bandada de Piumhi/MG.

faixas granulométricas em mesh	Contagem de grãos			
	Peso (g)	% em peso	óxido livre	quartzo livre
compacta				
<325	0,698	34,209	325	260
325<X<270	0,123	6,029	121	62
270<X<200	0,225	11,028	46	16
200<X<150	0,256	12,546	13	27
150<X<100	0,239	11,716	13	5
100<X<60	0,499	24,456	1	1
total	2,04	99,984		
óxido com pinta de quartzo	quartzo com pinta de óxido	mista	total	
85	103	237	1010	
100	75	635	1011	
62	80	520	724	
71	79	630	820	
83	56	1015	1172	
20	19	810	851	

Tabela 12 – Resultado da contagem e classificação de 1000 partículas da amostra do subtipo compacto. Amostra B ponto 29 (apêndice I – mapa de pontos). Formação ferrífera bandada de Piumhi/MG.

faixas granulométricas em mesh	Contagem de grãos			
	Peso (g)	% em peso	óxido livre	quartzo livre
<325	0,786	33,488	520	36
325<X<270	0,124	5,263	174	25
270<X<200	0,223	9,465	117	8
200<X<150	0,301	12,775	45	11
150<X<100	0,275	11,672	79	26
100<X<60	0,647	27,461	0	12
total	2,356	100,124		
óxido com pinta de quartzo	quartzo com pinta de óxido	mista	total	
115	116	230	1017	
155	67	510	931	
119	86	665	995	
175	64	603	898	
217	82	625	1009	
58	102	535	707	

Figura 53 – Fotomicrografias das partículas retidas nas peneiras e passantes na peneira de 325 mesh do subtipo friável. Em todas as granulometrias observadas ocorre a presença de partículas mistas, porém em menor proporção à medida que diminui a dimensão das mesmas.

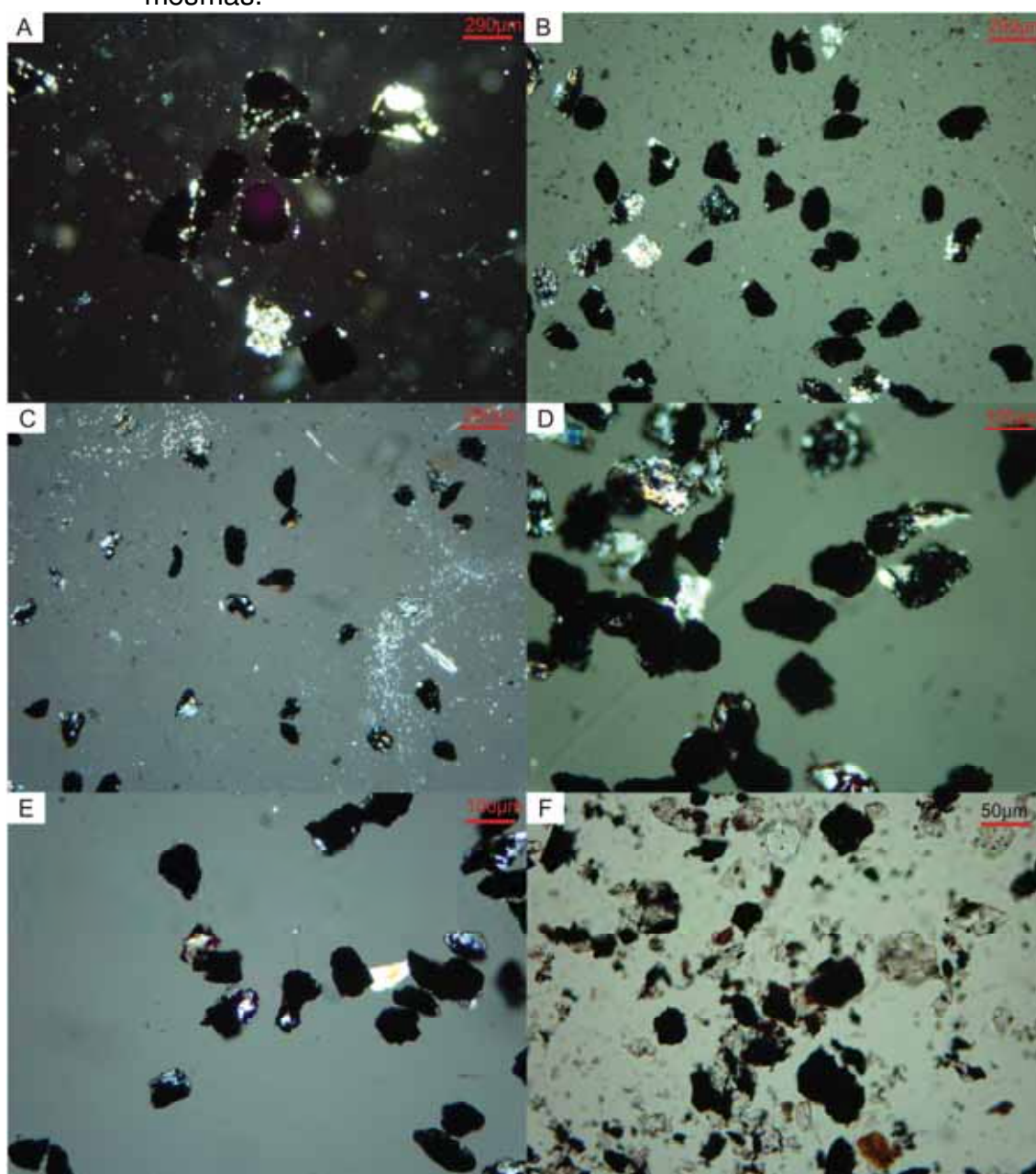


A) fração entre 60 e 100 mesh. B) fração entre 100 e 150 mesh. C) fração entre 150 e 200 mesh. D) fração entre 200 e 270 mesh. E) fração entre 270 e 325 mesh. F) fração inferior a 325 mesh. Todas as fotos tiradas à luz transmitida e nicóis cruzados, com exceção da F que foi a nicóis paralelos.

Os resultados exibidos nas Tabelas 9 a 12 foram recalculados para valores percentuais e lançados em gráficos de barras para melhor visualização da distribuição granulométrica de cada amostra e obter parâmetros de comparação

entre as mesmas (Figura 54). A partir destes nota-se que as amostras estudadas apresentam padrões de distribuição granulométrica bastante similares, sem diferenças relevantes entre os dois subtipos compacta e semi-friável (Figuras 53 e 54).

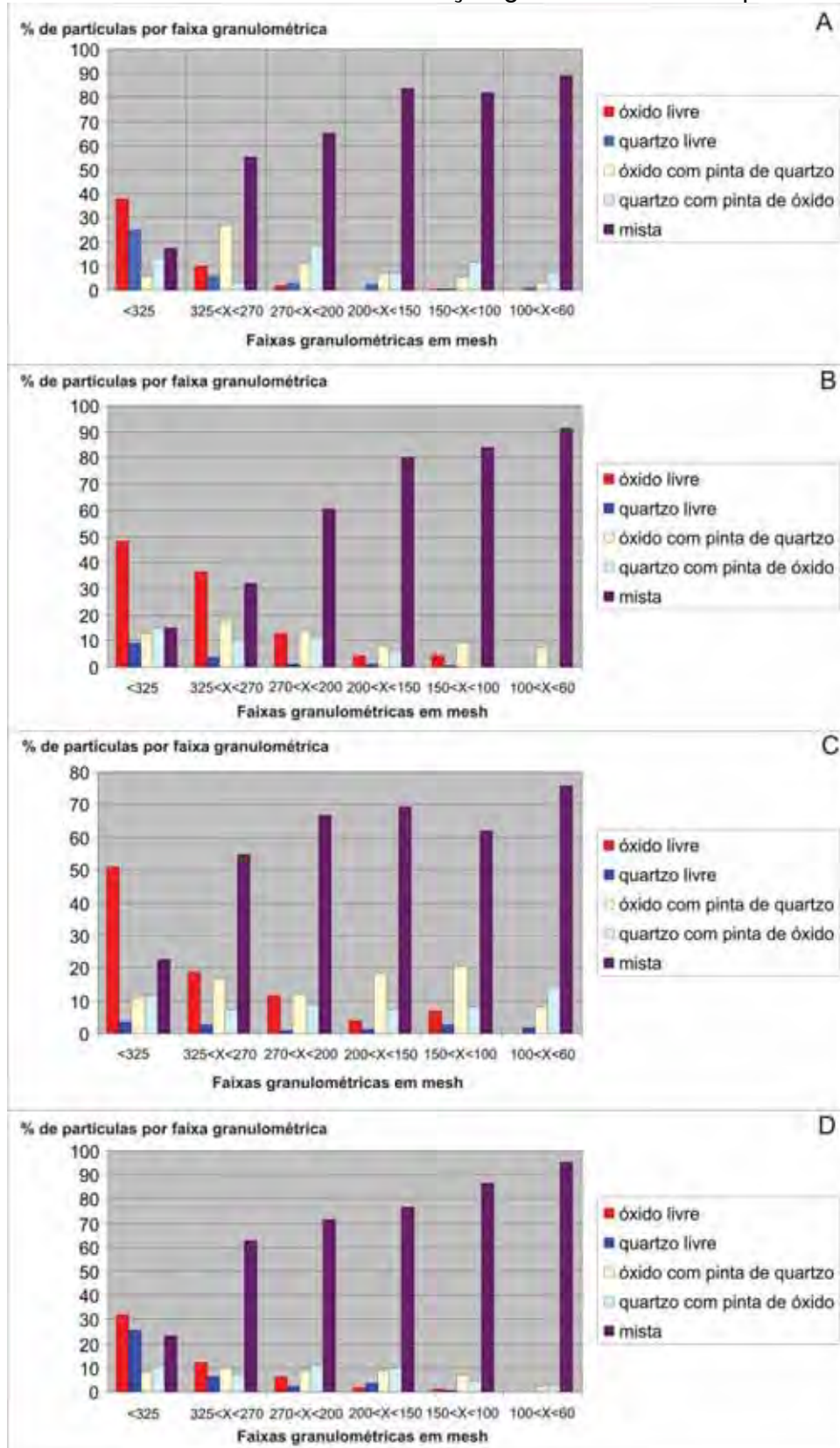
Figura 54 – Fotomicrografias das partículas retidas nas peneiras e passantes na peneira de 325 mesh do subtipo compacto. Em todas as granulometrias foi observado ocorre a presença de partículas mistas, porém em menor proporção à medida que diminui a dimensão das mesmas.



A) fração entre 60 e 100 mesh. B) fração entre 100 e 150 mesh. C) fração entre 150 e 200 mesh. D) fração entre 200 e 270 mesh. E) fração entre 270 e 325

mesh. F) fração inferior a 325 mesh. Todas as fotos tiradas à luz transmitida e nicóis cruzados, com exceção da F que foi à nicóis paralelos.

Pode-se ressaltar que em todas as amostras é predominante o percentual das partículas mistas, com exceção da faixa granulométrica abaixo de 325 mesh, na qual a porcentagem de partículas de óxido livre é dominante. Portanto, apresenta uma relação inversa com o percentual de partículas mistas (Figura 55), como era de se esperar face às características texturais das formações ferríferas bandadas de Piumhi.

Figura 55 – Gráfico de barras de distribuição granulométrica em porcentagem.

A) amostra 71 – subtipo semi-friável. B) amostra ponto 29 – subtipo semi-friável. C) amostra b ponto 29 – subtipo compacta. D) amostra ponto 79 – subtipo compacta.

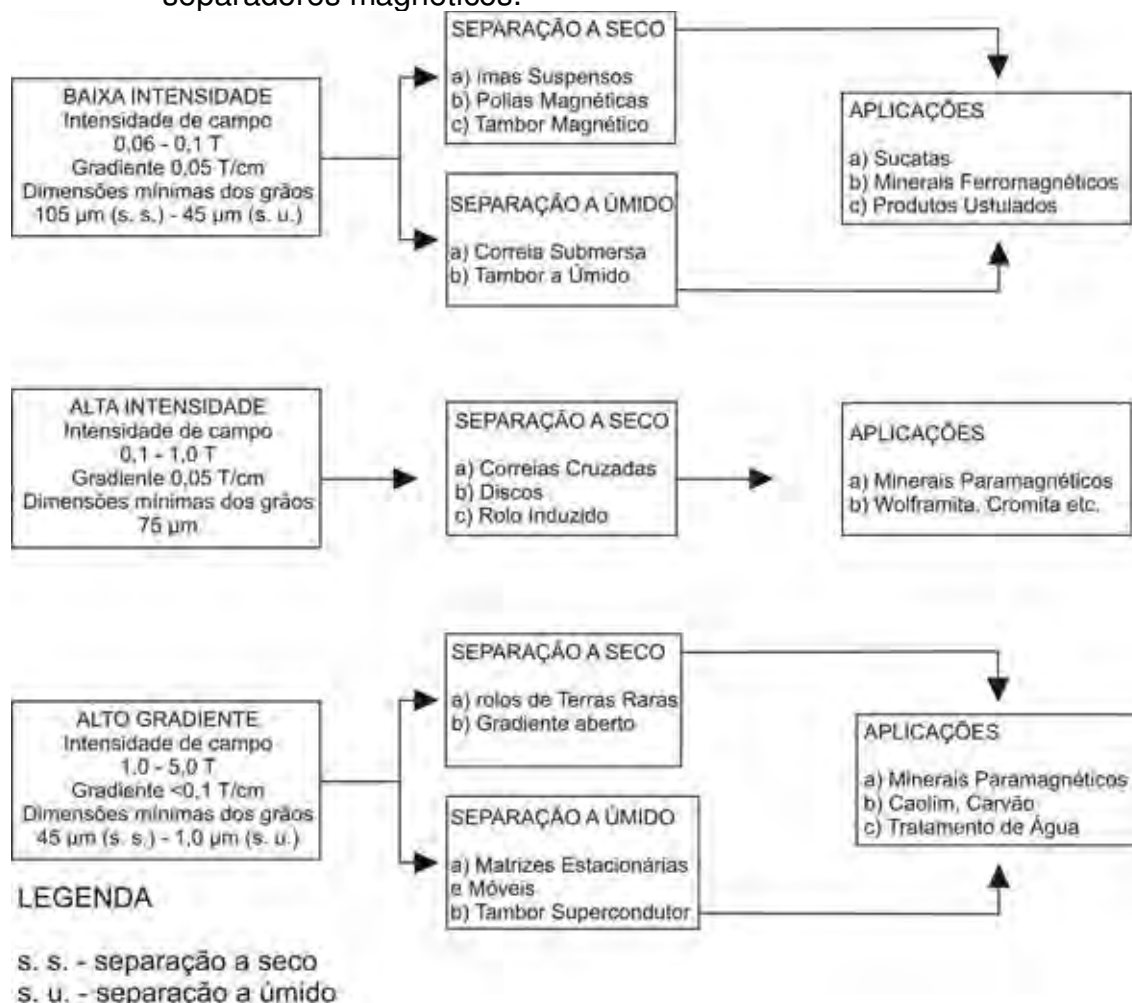
10.2 Separação Magnética

A concentração ou separação magnética é um método consagrado na área de processamento de minérios. Pode ser usada, dependendo das diferentes respostas ao campo magnético apresentado pelas espécies minerais individualmente, no beneficiamento.

A propriedade de um material que determina sua resposta a um campo magnético é chamada de susceptibilidade magnética. Com base nessa propriedade os materiais ou minerais são classificados em duas categorias: os atraídos pelo campo magnético e os que são repelidos. No primeiro caso têm-se os minerais ferromagnéticos, a exemplo da magnetita, e, no segundo caso, os diamagnéticos, há ainda os que são fracamente atraídos pelo campo magnético, denominados como paramagnéticos.

Há uma grande variedade de separadores magnéticos que podem ser classificados de acordo com o uso em dois grandes grupos: separadores a seco e a úmido. Os quais podem ser subdivididos de acordo com as características do campo de indução. Logo, são encontrados os separadores de baixa e alta intensidade, tanto para operação a seco, quanto a úmido. A forma dos elementos que fazem a separação no equipamento exerce influência na classificação dos separadores, por isso existem 4 tipos: de tambor, rolos induzidos, correias cruzadas e carrossel. O Fluxograma da (Figura 56) apresenta a classificação, características e aplicações destes separadores.

Figura 56 – Fluxograma que mostra características, classificação e aplicações dos separadores magnéticos.



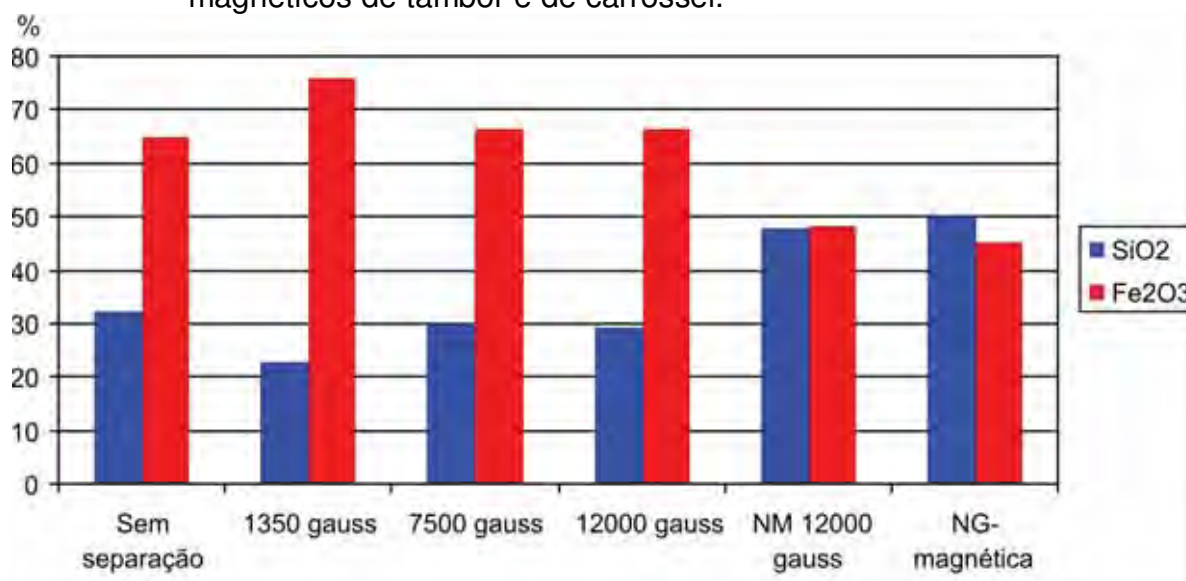
Fonte: Sampaio & Benvindo da Luz (2002).

As formações ferríferas bandadas de Piumhi apresentam na composição modal cristais de magnetita e martita, conseqüentemente o magnetismo se faz presente. Em virtude de tais características foi realizado ensaio de separação magnética via úmida, através de separadores de tambor e de carrossel, em uma amostra da subfácies friável, após moagem 100% abaixo de 100 mesh. Para maiores detalhes dos procedimentos da concentração vide Cap II - Materiais e Métodos. Após o ensaio de separação foi realizada análise química para elementos maiores nas partículas retidas nos separadores com campo magnético de 1.350, 7.500 e 12.000 gauss. Os resultados estão apresentados na Tabela 13 e nos gráficos da Figura 57.

Tabela 13 – Análise química de elementos maiores do material retido nos campos magnéticos de 1.350, 7.500, 12.000 gauss e do material passante (NG-magnética em 1350 e 7.500 gauss, NM 12.000 gauss).

Amostra	Análises químicas - elementos maiores			
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Sem separação	32,38	0,02	0,78	64,99
1.350 gauss	22,9	0,02	0,49	75,88
7.500 gauss	29,93	0,02	1,51	66,21
12.000 gauss	29,28	0,07	0,72	66,21
NM 12.000 gauss	47,73	0,05	1,23	48,21
NG-magnética	50,07	0,05	0,81	45,01
	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O
amostra cabeça	0,32	0	0,03	0
1.350 gauss	0,1	0	0,02	0
7.500 gauss	0,93	0,11	0,05	0,14
12.000 gauss	1,01	0	0,05	0
NM 12.000 gauss	0,92	0,18	0,05	0,27
NG-magnética	0,92	0,19	0,07	0,47
	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	SOMA
amostra cabeça	0,01	0,13	1,31	99,99
1.350 gauss	0	0,12	0,49	100,03
7.500 gauss	0,03	0,12	0,95	100,01
12.000 gauss	0,01	0,18	1,53	100,01
NM 12.000 gauss	0,01	0,18	2,13	100,03
NG-magnética	0,03	0,16	2,22	100

Figura 57 – Gráfico de barras que mostra os teores em Fe_2O_3 e SiO_2 da amostra moída 100% abaixo de 100 mesh passada nos separadores magnéticos de tambor e de carrossel.



Nota-se que o melhor resultado foi obtido na separação com campo magnético de 1350 gauss. Amostra ponto 28 (vide apêndice - mapa de pontos).

Com intuito de se visualizar a distribuição dos tipos de partículas retidas e passantes em cada campo magnético apresentado no fluxograma da figura 17, uma nova contagem de grãos foi realizada e apresentada em gráfico de barra (Figura 59). Nesta pode ser observado que a separação em campo de 1.350 gauss, o qual apresentou efetivamente o melhor resultado (Figura 58), exibe a maior percentual de partículas de óxido livre, perfazendo mais de 50 % do total das partículas contadas.

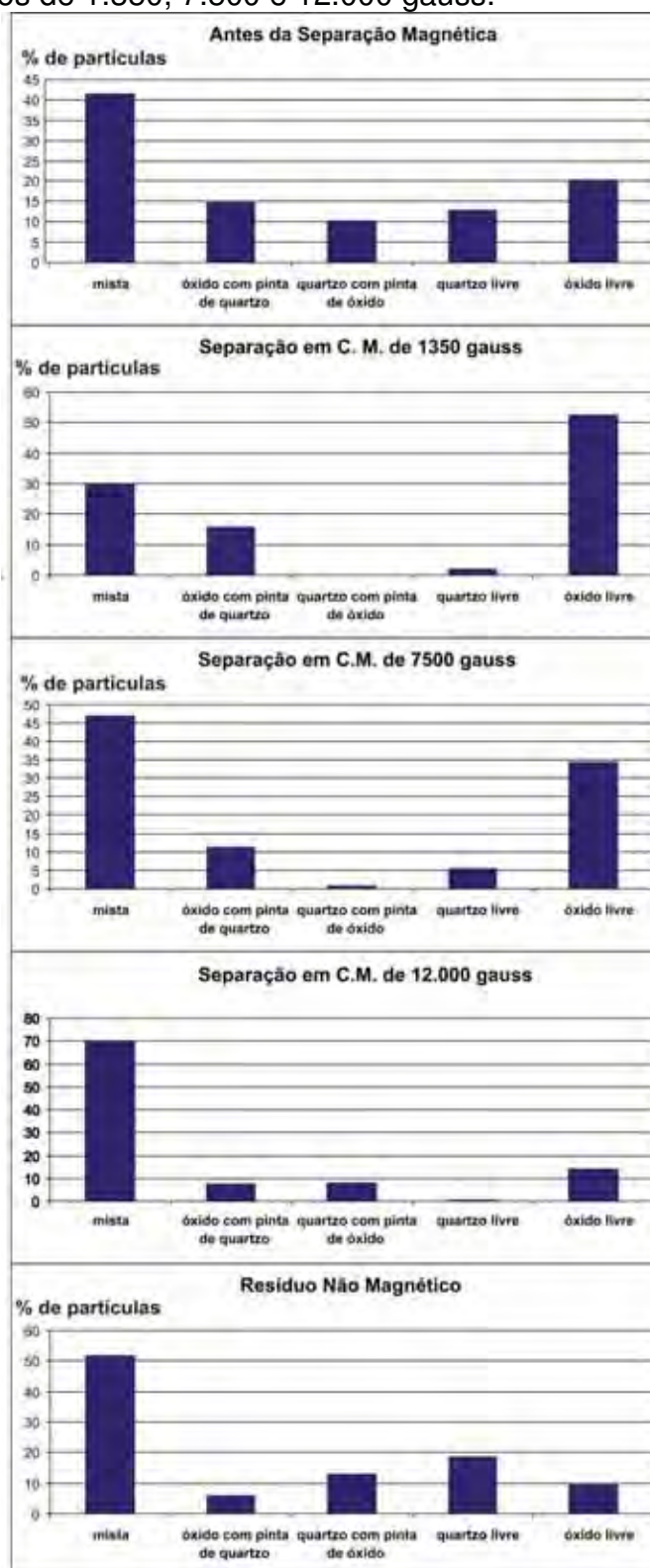
Ainda pode-se extrair dos gráficos que quanto maior a intensidade do campo magnético maior o percentual de partículas mistas e menor o de óxido livre (figura 30). A presença de partículas de quartzo com pinta de óxido é atribuída ao arraste das demais partículas por ação do campo magnético.

Figura 58 – Amostra de formação ferrífera bandada subtipo semi-friável antes (cabeça) e depois da separação magnética.



Nota-se que quanto maior a intensidade do campo magnético, menos efetiva é a separação, pois mais partículas mistas são arrastadas no processo e a amostra fica mais clara com a tonalidade se aproximando da fração total (cabeça), devido ao menor percentual de partículas de óxido livre e maior de partículas mistas, com domínio de silicato.

Figura 59 – Gráfico de barras do percentual de cada tipo de partícula gerada após a moagem 100% abaixo de 100 mesh e separação magnética com campos de 1.350, 7.500 e 12.000 gauss.



O percentual foi estimado a partir da contagem de 1000 partículas retidas em cada campo e do resíduo passante.

11 ESTIMATIVAS DAS RESERVAS DE MINÉRIO DE FERRO DA REGIÃO DE PIUMHI/MG

Através de informações contidas nos mapas geológicos apresentados por Fernandes (2002) e o estudo de campo relatado nesta dissertação de mestrado, foi possível elaborar uma estimativa da quantidade de formação ferrífera bandada (FFB) que ocorre nas Serras de Lavapés e da Gabiroba – região de Piumhi/MG.

Fernandes (2002) fez o mapeamento geológico de uma área de aproximadamente 27km^2 , dos quais $1,4\text{km}^2$ representam a faixa de ocorrência de FFB. Nesta pesquisa, o mapeamento geológico, foi realizado a partir da extremidade sul do mapa de Fernandes (2002), cuja área abrangida foi de 46 km^2 , dentre os quais 718.332m^2 (aproximadamente $0,72\text{ km}^2$) representam a faixa de ocorrência de formação ferrífera bandada (apêndice III). Para o cálculo das áreas de ocorrência de FFB foi utilizada o software ArcMap do pacote de programas de ArcGIS 9.3 da ESRITM.

Para efeito de organização dos cálculos aqui propostos as reservas foram estimadas com base nos mapas retro referidos, separadamente. Para o mapa de Fernandes (2002) foi atribuído o nome área 1 e para o mapa geológico em anexo área 2:

11.1 Cálculos Área 1

Em função das características morfológicas dos contatos geológicos da FFB mapeada com suas encaixantes, para o cálculo do volume a mesma foi segmentada em três setores:

Setor 1: corresponde a zona de charneira da dobra da estrutura sinformal. Para efeito dos cálculos, esta região foi estimada com um poliedro do tipo prisma

regular com faces retangulares, cujas dimensões são 900, 430 e 100 m, no qual o volume é dado por:

$$900 \times 430 \times 100 = 38.700.000 \text{ m}^3$$

Setor 2: corresponde ao flanco leste da estrutura sinformal, que foi estimada como um prisma de faces retangulares que mergulha para o interior da serra por pelo menos 100 m, com espessura inferida em 40 m e comprimento obtido a partir dos mapas em anexo (Apêndices A e B). Logo tem-se:

$$2.600 \times 100 \times 40 = 10.400.000 \text{ m}^3$$

Setor 3: corresponde ao flanco oeste da estrutura sinformal, que foi estimada como um prisma de faces retangulares que mergulha para o interior da serra por pelo menos 100 m, com espessura inferida em 40 e comprimento obtido a partir do mapa da (apêncide II e III). Logo tem-se:

$$4.300 \times 100 \times 40 = 17.200.000 \text{ m}^3$$

Com a soma dos 3 setores obtém-se um total de 66.300.000 m³ de formação ferrífera bandada. A densidade das FFB de Piumhi é aproximadamente 4,21 t/m³. Valor este obtido a partir do teor médio de SiO₂ e Fe₂O₃ das mesmas, apresentados na Tabela 8. Portanto a tonelagem total estimada do FFB na Tabela 14 é dado por:

$$66.300.000 \times 4,21 = 279.123.000 \text{ toneladas de FFB.}$$

O teor médio de Fe₂O₃ das FFB obtidos neste trabalho é de 51,35 %. Logo:

$$279.123.000 \times 0,5135 = \mathbf{143.329.660,5 \text{ de toneladas de minério de ferro}}$$

expresso em óxido

$$143.329.660,5 \times 0,7 = \mathbf{100.330.762,35 \text{ de toneladas de ferro contido.}}$$

As duas lentes de FFB, por não se saber suas reais extensões, não foram incluídas nas estimativas das reservas.

11.2 Cálculo Área 2

Seguindo a mesma linha de raciocínio utilizado para o cálculo da área 1, as toneladas das camadas mapeadas de FFB foram estimadas inferindo-as como prismas regulares de faces retangulares. A estimativa de profundidade foi a mesma para área 1

Setor 4: corresponde a uma camada de 1.540 m de extensão, aflorante na vertente oeste da Serra da Gabiroba. (Apêndices B e C). A partir da qual foi obtido o seguinte volume:

$$1.540 \times 100 \times 40 = 6.160.000 \text{ m}^3.$$

Setor 5: corresponde a continuidade no rumo sul da camada mapeada por Fernandes (2002). A partir da qual foi obtido o seguinte volume:

$$3.600 \times 100 \times 40 = 14.400.000 \text{ m}^3.$$

Setor 6: é representado por uma camada de 1.280 m de extensão, aflorante próximo a extremidade sul da Serra da Gabiroba (vide apêndices B e C). A partir da qual foi obtido o seguinte volume:

$$1.280 \times 100 \times 40 = 5.120.000 \text{ m}^3.$$

Assim sendo, o volume total de FFB da área 2 é $6.160.000 + 14.400.000 + 5.120.000 = 25.680.000 \text{ m}^3$. Em termos de tonelagem do minério, a partir deste volume foi obtido:

$$25.680.000 \times 4,21 = 108.112.800 \text{ toneladas de FFB, Logo:}$$

$108.112.800 \text{ t} \times 0,5135 = \mathbf{55.515.922,8 \text{ toneladas de minério de ferro expresso em óxido.}}$

$$55.515.922,8 \times 0,7 = \mathbf{38.861.145,96 \text{ toneladas de ferro contido.}}$$

Somando-se as estimativas encontradas nas áreas 1 e 2 se obtém um total de **198.845.583,3** toneladas de ferro em óxido e **139.191.908,31** toneladas de ferro contido. Os dados obtidos estão sumarizados na Tabela 14

Tabela 14 – Estimativa das reservas de minério de ferro na região de Piumhi/MG.

	Ferro em óxido (t)	Fe contido (t)
Área 1	143.329.660,50	100.330.762,35
Área 2	55.515.922,80	38.861.145,96
Total	198.845.583,30	139.191.908,31

Laznicka (2006) classifica os depósitos de minério de ferro em “grande” aqueles com quantidade acima de 430 milhões de minério de ferro e os do tipo “gigantes”, aqueles acima de 4,3 bilhões de t de minério de ferro, os quais são geneticamente classificados como Tipo Lago Superior. No Brasil os depósitos da Serra do Urucum/MS, Quadrilátero ferrífero e Serra de Carajás/PA, em face das suas tonelagens, são classificados como do tipo “Gigantes” (vide Tabela 2).

Fernandes (2002) observou que depósito de Piumhi apresenta grandes semelhanças com os do “Tipo Rapitan”. A tonelagem estimada no presente trabalho, não permitiu enquadrá-lo na classificação de Laznicka (2006) em face de suas dimensões serem relativamente pequenas. Fato que não descarta a possibilidade deste vir a ser economicamente viável sua exploração e lavra futura.

Ressalta-se que os dados de cubagem aqui apresentados, são baseados em modelo geológico da ocorrência da mineralização, inferido a partir das observações dos afloramentos das FFB de Piumhi/MG e dos resultados das análises litoquímicas. Em razão da ausência de informações diretas de subsuperfície, tais como furos de sondagem e uma malha de amostragem com adensamento adequado, os resultados da Tabela 14 apresentam baixo grau de confiabilidade.

O cálculo aqui apresentado serviu de base para se ter uma idéia de uma possível dimensão e tonelagem da FFB de Piumhi. Para se obter os valores destes parâmetros, com alto grau de confiabilidade, são necessários trabalhos de prospecção e pesquisa mineral.

12 CONFRONTAÇÃO DOS DADOS DE CAMPO E LABORATORIAIS

O empilhamento litoestratigráfico do Grupo Lavapés na área mapeada (Apêndice B) sugere, no mínimo, três eventos de sedimentação. O primeiro possivelmente de natureza progradante depositado ao longo de uma bacia restrita em ambiente de alta energia, representado pela sub-unidade Conglomerática, a qual está sotoposta pelas formações ferríferas bandadas e metapelitos associados, as quais representam um possível evento de subida do mar ou subsidência regional, num estágio de sedimentação retrogradacional. A sub-unidade quartzítica, sobrejacentes a estas FFB, representam o último estágio progradante reconhecido na área.

O Grupo Lavapés, onde estão alojadas as FFB de Piumhi, por ser uma seqüência metassedimentar alóctone com deformação predominantemente dúctil de natureza milonítica, e metamorfismo fácies xisto verde, as FFB apresentam granulação fina, com cristais de hematita, magnetita/martita, especularita variando desde 5 a 450µm com predomínio de cristais com tamanho médio de 40µm, que estão muitas vezes interpenetrados com o quartzo, cuja temperatura metamórfica e deformação foram suficientes para gerar sua recristalização, mobilização e aprisionamento entre os cristais de óxido de ferro (Figura 60).

Figura 60 – Fotomicrografia de formação ferrífera bandada subtipo semi-friável que mostra relações de contato dos cristais de óxido (em preto) com o quartzo (transparente), que em algumas porções o quartzo está aprisionado entre os cristais pretos.

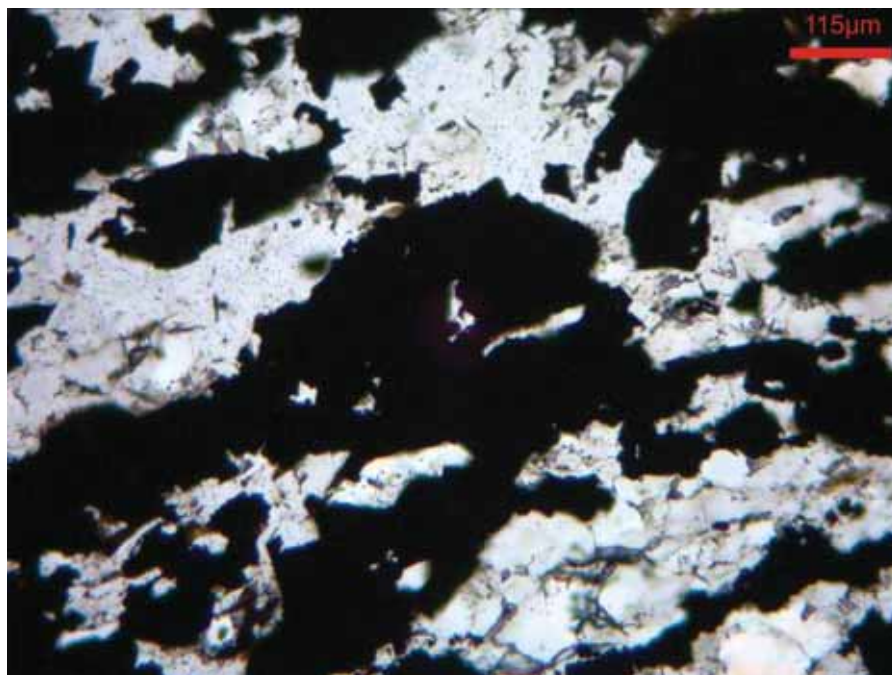


Foto tirada a nicóis paralelos sob luz transmitida.

A deformação que as FFB foram submetidas gerou foliação penetrativa milonítica, a qual certamente é o principal agente gerador do interpenetramento entre cristais de quartzo e óxido de ferro (hematita, magnetita/martita e especularita).

Por essa razão os ensaios de beneficiamento, tais como a moagem 100% abaixo de 100 mesh, que gerou partículas ligeiramente inferiores a 100 µm não mostraram total eficiência na liberação da sílica (vide capítulo 8). Porém o ensaio de separação magnética, em especial a aplicação do campo magnético de 1350 gauss, conseguiu elevar o teor da amostra em Fe_2O_3 e baixar o teor em SiO_2 (Tabela 13 e Figura 57), apesar de que mesmo no campo magnético de maior eficiência, muitas partículas mistas são arrastadas junto com as de óxido livre (Figuras 58 e 58).

Para fabricação do Pellet Feed, a ISO 2597 estabelece que o teor em Fe contido no minério deve ser de, no mínimo 65,50 e para SiO_2 (ISO11535) o máximo de 1,50 (Figura 61). Em virtude desta situação, a liberação da sílica das FFB consiste de um grande desafio a ser superado, tendo em vista sua potencialidade econômica.

Figura 61 – Especificação da composição química para fabricação do Pellet Feed.

Finos: Pellet Feed e Sinter Feed

Pellet Feed Normal Silica			
Chemical Analysis - (% dry basis)			
	Typical	Guaranteed	
		min	max
Fe (ISO 2597)	66.93	65.50	
FeO (K ₂ Cr ₂ O ₇ titrant)	1.16		1.50
SiO ₂ (ISO 11535) *1	1.27		2.00
Al ₂ O ₃ (ISO 11535) *2	0.39		0.55
CaO (ISO 11535) *3	0.11		
MgO (ISO 11535) *3	0.03		
P (ISO 4687)	0.043		0.055
S (ISO 9686)	0.004		0.010
H ₂ O (ISO 3087)	10.17		11.00
Cu (ISO 11535)	0.003		0.010
Na ₂ O (ISO 11535)	0.016		
K ₂ O (ISO 11535)	0.004		
LOI (ISO 11536)	2.41		3.50
Mn (ISO 11535)	0.054		0.058

*1 - ISO 2598 is also a used procedure. *2 - ISO 6830 is also a used procedure. *3 - EDTA titrant is also a used procedure.

Fonte: www.samarco.com.br

A fim de se vencer este desafio, o fluxograma do beneficiamento para o tipo de formação ferrífera apresentada neste trabalho, deve ter bem definida a dimensão das partículas que será atingida na moagem.

A distinção dos diferentes subtipos apresentados neste estudo teve por base o critério essencialmente mineralógico, visto que, texturalmente, são bastante semelhantes e, por esta razão apresentam padrões de distribuição granulométrica e liberação da sílica similar (Figuras 53 e 54), no decorrer da moagem e peneiramento.

Os padrões de distribuição granulométrica apresentados neste trabalho mostraram que o material passante nas peneiras de malha 325 mesh apresentam a maioria das partículas de óxido livre (Tabelas 9 a 12 e Figura 55), sendo assim, uma concentração magnética com amostras moídas abaixo dessa faixa de granulometria, certamente atingirá teores de Fe₂O₃ e de SiO₂ mais próximos das especificações para pellet feed que os resultados com a moagem 100% abaixo de 100 mesh. Tal fato, associado ao valor de mercado do minério de ferro e se volume da camada atender os condicionantes que viabilizem os trabalhos de pesquisa e prospecção as

FFB de Piumhi podem, num futuro próximo, se transformar num alvo de pesquisa mineral.

13 CONCLUSÕES

As formações ferríferas bandadas de Piumhi estão interdigitadas em seqüência de metassedimentos transicionais a marinhos restritos tais como metaconglomerados poli a oligomíticos, metagrauvacas finas, quartzo-mica xisto e quartzitos.

Os dados petrográficos litoestratigráficos levantados em campo sugerem que deposição dessas formações ferríferas iniciou durante a transição do ambiente sedimentar continental para marinho restrito, no início de formação da bacia, na qual são distinguíveis pelo menos dois eventos deposicionais progradantes e um retrogradante.

Após a deposição, no auge metamorfismo de natureza pré- a cedo-desenvolvimento da foliação ocorreu a formação generalizada de magnetita, durante o desenvolvimento da foliação nos locais de maior deformação foi formada a hematita especular. Tardi- a pós-desenvolvimento da foliação, possivelmente até a alteração supérgena, em função da circulação de fluidos oxidantes ocorre a martitização da magnetita, com a geração de micro a criptoporos, estes possivelmente decorrentes de dissolução por ação dos fluidos de baixa temperatura, os quais certamente contribuíram para remobilização do ferro e geração de goethita.

Em face da demanda mundial por ferro, que teve uma repentina ascensão decorrente surgimento das potências econômicas asiáticas tais como a Índia e a China, ocorrências minerais de ferro, que no passado eram tidas como anti-econômicas gradualmente estão transformando-se em jazidas de minério de ferro. Fato que pode ocorrer com as formações ferríferas de Piumhi.

Do ponto de vista prospectivo, na área mapeada a camada de formação ferrífera aflora com maior área de exposição na terminação sul da Serra da Gabiroba, no encontro com a Serra da Vargem, onde ocorre com uma espessura inferida de 60 m. Porém, devido ao contexto geotectônico da região a camada, em algumas porções da serra do Lavapés onde se esperava que a mesma aflorasse,

não ocorre, podendo ter passado por rupturas e boudinamentos nos estágios finais do ciclo Brasileiro.

As características petrográficas, litoquímicas e os resultados dos ensaios de beneficiamento mostram que o mais adequado produto a ser gerado a partir das formações ferríferas de Piumhi é o Pellet Feed, entretanto a liberação da sílica consiste o maior desafio a ser superado. Neste âmbito, se faz necessários ensaios de concentração magnética a partir de amostras moídas 100 % passantes em peneiras de malha 325 mesh, ou seja, com partículas de dimensão inferior a 44 μm . Tal proposta está embasada no fato de que o baixo grau metamórfico e a deformação milonítica observados ao longo de todo pacote das formações ferríferas, não contribuíram para um expressivo crescimento dos cristais de hematita e magnetita, bem como a expulsão da sílica, o que implicaria em facilidade e baixos custos na etapa de beneficiamento do minério, numa eventual lavra das formações ferríferas bandadas de Piumhi.

A utilização para fabricação de outros materiais tais como ímãs, ou ligas de ferro-silício é uma outra possível aplicação das referidas formações ferríferas, que também pode ter apreço econômico, entretanto necessita de estudos comprobatórios.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. de et al. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Sciences Reviews**, Amsterdam, v. 17, n.1-2, p. 1–29, 1981.
- ALMEIDA, F.F.M. de et al. Informações geofísicas sobre o oeste mineiro e seu significado geotectônico. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 49-60, 1980.
- BARBOSA, O. Guia das excursões do IX Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia, 1955. Notic. Soc. Bras. Geol., São Paulo, 3:3 – 5, 1955.
- BARBOSA, O. et al. Geologia da Região do Triângulo Mineiro. **Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral**, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, v. 136, 1970. 140 p.
- BENVINDO DA LUZ, A. et al. **Tratamento de Minérios**. 3. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 850 p.
- BRANCO, J.J.R. Conglomerado Samburá, MG. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 28, p. 295-302, 1956.
- BOYER, S.E.; ELLIOT, D. Trust systems. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, Tulsa, v. 66, n.9, p. 1196-1230, 1982.
- BUTTON, A. et al. Sedimentary iron deposits, evaporates and phosphorites; state of the art report. In: HOLLAND, H.D.; SCHIDLOWSKI, M. (Ed.). **Mineral Deposits and the Evolution of the Biosphere**. New York: Springer-Verlag, 1982. p. 259-273.
- CAMPOS NETO, M.C. Orogenic system from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. In: INTERNACIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UERJ, 2000. p. 335-365.
- CAMPOS NETO, M.C.; CABY, R. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the São Francisco Craton, Southeast Brazil. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 97, n. 1-2, p. 3-26, 1999.
- CORREA, C.T. **Geologia da folha de Cássia, MG, e petrologia de seus anfibolitos**. 1986. 123 f. Dissertação (Mestrado). – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.
- DARDENE, M.A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978. Recife. **Anais...** Recife, SBG, 1978. p. 597 – 602. v.2.
- DARDENNE, M.A. The Brasília fold belt. In: CORDANI, U.G. et al. (Org.). **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. p. 231-263.

DEL LAMA, E.A. **Petrologia das rochas metamórficas de alto grau do Complexo Campos Gerais e correlação com as do Complexo Varginha- Guaxupé:** estudos termobarométricos. 1993. 132 f. Dissertação (Mestrado em Petrologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, 1993.

EICHLER, J. **Geologie und Entstehung der itabiritischen Reicherze im Eisernen viereck von Minas Gerais, Brasilien.** 192 f. 1969. Thesis - Institut für Geologie und Paläontologie, Technical University of Clausthal. Clausthal-Zellerfeld, 1969.

EICHLER, J. Die geologische position prahkambrischen Quarzbandererze (Itabirite) und die Problematik ihrer Genese: Clausthaler Hefte zur Lagersthttenkunde u. **Geochemie der Mineralischen Rohstoffe**, v. 9, p. 6-26, 1970.

ELLIS, H.A. The geology of the Yilgarn goldfield, south of the great eastern railway. **Geological Survey of Western Australia Bulletin**, Western Australia, v. 97. 1939.

EWERS, W.E Chemical factors in the deposition na diagenesis of the banded iron-formation. In: TRENDALL, A.F.; MORRIS, R.C. (Ed.). **Iron-Formation: facts and problems**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 491-512.

FERNANDES, N.H. **Origem e evolução das formações ferríferas no sudoeste do Estado de Minas Gerais.** 2002. 184 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, 2002.

FERRARI, P.A.; BRANDALISE, L.B. Projeto Folha do Rio de Janeiro: Geologia da região do Médio Rio Grande, Minas Gerais, Escala 1: 100.000. Rio de Janeiro, DNPM, Vol. 2, 73 p. 1971.

FERRARI, M.A.D. **Aspectos tectono-estruturais do greenstone belt de Piumhi – MG em relação a mineralização e cromita e ouro.** 1996. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Campinas. Campinas, São Paulo. 1996.

FRITZONS J.R.; BIONDI, J.C.; CHABAN, N. Geologia da Região de Piumhi (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1980. Camboriú. **Anais...** Camboriú: SBG, 1980. p. 2906-2917. v.5.

FUCK, R.A. et al. As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco: síntese dos conhecimentos. In: DOMINGUEZ, J.M.L.; MISI, A. (Coord.). **O Cráton do São Francisco**. Salvador: SBG, 1993. p. 161-185.

FUCK, R.A. A faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4., 1994. Brasília. **Atas...** Brasília, SBG, 1994. p. 184-187.

GARRELS, R.M. A model for the deposition of the microbanded Precambrian iron-formations. **American Journal of Science**, New Haven, v.287, p.81-106, 1987.

GONÇALVES DE JESUS, C.A. **Perfil do ferro no Brasil**. Minas Gerais: DNPM, 2009.

GROSS, G.A. Geology of iron deposits in Canada. Vol. 1 General Geology and Evaluation of iron deposits. Econ. Geol. Rep. Surv. Can. 22: 181p. – 1965 –

_____. A classification of iron-formations based on depositional environments. **Canadian Mineralogist**, Ottawa, v. 18, p. 215-222, 1980.

_____. Tectonic systems and deposition of iron-formation. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 20, n. 2-4, p.171-187, 1983.

_____. Industrial and genetic models for iron ore in iron-formation. **Geological Survey of Canada**, Ottawa, v. 40, p. 151-170, 1993.

GUSEL'NIKOV, V.N. **Genetic problems of the iron-formations of the KMA (Kursk Magnetic Anomaly)**. Moscow: Izd Nauka, 1972. 228 p.

HARALYI, N.L.E; WALDE, D.H.G. Os minérios de ferro e manganês da região de Urucum, Corumbá, Mato Grosso do Sul. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília: DNPM, 1986. v.2, cap. 11. p. 127-144.

HASUI, Y.; HARALYI, N.L.E.; COSTA, J.B.S. Megaestruturação pré-cambriana do território brasileiro baseada em dados geofísicos e geológicos. **Geociências**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 7-31, 1993.

HASUI, Y.; OLIVEIRA, M.A.F. de. Província Mantiqueira: setor central. In: ALMEIDA, F.F.M de; HASUI, Y. (Coord.). **O pré-cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Bluncher, 1984. p. 309-344.

HASUI, Y. et al. **Deformação por cisalhamento dúctil: modelo de transformação de rochas pré-cambrianas antigas do leste de São Paulo: fase I**. São Paulo: IPT, 1988. 3v. (Relatório IPT n. 25908).

HEILBRON, M. et al. O contato basal Grupo Canastra entre Itaú de minas e Carmo de Rio Claro, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4., 1989. Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte, SBG, 1987. p. 179 – 1987.

HICKEY R.L. et al. Multiple sources for basaltic arc rocks from the southern volcanic zone of the Andes (34°-41° S): trace element and isotopic evidence for contributions from subducted oceanic crust, mantle and continental crust. *Geophy. Res* 91: 5963-5983. 1986.

HOCK, M.; FRIEDRICH, G. Structural features of ophiolitic chromitites in the Zambales Range, Luzon Philippines. **Mineralium Deposita**, Berlin, v.20, n.4, p. 290 – 301, 1985.

HOLLAND, H.D. **The chemical evolution of the atmosphere and oceans**. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1984. 582 p.

JAMES, H.L. Sedimentary facies of the iron formation. **Bulletin of the Society of Economic Geologists**, Littleton, v.49, n.3, p. 235-293, 1954.

_____. Chemistry of the iron-rich sedimentary rocks. **United States Geological Survey Professional Paper**, United States, v. 440, 1966. 61 p.

_____. Distribution of banded iron-formation in space and time. In: TRENDALL, A.F.; MORRIS, R.C. (Ed.). **Iron-Formation: facts and problems**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 471-490.

KRISHNAN, M.S. Occurrence and origin of the iron ores of India. In: **Genesis of precambrian iron and manganese deposits**. Paris: Unesco, 1973. p. 69 – 76.

KLEIN, C.; BEUKES, N.J. Proterozoic iron-formations. In: KONDIE, K.C. (Ed.). **Proterozoic crustal evolution**. Amsterdam: Elsevier, 1992. p. 383-418.

KOZLOV, M.T. Metasomatic ferruginous quartzites of the Kola Peninsula. In: Problemy obrazovaniya zhelezistykh porod dokembriya (problems of formation of the Precambrian Iron Formation): Izd. Naukova Dumka, Kiev, pp. 105-110. – 1969 –

LAZNICKA, P. **Giant metallic deposits: future sources of industrial metals**. New York: Springer, 2006. 736p.

MACHADO, N.; SCHRANK, A. Geocronologia U/Pb no Maciço de Piumhi: resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5., 1989. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG/NMG, 1989. p.45-79.

MACHADO FILHO, L. et al. Geologia das Folhas SF-23/24, Rio de Janeiro/Vitória. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL: folhas SF-23/24- Rio de Janeiro/Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: MME, 1983. 780 p. 6 mapas.

MARINI, O.J. et al. Província Tocantins: setores Central e Sudeste. In: ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. **O pré-cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher, 1984. 378p.

MEL'NIK Y.P. **Precambrian banded iron-formations: physicochemical conditions of formation**. Amsterdam: Elsevier, 1982. 310 p.

MIMURA, L.S.; CHOUDHURI, A.; SCHRANK, A. Dados preliminares: estudos petrográficos e geoquímicos dos corpos graníticos do maciço de Piumhi – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992. São Paulo. **Boletim de Resumos Expandidos...** São Paulo: SBG/SP, 1992. p. 386 – 387.

MORALES, N. **Evolução lito-estrutural das rochas pré-cambrianas da região de São João da Boa Vista**. 1988. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, 1988.

MORALES, N.; HASUI, Y. Tectônica do complexo varginha na região de São João da Boa Vista (SP). **Geociências**, São Paulo, v. 9, p. 35–54, 1990.

MORALES, N. et al. Evolução tectônica do Grupo Araxá nas serras do Chapadão e da Fortaleza sudoeste do Estado de Minas Gerais. **Geociências**, São Paulo, v. 15, n. esp., p.41-66, 1996.

MORRIS, R.C.; TRENDALL, A.F. A model for the deposition of the microbanded precambrian iron-formation. **American Journal of Science**, New Haven, v. 288, p. 664-669, 1988.

OLIVEIRA, M.A.F. de. Novos dados geocronológicos para rochas charnockíticas da Associação Guaxupé, Complexo Varginha. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 301-305, 1986.

ROLLINSON, H.R. **Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation**. England: Pearson, Prentice Hall, 1993. 352p.

SCHRANK, A. Geologie de la region de Piumhi (MG), Brésil. Dipli. Approf. (Orsay), inédito, 1979.

SCHRANK, A. **Petrologie des komatiites et des roches associees de la ceinture verte du Massif Precambrien de Piumhi (Minas Gerais – Brésil)**. 1982. 272 f. These (Docteur-Ingenieur) - Orsay, Université de Paris-Sud. Paris, 1982.

SCHRANK, A; SILVA, M. G. da. Greenstone Belt do Cráton São Francisco, Brasil. In: SIMPÓSIO DO CRÁTON SÃO FRANCISCO E SUAS MARGINAIS, 2., 1993, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1993. p. 85-118. v.2.

SCHRANK, A; BROUSSE, R. Decouverte de komatiites en Amerique du Sud (Bresil). **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris**, v. 290, p. 151-154, 1980.

SCHRANK, A; ABREU, F.R. Nova proposta de evolução estratigráfica e tectônica para o Maciço de Piumhi – SW de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Boletim de Resumos...** Natal: SGB, 1990. p.331.

SCHMIDT FILHO; FLEISCHER, R. Estilo estrutural do precambriano no Sudeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978. Recife. **Anais...** Recife, SBG, 1978. p.431 – 434. v.1.

SCHOBENHAUS, C. et al. **Mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais**. Brasília: DNPM, 1981. Escala 1: 2.500.000.

SILVA, C.H. **Geologia do Grupo Canastra em sua localidade-tipo e implicações na tectono-estratigrafia do segmento setentrional da faixa Brasília**. 2003. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, 2003.

SIMÕES, L.S.A. et al. Zonação metamórfica inversa do Grupo Araxá-Canastra na região de São Sebastião do Paraíso – Alpinópolis, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais...**Belém: SBG, 1988. p.1203–1215. v.3.

SIMÕES, L.S.A. **Evolução Tectonometamórfica da Nappe de Passos, Sudoeste de MG**. 1995. 149f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

SIMÕES, L.S.A.; VALERIANO, C. de M. Porção meridional da faixa de dobramentos Brasília: estágio atual do conhecimento e problemas de correlação tectono-estratigráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990. Natal. **Anais...**Natal, SBG: 1990. p. 2564-2575. v. 6.

SOARES, P.C. Tectônica colisional em torno do Bloco Paraná, Brasil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., 1988. Belém. **Anais...**Belém: SBG, 1988. p. 63-79. v. 1.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P.; CARVALHO, S.G. Tectônica colisional oblíqua entre o Bloco Paraná e a margem sul do Cráton do São Francisco, no Maciço de Guaxupé. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG, 1990. p. 2723-2734.

SOUZA, J.C.A.A. Cromo em Piui, Estado de M.G. **Avulso da Divisão de Fomento à Produção Mineral**, Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, v. 50, p.1-27, 1943.

SAMPAIO, J.A., LUZ, A.B.; LINS, F.F. (Ed.). **Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 398p.

SUN, S.S.; MCDONOUGH, W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. **Geological Society, London, Special Publications**, London, v. 42, p. 313-345, 1989.

TEIXEIRA, N.A.; DANNI, J.C.M. Contribuição à estratigrafia do Grupo Araxá na região de Passos, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978. Recife. **Anais...** Recife: SBG, 1978. p.700-711. v.2.

VALERIANO, C.M. **Evolução tectônica da extremidade meridional da Faixa Brasília, região da Represa de Furnas, Sudoeste de Minas Gerais**. 1992. 192 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

VALERIANO, C.M. et al. Evolução estrutural do domínio externo da faixa Brasília no Sudoeste de Minas Gerais: registros de uma tectônica pré-brasiliiana. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.25, n.4, p. 221-234, 1995.

VALERIANO C.M.; SIMÕES L.S.A. Geochemistry of proterozoic mafic rocks from the Passos nappe (Minas Gerais, Brazil): tectonic implications to the evolution of the southern Brasília Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.27, n.1, p.99-110, 1997.

VAN HISE, C.R.; LEITH. C.K. The geology of the Lake Superior region. United States Geology Survey Monograph, United States, v. 52, 1911. 641p.

ZANARDO, A. Evolução metamórfica da porção sul do Cráton Paramirim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990. Natal. **Anais...** Natal: SBG, 1990. p. 1945-1955.

_____. **Análise petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG)**. 1992. 288 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, 1992.

_____. **Pesquisa geológica e de matérias primas cerâmicas do centro noroeste do Estado de São Paulo e vizinhanças: sistematização crítica da produção técnico-científica**. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A – MAPA DE PONTOS

APÊNDICE B – MAPA GEOLÓGICO

APÊNDICE C – COMPILAÇÃO ÁREAS MAPEADAS

APÊNDICE D – RESULTADO DAS ANÁLISES LITOQUÍMICAS

	Al ₂ O ₃	Ba	Be	CaO	Ce	Co	Cr ₂ O ₃	Cs
	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm
limite dec.	0.01	1	1	0.01	0.1	0.2		0.002
54	0.77	16	<1	<0.01	8.0	2.6	0.008	<0.1
57	0.64	7	<1	0.01	10.8	9.3	0.031	<0.1
61	1.55	85	<1	0.02	33.2	38.2	0.036	<0.1
63	0.79	14	<1	0.01	8.2	9.8	0.100	<0.1
67	0.46	5	<1	<0.01	4.4	1.5	0.013	<0.1
78	3.23	18	2	0.02	5.5	464.1	7.706	0.2
79	0.45	12	<1	<0.01	4.8	1.4	0.016	<0.1
86	0.36	64	<1	<0.01	16.9	3.1	0.041	<0.1
106	0.41	120	<1	<0.01	7.8	16.7	0.023	<0.1
28	0.57	5	<1	<0.01	3.5	1.7	0.021	<0.1

	MgO	MnO	Na ₂ O	Nb	Nd	Ni	P ₂ O ₅	Pr
	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
limite dec.	0.01	0.01	0.01	0.1	0.3	20	0.01	0.02
54	0.56	0.02	<0.01	0.7	3.9	<20	0.16	1.19
57	0.02	0.06	<0.01	1.6	7.4	<20	0.09	1.91
61	<0.01	0.25	<0.01	0.8	2.1	44	0.12	0.52
63	<0.01	0.04	<0.01	0.6	3.2	57	0.06	0.92
67	<0.01	0.01	<0.01	0.5	2.3	<20	0.17	0.65
78	0.35	0.05	<0.01	<0.1	2.0	4220	0.19	0.50
79	<0.01	0.02	<0.01	0.5	7.4	<20	0.04	1.95
86	<0.01	0.12	<0.01	0.4	5.0	<20	0.02	1.53
106	<0.01	0.24	<0.01	0.2	2.5	102	0.10	0.67
28	0.01	0.02	<0.01	0.6	2.2	24	0.20	0.51

	U	V	W	Y	Yb	Zr	TOT/C	TOT/S
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%
	0.1	8	0.5	0.1	0.05	0.1	0.02	0.02
54	1.4	14	1.7	6.3	0.51	10.6	0.07	<0.02
57	0.9	35	4.4	6.9	0.69	15.5	0.07	<0.02
61	1.8	22	3.2	4.5	0.40	13.6	0.04	<0.02
63	0.8	32	2.9	3.2	0.27	7.4	0.10	<0.02
67	1.3	24	1.5	7.0	0.61	5.0	0.04	<0.02
78	23.1	437	0.6	9.4	0.93	3.7	0.03	0.02
79	0.4	<8	1.9	4.6	0.29	5.0	0.03	<0.02
86	0.7	21	5.3	3.9	0.34	2.4	0.03	<0.02
106	3.1	29	3.7	8.7	0.75	3.2	0.04	<0.02
28	9.2	21	1.6	8.9	0.85	5.8	0.03	<0.02

	Dy	Er	Eu	Fe2O3	Ga	Gd	Hf	Ho
	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
limite dec.	0.1	0.05	0.03	0.02	0.04	0.05	0.1	0.1
54	0.79	0.47	0.22	63.71	1.3	0.78	0.3	0.17
57	1.19	0.62	0.38	47.08	1.0	1.32	0.4	0.22
61	0.59	0.40	0.16	61.96	0.9	0.68	0.4	0.13
63	0.52	0.25	0.13	50.24	1.0	0.55	0.2	0.09
67	0.99	0.61	0.21	56.13	0.5	0.90	0.1	0.22
78	1.37	1.01	0.18	79.08	9.1	1.18	<0.1	0.32
79	0.60	0.32	0.27	58.10	0.5	1.00	<0.1	0.12
86	0.52	0.27	0.19	59.87	0.6	0.67	<0.1	0.10
106	1.17	0.77	0.26	56.94	<0.5	1.03	0.1	0.25
28	1.46	0.89	0.24	59.50	0.8	1.33	0.1	0.31

	Rb	Sc	SiO2	Sm	Sn	Sr	Sum	Ta
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
limite dec.	0.1	1	0.01	0.05	1	0.5	0.01	0.1
54	0.6	3	33.45	0.82	<1	0.8	99.98	<0.1
57	0.2	2	48.96	1.49	<1	1.0	99.98	<0.1
61	<0.1	4	35.01	0.47	1	3.2	99.95	<0.1
63	0.4	4	46.46	0.62	<1	4.4	99.98	<0.1
67	<0.1	2	41.23	0.66	<1	0.8	99.98	<0.1
78	2.1	64	2.31	0.68	1	19.1	99.59	<0.1
79	1.3	1	39.70	1.18	<1	3.0	99.99	<0.1
86	1.5	1	38.72	0.72	<1	2.7	99.98	<0.1
106	0.2	1	41.14	0.83	<1	1.1	99.97	<0.1
28	<0.1	2	36.29	0.72	<1	0.7	99.98	<0.1

	Ag	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo
	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	0.1	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.01	0.1
54	<0.1	3.7	1.1	<0.1	<0.1	5.1	<0.01	4.5
57	<0.1	7.9	6.4	<0.1	<0.1	12.4	<0.01	13.7
61	<0.1	26.6	3.6	<0.1	0.1	32.3	0.02	13.7
63	<0.1	12.6	0.8	<0.1	<0.1	16.9	<0.01	12.4
67	<0.1	11.7	2.0	<0.1	<0.1	8.1	<0.01	4.9
78	<0.1	19.1	0.5	0.2	<0.1	20.0	0.01	2.4
79	<0.1	7.8	1.0	<0.1	<0.1	2.6	0.01	5.9
86	<0.1	2.8	0.5	<0.1	<0.1	6.5	<0.01	18.0
106	<0.1	39.7	3.2	0.1	0.1	57.5	0.04	6.9
28	<0.1	14.8	3.1	<0.1	0.1	27.0	0.06	3.0

	K2O	La	LOI	Lu
	%	ppm	%	ppm
limite dec.	0.02	0.01	-51	0.01
54	<0.01	6.8	1.3	0.08
57	<0.01	8.8	3.0	0.10
61	<0.01	2.4	1.0	0.07
63	<0.01	5.3	2.2	0.04
67	<0.01	3.2	2.0	0.11
78	<0.01	2.4	6.0	0.15
79	<0.01	9.3	1.7	0.05
86	0.06	8.9	0.8	0.05
106	<0.01	2.8	1.1	0.13
28	<0.01	2.3	3.4	0.14

	Tb	Th	TiO2	Tm
	ppm	ppm	%	ppm
limite dec.	0.01	0.2	0.01	0.01
54	0.13	1.0	0.04	0.08
57	0.21	1.7	0.06	0.09
61	0.11	0.9	0.03	0.07
63	0.07	0.9	0.03	0.04
67	0.15	0.5	0.02	0.09
78	0.23	<0.2	0.12	0.16
79	0.13	0.6	0.02	0.04
86	0.08	0.5	0.01	0.05
106	0.19	0.4	0.01	0.11
28	0.24	0.5	0.02	0.13

	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
limite dec.	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	1
54	8.0	5.8	1.1	<0.5	<0.1	5
57	20.9	5.1	5.6	<0.5	<0.1	20
61	50.7	37.4	17.3	<0.5	0.2	35
63	58.6	5.8	9.3	<0.5	<0.1	52
67	9.6	7.8	8.4	<0.5	<0.1	12
78	2690	9.9	3.5	0.5	<0.1	23
79	3.7	7.5	6.9	<0.5	<0.1	15
86	13.7	3.3	7.7	0.6	<0.1	4
106	112.3	9.7	3.9	<0.5	0.3	46
28	25.7	1.6	18.1	<0.5	<0.1	46

APÊNDICE E – TABELA DE PONTOS

Ponto	X	Y	Litotipo	amostra
1	405129	7719786	quartzito branco sacaroidal	não
2	404858	7719860	quartzito branco sacaroidal	não
3	404797	7719867	contato	não
4	404744	7719897	metaconglomerado	sim
5	404744	7719897	metaconglomerado	sim
6	404682	7719889	metaconglomerado	não
7	404659	7719884	contato	sim
8	404605	7719849	quartzito branco sacaroidal	não
9	404558	7719880	quartzito branco sacaroidal	não
10	404503	7719859	quartzito branco sacaroidal	não
11	404497	7719766	quartzito branco sacaroidal	não
12	404467	7719738	quartzito branco sacaroidal	não
13	404423	7719730	quartzito branco sacaroidal	não
14	404381	7719690	quartzito branco sacaroidal	não
15	404336	7719655	metaconglomerado	não
16	404216	7719579	metaconglomerado	não
17	404307	7719373	metaconglomerado	não
18	404905	7719312	laterita manganésífera	não
19	403967	7719134	metaconglomerado	não
20	404161	7718817	metaconglomerado	não
21	404279	7718667	metaconglomerado	não
22	404419	7718843	metaconglomerado	não
23	404530	7718787	metaconglomerado	não
24	404597	7718747	metaconglomerado	não
25	404639	7718702	metaconglomerado	sim
26	404690	7718682	contato	sim
27	404771	7718664	quartzito branco sacaroidal	não
28	404863	7718630	contato	sim
29	404876	7718696	formação ferrífera bandada	sim
30	404902	7718867	contato	não
31	404893	7718799	formação ferrífera bandada	não
32	404897	7718743	contato	não
33	404791	7722664	granito foliado	sim
34	404792	7722316	granito foliado	não
35	404562	7722175	contato	sim
36	404442	7722144	metaconglomerado	não
37	404313	7722192	metaconglomerado	não
38	404275	7722234	metaconglomerado	não
39	404169	7722307	metaconglomerado	sim
40	404141	7722375	contato	não
41	404070	7722322	quartzito branco sacaroidal	sim
42	403970	7722382	quartzito branco sacaroidal	sim
43	403864	7722407	quartzito branco sacaroidal	não
44	403739	7722411	quartzito branco sacaroidal	não
45	403607	7722370	metaconglomerado	sim
46	403538	7722344	metaconglomerado	não

Ponto	X	Y	Litotipo	amostra
47	404224	7724078	metaconglomerado	não
48	403967	7724006	formação ferrífera bandada	sim
49	403954	7724055	formação ferrífera bandada	sim
50	403914	7724113	laterita manganesífera	sim
51	403955	7724147	formação ferrífera bandada	sim
52	404117	7724364	laterita manganesífera	sim
53	404121	7724447	formação ferrífera bandada	sim
54	403998	7724530	formação ferrífera bandada	sim
55	404027	7724647	formação ferrífera bandada	sim
56	404054	7724661	formação ferrífera bandada	sim
57	404618	7719257	formação ferrífera bandada	sim
58	404678	7719289	formação ferrífera bandada	sim
59	405031	7718988	metaconglomerado	não
60	405038	7718950	metaconglomerado	não
61	405178	7719121	metaconglomerado	não
62	404260	7724851	metaconglomerado	não
63	404043	7724868	formação ferrífera bandada	sim
64	403972	7724718	formação ferrífera bandada	sim
65	404094	7725012	quartzito branco sacaroidal	não
66	404329	7725162	granito foliado	não
67	404329	7725214	granito foliado	não
68	404286	7725353	granito foliado	não
69	404018	7725390	metaconglomerado	não
70	403762	7725297	metaconglomerado	sim
71	403726	7725216	formação ferrífera bandada	sim
72	402829	7725595	metaconglomerado	não
73	402691	7725915	metaconglomerado	não
74	402542	7725798	metaconglomerado	não
75	402608	7726015	laterita manganesífera	sim
76	402938	7726312	laterita manganesífera	sim
77	403011	7726378	quartzito branco sacaroidal	não
78	403072	7726301	formação ferrífera bandada	sim
79	403342	7726061	formação ferrífera bandada	não
80	403413	7725989	formação ferrífera bandada	não
81	403278	7724507	metaconglomerado	não
82	403274	7724391	quartzito branco sacaroidal	não
83	403417	7724334	quartzito branco sacaroidal	não
84	403839	7725007	formação ferrífera bandada	sim
85	404638	7718921	metaconglomerado	sim
86	404887	7718731	formação ferrífera bandada	sim
87	404949	7718627	formação ferrífera bandada	sim
88	404938	7718473	formação ferrífera bandada	sim
89	405004	7718241	formação ferrífera bandada	sim
90	405050	7718218	quartzito milonitizado	não
91	405092	7717800	granito foliado	não
92	405763	7717254	granito foliado	não
93	405363	7717529	quartzito milonitizado	sim
94	405296	7717436	metaconglomerado	não
95	405002	7717542	quartzito milonitizado	não
96	404974	7717422	quartzito milonitizado	sim
97	404949	7717377	quartzito milonitizado	não

Ponto	X	Y	Litotipo	amostra
98	404863	7717313	quartzito milonitizado	não
99	404739	7716719	quartzito milonitizado	não
100	404744	7716595	quartzito milonitizado	sim
101	404726	7716241	quartzito milonitizado	não
102	404610	7716337	quartzito milonitizado	sim
103	405014	7718473	formação ferrífera bandada	não
104	405050	7718174	metaconglomerado	sim
105	405078	7718104	quartzito milonitizado	sim
106	405102	7718026	granito foliado	não
107	405191	7717742	granito foliado	não
108	405176	7717687	granito foliado	não
109	404565	7719232	quartzito milonitizado	não
110	402184	7722646	quartzito ferruginizado	sim
111	402249	7722927	metaconglomerado	sim
112	402407	7722922	metaconglomerado	não
113	402605	7722876	metaconglomerado	sim
114	402672	7722883	metaconglomerado	não
115	402758	7722975	metaconglomerado	não
116	402926	7723035	metaconglomerado	sim
117	403063	7723151	metaconglomerado	não
118	403175	7723095	metaconglomerado	não
119	403295	7723161	metaconglomerado	não
120	403332	7723187	contato	não
121	403412	7723209	quartzito branco sacaroidal	não
122	405382	7724013	granito foliado	não
123	405542	7723843	granito foliado	sim
124	405550	7723664	granito foliado	não
125	405543	7723567	granito foliado	não
126	405859	7723456	granito foliado	não
127	405974	7723386	contato	não
128	404481	7723687	granito foliado	não
129	404419	7723687	contato	não
130	404310	7723666	metaconglomerado	não
131	404287	7723637	metaconglomerado	sim
132	404254	7723623	metaconglomerado	sim
133	404205	7723561	contato	sim
134	404104	7723533	quartzito branco sacaroidal	não
135	404981	7722712	granito foliado	sim
136	404982	7721138	granito foliado	sim
137	405050	7719944	granito foliado	sim
138	405123	7719818	granito foliado	não
139	404918	7719565	metaconglomerado	sim
140	404914	7719445	metaconglomerado	não
141	404810	7719315	metaconglomerado	sim
142	404598	7719265	metaconglomerado	sim
143	404478	7719219	metaconglomerado	sim
144	404298	7719196	metaconglomerado	sim
145	404030	7719365	metaconglomerado	sim
146	402110	7719291	metaconglomerado	sim
147	402330	7719300	metaconglomerado	não
148	402278	7719102	metaconglomerado	não

Ponto	X	Y	Litotipo	amostra
149	402325	7718878	metaconglomerado	não
150	402328	7718681	metaconglomerado	sim
151	402376	7718564	metaconglomerado	não
152	402463	7718164	quartzito branco sacaroidal	não
153	402630	7717850	metaconglomerado	não
154	402841	7718087	metaconglomerado	sim
155	403075	7718110	metaconglomerado	não
156	403161	7718431	metaconglomerado	não
157	403625	7726495	metaconglomerado	não
158	403895	7726477	metaconglomerado	não
159	404172	7726135	granito foliado	não
160	404769	7726159	granito foliado	não
161	404904	7727090	granito foliado	não
162	403568	7726353	formação ferrífera bandada	sim
163	403506	7726334	metaconglomerado	sim
164	403369	7726188	metaconglomerado	não
165	403338	7726435	contato	sim
166	403139	7725775	metaconglomerado	sim
167	403894	7721735	quartzito branco sacaroidal	não
168	403801	7721060	quartzito branco sacaroidal	não
169	403427	7721152	metaconglomerado	sim
170	403219	7721279	metaconglomerado	não
171	403016	7721216	metaconglomerado	não
172	402953	7721248	metaconglomerado	não
173	402907	7721208	metaconglomerado	sim
174	402571	7721025	formação ferrífera bandada	sim
175	402241	7721177	metapelito vermelho amarelado	não
176	402081	7721222	metapelito vermelho amarelado	não
177	401988	7721189	metapelito vermelho amarelado	não
178	401764	7720748	quartzito ferruginizado	sim
179	403248	7726698	formação ferrífera bandada	não
180	405630	7722295	quartzito milonitizado	sim
181	405806	7721734	quartzito milonitizado	sim
182	405654	7721322	quartzito milonitizado	não
183	405571	7720533	quartzito milonitizado	não
184	405443	7720503	granito foliado	sim
185	405839	7720669	quartzito milonitizado	não
186	405932	7720305	granito foliado	sim
187	405948	7720022	granito foliado	sim
188	405938	7719896	granito foliado	não
189	406000	7719817	laterita manganesífera	sim
190	405961	7719774	granito foliado	não
191	405858	7719549	contato	não
192	405767	7718967	quartzito milonitizado	não
193	405310	7718893	granito foliado	não
194	405199	7719114	granito foliado	não
195	405333	7719543	granito foliado	não
196	405387	7719906	granito foliado	não
197	405528	7719979	contato	não

Ponto	X	Y	Litotipo	amostra
198	403003	7727331	formação ferrífera bandada	sim
199	405426	7726635	granito foliado	não
200	405622	7726450	granito foliado	não
201	405850	7726249	contato	não
202	404172	7725972	granito foliado	não
203	403842	7725923	metaconglomerado	não
204	403789	7725911	metaconglomerado	não
205	403490	7725747	laterita manganesífera	não
206	403235	7725656	metaconglomerado	não
207	403139	7725622	quartzito branco sacaroidal	não
208	405168	7725463	quartzito milonitizado	não
209	402984	7725359	contato	não
210	402785	7725344	metaconglomerado	não
211	402551	7725355	metaconglomerado	não
212	402417	7725378	metaconglomerado	não
213	402322	7725433	metaconglomerado	não
214	402125	7725556	metaconglomerado	sim
215	402013	7725594	metaconglomerado	não
216	401879	7725839	metaconglomerado	não
217	402207	7725941	metaconglomerado	não
218	402520	7726310	metaconglomerado	não
219	402728	7726519	formação ferrífera bandada	sim
220	404795	7721546	granito foliado	não
221	404646	7721479	metaconglomerado	não
222	404598	7721465	metaconglomerado	não
223	404555	7721467	formação ferrífera bandada	não
224	404496	7721491	metaconglomerado	não
225	404417	7721505	metaconglomerado	não
226	404320	7721510	metaconglomerado	não
227	404226	7721533	metaconglomerado	não
228	404146	7721518	quartzito branco sacaroidal	não
229	404532	7721270	formação ferrífera bandada	não
230	404795	7721546	granito foliado	não
231	404598	7721465	metaconglomerado	não
232	404496	7721491	metaconglomerado	não
233	404320	7721510	metaconglomerado	não
234	404146	7721518	quartzito branco sacaroidal	não
235	404532	7721270	formação ferrífera bandada	não
236	404555	7721467	formação ferrífera bandada	não

Coordenadas obtidas no Sistema UTM – Datum WGS 84