

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

ANDRÉ FELIPE GONÇALVES DE MARIO

CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA E GEOLÓGICA DAS
FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO GRUPO MACAÚBAS – MG.

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

Orientador: Prof. Dr. Antenor Zanardo

Rio Claro - SP
2015

551.8 Mario, André Felipe Gonçalves de
M341c Caracterização geofísica e geológica das formações
ferríferas do Grupo Macaúbas - MG / André Felipe Gonçalves
de Mario. - Rio Claro, 2015
315 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapa

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

1. Geologia estrutural. 2. Formação Catutiba. 3.
Formação Nova Aurora. 4. Rapitan. I. Título.

ANDRÉ FELIPE GONÇALVES DE MARIO

CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA E GEOLÓGICA DAS
FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO GRUPO MACAÚBAS – MG.

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

Comissão
Examinadora

Prof. Dr. Antenor Zanardo

Prof. Dr. Frederico Meira Faleiros

Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço

Prof. Dr. Noberto Morales

Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho

Rio Claro, SP, 14 de Agosto de 2015

*Dedico este trabalho aos meus amigos, familiares
e a minha companheira de todas as horas, LÍgia.*

Agradecimentos

Seguem meus sinceros agradecimentos aos meus amigos e colegas de trabalho, que acompanharam e apoiaram o desenvolvimento desta pesquisa ao longo dos últimos anos, bem como aos colegas e professores da UNESP de Rio Claro, que colaboraram com isso, tornando possível a realização desta tese.

Agradeço também às empresas Mtransminas Minerações e International Corp., em nome das pessoas de Fábio de Camargos, Mário Júnior de Camargos, Mário Niceu de Camargos, Bruno Bet e Johny Heineberg, pela gentileza em disponibilizar parte dos dados de pesquisa que enriqueceram esse trabalho.

Seguem meus agradecimentos especiais ao meu orientador, Prof. Dr. Antenor Zanardo, aos professores Dr. Sebastião Gomes de Carvalho e Dr. Noberto Morales, e aos meus amigos Carlos Dias, Samuel Hayden, Hugo Gomes, Irakli Inachvili, Guilherme Gomes, Frank Baars, Clarisse Maria e Alexandre Pereira.

Por fim, agradeço todo apoio e carinho de meu pai, Vinicius; minha mãe, Mariza; minha irmã, Camila; meu sobrinho, Yuri Ricardo; e da Lígia Roberta, minha companheira.

Resumo

Os prospectos de minério de ferro da Bacia Macaúbas foram estudados nessa pesquisa que objetivou definir os seus litotipos, classificação, ambiente de deposição, gênese, área de ocorrência e seus respectivos potenciais de exploração. Essas ocorrências foram classificadas como pertencentes a três formações geológicas distintas, podendo-se dar destaque ao metadiamicrito ferrífero do Membro Riacho Poções (Formação Nova Aurora), que foram detalhados e divididos em dois tipos, denominados de metadiamicrito hematítico e ferruginoso, estando essa mineralização relacionada a depósitos glaciais, classificados como tipo Rapitan. Outras ocorrências de formações ferríferas foram identificadas ao sul da Formação Nova Aurora, estando a primeira relacionada a uma sequência de filito, de grafitoso a ferruginoso com níveis sulfetados (pirita e calcopirita), caracterizados pelo autor neste estudo como uma nova unidade, chamada Formação Catutiba. Na porção sul da bacia, descreveu-se uma sequência de formações ferríferas bandadas, do tipo siliciclástica, em meio a uma unidade de quartzito ferruginoso, pertencente ao Membro Superior da Formação Capelinha, sendo esta a última manifestação de deposição de ferro na bacia que foi classificada como sendo uma sequência siliciclástica do tipo acamadada. As mineralizações estão controladas regionalmente pela foliação S_1 , de direção aproximada N30E com mergulho para SE, sendo definidas três fases de mineralização para essas ocorrências, a primeira relacionada à deposição do ferro na bacia, a segunda relacionada à concentração tectono-metamórfica durante a fase de deformação que gerou a foliação principal que controla a mineralização, dobras, falhas e zonas de cisalhamento que controlam a mineralização que sofrerão posteriormente, em uma terceira fase, a ação de processos de concentração supergênica nas regiões de platô. Estimou-se que estas ocorrências ferríferas possuem um potencial de exploração na ordem de 55 bilhões de metros cúbicos, com um teor médio na casa de 20% a 25% de ferro, podendo atingir teores de até 66% nas regiões mais ricas (Formações Nova Aurora e Capelinha). Tal potencial ferrífero aliado às ocorrências de ouro, manganês, cobre, grafita,

quartzo e outros minerais industriais, demonstra o alto potencial prospectivo da Bacia Macaúbas.

Palavras – Chave: Bacia Macaúbas. Minério de Ferro. Formações Ferríferas. Formação Catutiba. Formação Nova Aurora. Grupo Macaúbas. Rapitan. Membro Riacho Poções. Formação Capelinha.

Abstract

The iron ore prospects of Macaúbas Basin were studied in this research aimed to define their rock types, classification, depositional environment, genesis, occurrence area and their respective potential exploration. These occurrences were classified as belonging to three distinct geological formations, being able to highlight the occurrences of ferriferous metadiamicrites on Riacho Poções Member (Nova Aurora Formation), which have been described, detailed and divided into two types, called metadiamicrites hematitic and ferruginous, being this mineralization related to the glacial deposits classified as type Rapitan. Other occurrences of iron formations have been identified in the south of the Nova Aurora Formation, being the first related to a phyllite sequence from graphitic to ferruginous with sulfide levels (pyrite and chalcopyrite), characterized in this study as a new unit, called Catutiba Formation. In the southern portion of the basin, was described a sequence of banded iron formations, the siliciclastic type, in the midst a unit of ferruginous quartzites belonging to the Superior Member of the Capelinha Formation, which is the last manifestation of iron deposition in the basin that was classified as a siliciclastic sequence. The mineralization is regionally controlled by foliation S1, with approximate direction N30E direction to dip to SE, being defined three phases of mineralization to these events. The first one related to iron deposition in the basin, the second one related to the tectonic-metamorphic concentration during the phase of deformation that generated the S1 foliation, folds, faults and shear zones controlling the mineralization that will suffer later in a third phase, the action of supergene concentration processes in the plateau regions. Has been estimated that these iron ore occurrences have an exploration potential of around 55 billion cubic meters with an average grade of 20% to 25% iron, reaching levels of up to 66% in the richest regions (Nova Aurora and Capelinha Formations). This ferriferous potential ally to the gold occurrences, manganese, copper, graphite, quartz and other industrial minerals, demonstrates the high prospective potential of Macaúbas Basin.

Key – Words: Mineral Province North of Minas. Iron ore. Iron formations. Catutiba Formation. Nova Aurora Formation. Macaúbas Group. Rapitan. Riacho Poções Member. Capelinha Formation.

Lista de Ilustrações

Figura 1.1_1 – Localização da área de estudo e os limites municipais	31
Figura 3.4_1 – Vértices do Projeto e Área de Atuação de cada Aeronave e as linhas de voo levantadas (CODEMIG, 2008)	36
Figura 3.4.4_1 – Fluxograma do Processamento de Dados (CODEMIG, 2008)	39
Figura 3.4.4_2 – Mapa aeromagnetométrico do campo total da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas). Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008	41
Figura 3.4.4_3 - Mapa aeromagnetométrico do filtro do sinal analítico da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas). Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008	42
Figura 3.4.4_4 – Mapa aeromagnetométrico da inclinação do sinal analítico da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas). Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008.....	43
Figura 3.4.4_5 – Mapa gamaespectométrico, contagem total de potássio da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas). Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008	44
Figura 3.4.4_6 – Mapa gamaespectométrico, razão Urânio/Tório da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas), Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008	45
Figura 3.5_1 – Imagem <i>ASTER</i> com realce para ocorrências ferríferas da Formação Nova Aurora (vermelho sangue) na região central da área de estudo.....	47
Figura 3.5_2 – Imagem <i>hillshade</i> destacando os lineamentos e as feições estruturais	48
Figura 3.5_3 – Imagem de satélite <i>GEOEYE</i> (<i>ESRI</i> 2015), utilizada como referência para a área de estudo	49
Figura 3.5_4 – Mapa topográfico com elevação (<i>ESRI</i> 2015), contendo acessos, municípios, curvas de nível e principais drenagens da área de estudo.....	50
Figura 4.1.1_1 – Distribuição temporal das formações ferríferas segundo classificação de Gross, 1973 (modificado de Gross, 1973).....	56
Figura 4.1.1_2 – Classificação de Gross (1973) para as FF's e os respectivos ambientes tectônicos (modificado de COSTA, 2007)	57
Figura 4.1.2.3_1 – Concentração dos principais depósitos ferríferos ao longo do tempo geológico (modificado de KLEIN, 2005).....	60
Figura 4.1.2.3_2 – Distribuição dos depósitos glaciais Neoproterozoicos e sua associação com as formações ferríferas (adaptado de YEO, 1986).....	60

Figura 4.1.2.3_3 – Modelo paleoceanográfico para a deposição de formação ferrífera no Neoproterozoico (Modificada de BEUKES e KLEIN, 1992)	61
Figura 4.1.2.3_4 – Modelo hipotético da sedimentação glaciomarinha (Modificada de EDWARDS, 1986)	63
Figura 4.3_1 – Diagrama mostrando modelo de constituição de formações ferríferas bandadas marinhas (Modificada de CASTRO 1994)	70
Figura 4.3_2 – Diagrama mostrando modelo de formação de formações ferríferas bandadas continentais (Modificada de CASTRO 1994)	71
Figura 4.4.3_1 -. Evolução da produção mundial e brasileira de minério de ferro entre 2000 e 2011. Fonte: DNPM, 2011	77
Figura 4.4.6_1 – Preço do minério de ferro (CIF) no mercado internacional para exportação nos últimos 5 anos (www.infomine.com).....	83
Figura 4.4.6_2 – Preço do minério de ferro (CIF) no mercado internacional, para exportação no período de 2014 a 2015 (www.infomine.com)	84
Figura 5_1 - Província Mantiqueira e seus Orógenos (Modificado de HEILBRON et al., 2004).....	86
Figura 5_2 - Seções esquemáticas do modelo evolutivo do Orógeno Araçuá-Congo Ocidental (fora de escala); adaptado de PEDROSA-SOARES et al., 2001. In: <i>Projeto Extremo Sul da Bahia</i> , CPRM, 2002.....	88
Figura 5.1_1 - Mapa Geológico da Porção Setentrional da Faixa Araçuá (Modificada de LIMA et al., 2002). Em vermelho está marcada a área que contempla a região estudada...	91
Figura 6.1_1 – Imagem do sensor <i>ASTER</i> (espectro visível) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas, sendo que a mesma foi utilizada como padrão para o estudo dessas ocorrências nos produtos gerados a partir do processamento geofísico	101
Figura 6.1_2 – Imagem do Filtro do Sinal Analítico (Magnetometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo), mostrando que as formações ferríferas geram uma anomalia positiva que continua além da região visível na imagem de satélite da Figura 6.1_1, demarcada em azul	102
Figura 6.1_3 – Imagem do Filtro do Sinal Analítico (Magnetometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo), com o	

decaimento da amplitude do filtro do sinal analítico na direção SE (seta amarela), indicando a direção de mergulho das ocorrências anômalas estudadas	103
Figura 6.1_4 – Imagem do Campo Total (Magnetometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo), mostrando a ocorrência de um dipolo magnético relacionado a elas.....	105
Figura 6.1_5 – Imagem da razão U/Th (gamaespectometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo) da Formação Nova Aurora. É possível notar que este produto não delimita as ocorrências ferríferas.	106
Figura 6.1_6 – Imagem de contagem de K (gamaespectometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo), mostrando a ocorrência de um baixo de K coincidente com as ocorrências extraídas da imagem de satélite, mostrando alta aderência da região de baixo K com a camada ferrífera da Formação Nova Aurora.....	107
Figura 6.1_7 – Imagem do filtro do sinal analítico (magnetometria) mostrando os tipos de anomalias identificadas na área de estudo.....	109
Figura 6.1_8 – Imagem do filtro do sinal analítico (magnetometria) mostrando as anomalias magnéticas modeladas e interpretadas como prováveis ocorrências de formação ferrífera, de acordo com o seu grau de correspondência com as ocorrências previamente conhecidas da Formação Nova Aurora	111
Figura 6.2_1 – Imagem da relação U/Th (gamaespectometria) mostrando que a anomalia alta estruturada na região central da área na direção Norte – Sul marca as rochas do Supergrupo Espinhaço que afloram em meio ao Grupo Macaúbas, sendo que as principais ocorrências de formação ferrífera estão localizadas a leste dessa anomalia	113
Figura 6.2_2 – Imagem de contagem total de potássio (K – gamaespectometria) mostrando que as regiões de alta contagem de potássio modelam as áreas de ocorrência dos complexos granítico-gnáissicos que ocorrem na área de estudo	114
Figura 6.2_3 – Imagem do sinal analítico (AS – magnetometria) mostrando que as anomalias magnéticas modeladas a leste do Supergrupo Espinhaço estão relacionadas com as áreas de ocorrência das Formações Ferríferas da Formação Nova Aurora, Membro Riacho Poções	115
Figura 6.3_1 – Imagem do sinal analítico (esquerda) e contagem total de potássio (direita) mostrando a relação de ocorrências das formações ferríferas nas regiões onde ocorrem	

anômalas positivas do filtro do sinal analítico associadas a baixos de contagem de potássio. Essa associação marca a assinatura geofísica das formações ferríferas do Membro Riacho Poções.....	117
Figura 6.3_2 – Imagem do sinal analítico (esquerda) e imagem de satélite do sensor <i>ASTER</i> (direita) mostrando que, nas regiões onde se tem a associação de menor espessura aparente da anomalia com alta amplitude do sinal analítico ocorrem óxidos de ferro visíveis na imagem de satélite, indicando a ocorrência de formações ferríferas com maiores concentrações de ferro no Membro Riacho Poções da Formação Nova Aurora.....	118
Figura 6.4_1 – Imagem do sinal analítico das anomalias interpretadas como pertencentes ao membro Riacho Poções, na porção norte da Província. Essas anomalias são coincidentes com as baixas de contagem de potássio, mas possuem menor intensidade magnética que as anomalias do setor central da Província	120
Figura 6.4_2 – Imagem de satélite do sensor <i>ASTER</i> , mostrando em detalhe uma das anomalias interpretadas como pertencente ao Membro Riacho Poções. Na imagem de satélite, não é possível perceber alterações causadas pela concentração de ferro na superfície do platô	121
Figura 6.5_1 – Imagem do Sinal Analítico mostrando as anomalias interpretadas como formação ferrífera na região de ocorrência da Formação Capelinha. Estas apresentam um mergulho para NW de acordo com o decaimento da intensidade do filtro do sinal analítico que modela o topo e base da camada magnética	123
Figura 6.5_2 – Imagem do Sinal Analítico mostrando as anomalias interpretadas como formação ferrífera na região sul, sendo que o grupo de anomalia com maior intensidade na porção centro norte da imagem estão relacionadas com as ocorrências do membro Riacho Poções e as anomalias a leste e sul cruzam regiões mapeadas como Formações Chapada Acauã e Nova Aurora, apesar de estarem no mesmo <i>trend</i> magnético. Tal fato pode indicar conflito na classificação destas anomalias, que se apresentam com menor intensidade e maior espalhamento magnético se comparadas com as anomalias interpretadas como da Formação Nova Aurora	124
Figura 6.5_3 - Imagem do Sinal Analítico mostrando as anomalias interpretadas como formação ferrífera e relacionadas com a unidade geológica de sua região de ocorrência..	125

Figura 7_1 – Coluna estratigráfica proposta para o Grupo Macaúbas (Modificada de PEDROSA-SOARES et al., 2007)	127
Figura 7.1_1 – Seções geológicas de sondagem realizadas em regiões distintas de ocorrência da Formação Nova Aurora (A), mostrando a ocorrência dos metadiamicritos no topo e base da camada (B) e, por vezes, intercalado com os metadiamicritos ferríferos (C)	129
Figura 7.1_2 – Coluna estratigráfica proposta pelo autor para a Formação Nova Aurora, detalhando o Membro Riacho Poções e sua relação estratigráfica com os metadiamicritos não ferríferos.....	130
Figura 7.2.1_1 – Colúvio constituído de fragmentos de quartzo, metadiamicrito e laterita. Essas ocorrências são encontradas normalmente nas regiões dissecadas por vales	131
Figura 7.2.2_1 – Solo laranja silte-argiloso, não magnético, típico das regiões de ocorrência de metadiamicrito	132
Figura 7.2.3_1 – Laterita mapeada na região de platô onde ocorrem metadiamicritos de matriz quartzo micácea.....	133
Figura 7.3.1_1 – Afloramento de metadiamicrito com matriz quartzo-micácea.....	135
Figura 7.3.1_2 – Afloramento do metadiamicrito com matriz quartzo-micácea, de coloração avermelhada, e pequeno clasto estirado segundo a foliação. A linha amarela marca a foliação	135
Figura 7.3.1_3 – Afloramento do metadiamicrito com matriz quartzo-micácea, no mesmo ponto da figura 7.3.1_2, mostrando a diferenciação de cor, neste caso, bege. Nota-se um pequeno fragmento na ponta do martelo, de coloração avermelhado, do mesmo afloramento	136
Figura 7.3.1_4 – Afloramento do metadiamicrito com matriz quartzo-micácea com clastos de granitoides em sua matriz, marcados com círculos tracejados em amarelo	136
Figura 7.3.2_1 – Afloramento do quartzito branco, intemperizado, com coloração variando de amarela a bege, com forte foliação (130/54) e grau de compactação moderado.....	137
Figura 7.3.2_2 – Quartzito de coloração amarela, friável e com granulometria média. Ele é composto por quartzo e um pouco de mica (buscar fotos melhores que mostram mais os aspectos da rocha).....	138

Figura 7.4_1 – Dendograma das amostras analisadas com os elementos Fe, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, P e LOI.....	140
Figura 7.4_2 – <i>Boxplot</i> para o elemento Fe com os patamares marcados em azul	141
Figura 7.4.1_1 – Formação ferrífera hematítica foliada, preservada em meio à canga	143
Figura 7.4.1_2 – Bloco de canga ferruginosa com matriz areno-argilosa, com fragmentos de hematita	144
Figura 7.4.1_3 – Afloramento em um “platô” de Canga ferruginosa próxima à vila de Nova Aurora.....	144
Figura 7.4.1_4 – Bloco da canga hematítica com capeamento de alteração gerado a partir de processos de goethitização e/ou limonitização.....	145
Figura 7.4.2_1 - Afloramento de quartzito ferruginoso a oeste das ocorrências de metadiamicrito ferrífero na região da vila de Nova Aurora.....	147
Figura 7.4.2_2 – Bloco de quartzito ferruginoso, com textura média a grossa, composta basicamente de quartzo e magnetita.....	147
Figura 7.4.2_3 – Afloramento de quartzito ferruginoso, com dobras em “M”, com plano axial 075/30, eixo 035/40 e flancos 120/30 e 000/30. Direção da foto: N55	148
Figura 7.4.3_1 – Filito hematítico de coloração cinza, contendo hematita, amostrado no furo de sondagem FD001 da Mtransminas Minerações Ltda.....	150
Figura 7.4.4_1– Afloramento de metadiamicrito hematítico no alto do platô de canga ferruginosa, com detalhe a preservação da foliação	151
Figura 7.4.4_2 – Domínio central de ocorrência da Formação Nova Aurora, Membro Riacho Poções. Nessa região, ocorrem as principais e mais significativas ocorrências de metadiamicrito hematítico	153
Figura 7.4.4_3 – Ocorrência de metadiamicrito hematítico pesquisada em uma área de forte intensidade magnética e com a ocorrência de um platô de canga, à esquerda. Abaixo, apresenta-se a seção de sondagem que verificou, nessa região, a ocorrência de um chapéu de ferro associada a uma camada de metadiamicrito hematítico com alto ângulo de mergulho, 70 graus para SE.....	154
Figura 7.4.4_4 – Afloramento de metadiamicrito especularítico em detalhe. O grau de magnetismo nessas ocorrências é baixo e a presença de clastos é praticamente inexistente	155

Figura 7.4.4_5 – Metadiamicrito hematítico friável, sem a presença de clastos	156
Figura 7.4.4_6 – Metadiamicrito hematítico com textura brechada (Furo FD0003, alvo Nova Aurora).....	156
Figura 7.4.4_7 – Bloco de “BIF”, com dobras parasíticas e alternância de bandas ferríferas com níveis quartzosos.....	157
Figura 7.4.4_8 - Fotomicrografia de um metadiamicrito hematítico que mostra clivagem de crenulação dada pela orientação de plaquetas de especularita, aparecendo alguns grãos de magnetita martitizada nos micrólitos. Nicóis paralelos. Luz refletida	159
Figura 7.4.5_1 – Metadiamicrito ferruginoso com clastos e fragmentos de quartzo indicando rotação por cisalhamento e constituindo formas sigmoidais	160
Figura 7.4.5_2 – Fotomicrografia obtida por luz refletida e polarizadores descruzados do metadiamicrito ferruginoso, mostrando clivagem de crenulação diferenciada com concentração de hematita especular nos septos.....	161
Figura 7.4.5_3 – Afloramento de metadiamicrito ferruginoso friável de coloração cinza médio, indicando a presença de hematita na matriz da rocha	162
Figura 7.4.5_4 – Afloramento de metadiamicrito pobre próximo ao contato com o quartzito, apresentando bandas centimétricas de quartzo e magnetita	163
Figura 7.4.5_5 – Furo de sondagem com a ocorrência de zona cloritizada com magnetita e quartzo, e ocorrência de cerca de 3% de pirita na matriz da rocha	164
Figura 7.4.5_6 – Detalhe da pirita disseminada na matriz do metadiamicrito	164
Figura 7.4.5_7 – Fotomicrografia da seção polida, sob luz refletida, aumento de 20x e polarizadores paralelos, mostrando cristal de magnetita martitizada apresentando intensa porosidade e 1% de inclusões sendo principalmente de quartzo.....	166
Figura 7.4.5_8 – Fotomicrografia da seção polida, obtida com luz transmitida com nicóis cruzados, mostra um metadiamicrito ferruginoso com apatita. A elipse em vermelho mostra seixo de fosforito lenticular. Seção delgada muito espessa (espessura superior a 70µm)..	166
Figura 7.5_1 – Localização aproximada das ocorrências da Formação Catutiba (Fonte Geográfica – IBGE).....	168
Figura 7.5_2 – Coluna litoestratigráfica elaborada para a Formação Catutiba	169
Figura 7.5_3 – Mapa geológico regional elaborado para a área mapeada como pertencente à Formação Catutiba.....	170

Figura 7.5.1_1 – Afloramento de filito grafitoso de coloração cinza médio.....	172
Figura 7.5.1_2 – Detalhe do filito grafitoso mostrando a ocorrência de cristais de magnetita	172
Figura 7.5.2_1 – Afloramento com a ocorrência de sulfatos na região da barragem da Usina de Irapé, indicando o intemperismo dos sulfetos e a liberação de enxofre da rocha	173
Figura 7.5.2_2 – Detalhe da ocorrência de filito com pirita em amostra coletada na região da Barragem da Usina de Irapé.....	174
Figura 7.5.2_3 – Detalhe do filito grafitoso com pirita e traços de calcopirita	174
Figura 7.5.2_4 – Aspectos texturais do filito grafitoso vista em lâmina com nicóis cruzados; aumento 25X (ARBÓREA, 1996).....	175
Figura 7.5.2_5 – Lâmina com cristais de pirita em preto ao centro, com massa carbonática ao seu redor, imagem vista com nicóis cruzados; aumento de 100x (ARBÓREA, 1996) .	176
Figura 7.5.3_1 – Afloramento de filito a xisto ferruginoso, com detalhe da rocha no lado inferior esquerdo da imagem	177
Figura 7.5.3_2 – Amostras de filito ferruginoso cinza, crenulado, apresentando oxidações de coloração vermelha e branca a amarelada, que marcam a alternância de quartzo e óxidos de ferro na foliação	177
Figura 7.5.4_1 – Morrote de hematita/goethita compacta visto em campo	179
Figura 7.5.4_2 – Bloco de hematita/goethita compacta amostrado em um dos morrotes de ocorrência de blocos ferríferos. São vistas na rocha algumas venulações de quartzo e provável carbonato alterado.....	179
Figura 7.5.4_3 – Mapa geológico de detalhe da região de ocorrência dos blocos ferríferos nos arredores da vila de Catutiba e a localização das trincheiras abertas para estudar essas ocorrências.....	182
Figura 7.5.4_4 – Blocos de formação ferrífera espalhados sobre o filito ferruginoso. Esses blocos não apresentaram continuidade em subsuperfície, possuindo uma espessura média de 0,5 metros	183
Figura 7.5.4_5 – Bloco de hematita/goethita coletado no nível de colúvio das trincheiras com traço de calcopirita, circulado em amarelo na foto.....	183
Figura 7.5.4_6 – Filito ferruginoso descrito na trincheira CTB003, abaixo da linha de blocos de colúvios ferríferos compactos.	184

Figura 7.6_1 – Imagem do sinal analítico com os pontos geológicos descritos na região de Capelinha – MG. Nas anomalias a Oeste, constatou-se a presença de formação ferrífera, sendo que as anomalias a Leste estão relacionadas à presença de rocha máfica a ultramáfica	186
Figura 7.6_2 – Coluna estratigráfica da Formação Capelinha, com a inclusão do nível de formação ferrífera visto nos platôs na região de transição do membro inferior para o superior	187
Figura 7.6_3 – Mapa geológico do Membro Superior da Formação Capelinha, sobre a imagem de satélite <i>LANDSAT 7</i> , para a região de ocorrência das formações ferríferas, detalhando o nível de ocorrência das mesmas sobre a imagem de satélite que mostra a geomorfologia da região e a proximidade dessas ocorrências com as quebras positivas do terreno.....	188
Figura 7.6_4 – Trincheira visitada na região de ocorrência das formações ferríferas, mostrando um solo de alteração vermelho magnético, seguido por um nível de saprólito e por uma formação ferrífera bandada na base.....	189
Figura 7.6_5 – Formação Ferrífera bandada composta por hematita, magnetita e quartzo, com cristais de magnetita preservados em meio ao bandamento	189
Figura 7.6_6 – Formação ferrífera alterada apresentando enriquecimento em ferro devido a processos supergênicos que causaram a lixiviação da sílica, conferindo uma textura de pastilhas para os minerais de ferro orientados conforme o bandamento original que não foram remobilizados do perfil	190
Figura 7.6_7 – Imagem geofísica do filtro do sinal analítico mostrando os processos de pesquisa junto ao DNPM e os furos de sondagem realizados pela empresa Cleveland Mining no projeto Minas Novas, para prospecção de minério de ferro divulgada em seu <i>site</i> (Retirada de http://clevelandmining.com.au/minas-novas-projects).....	191
Figura 7.6_8 – Seção geológica esquemática do furo de sondagem MA2RC00002 realizado pela empresa Cleveland Mining e divulgada em seu <i>site</i> (Modificada de http://clevelandmining.com.au/minas-novas-projects).....	191
Figura 8.1_1 – Lineamentos magnéticos e fraturas interpretadas a partir da imagem de satélite e aerogeofísica visualizadas sobre a imagem de satélite <i>LANDSAT 7</i>	194

Figura 8.2.1_1 – Imagem do sensor <i>ASTER</i> ilustrando os principais lineamentos regionais	197
Figura 8.2.1_2 – Seção de sondagem mostrando o deslocamento das camadas, tendo como guia o horizonte mineralizado em ferro, que mostra um deslocamento de aproximadamente 20 metros paralelo à foliação principal S_1 (direção de visada N30)	198
Figura 8.2.1_3 – Intervalos brechados, fraturados e com especularita friável descritos no furo FD007, primeiro furo a leste na seção da figura 9.2_2	199
Figura 8.2.1_4 – Seção de sondagem na região sul da Formação Nova Aurora, nas proximidades do Rio Peixe Bravo, o contato oeste é marcado pela presença de uma falha (Direção de visada N30)	199
Figura 8.2.2_1 - Foliação S_1 dobrada (Direção da foto N20), vista em um afloramento de metadiamiccito	201
Figura 8.2.2_2 – Diagrama polar para as medidas da foliação S_1 , Região Norte da área de estudo	202
Figura 8.2.2_3 – Diagrama polar para as medidas da foliação S_1 , Região Centro Sul da área de estudo	202
Figura 8.2.2_4 – Mapa do sinal analítico a oeste do Rio Peixe Bravo mostrando a inflexão para oeste da direção da camada na região norte do platô, adquirindo direção N-S	203
Figura 8.2.2_4 – Fotomicrografia de metadiamiccito hematítico que mostra clivagem de crenulação dada pela orientação de plaquetas de especularita. Nicóis paralelos. Luz refletida	204
Fonte: Elaborada pelo autor	204
Figura 8.2.2.1_1 – Dobras modeladas pelo filtro do sinal analítico na região central de ocorrência do Membro Riacho Poções, Formação Nova Aurora	206
Figura 8.2.2.1_2 – Diagrama polar para as medidas de foliação S_1 (N=346), dobra sul ...	207
Figura 8.2.2.1_3 – Testemunho de sondagem mostrando o contato de base da formação ferrífera (metadiamiccito ferruginoso) com o metadiamiccito. Detalhe para a ocorrência de veios de quartzo amostrados em todos os furos que interceptaram o contato basal da dobra sul	208

Figura 8.2.2.1_4 – Foliações medidas na região de junção da dobra com a serra de direção NE-SE com mergulho para SE a norte, com destaque para a mudança de direção das foliações ao sul da fratura em que ocorre o ponto de inflexão das serras	209
Figura 8.2.2.3_1 – Diagrama de rosetas para as medidas de fraturamento tomadas em campo	211
Figura 8.3_1 – Quebras positivas que marcam o limite do platô na área central de ocorrência da Formação Catutiba. Detalhe para a linha vermelha que segue a direção das quebras positivas do platô com direções variando de norte-sul para NE-SE	212
Figura 8.3_2 – Fraturas extraídas da imagem de satélite para a área de ocorrência da Formação Catutiba. Podem-se destacar duas famílias de fraturas, com direções NW-SE e NE-SW, respectivamente.....	214
Figura 8.3_3 – Medidas estruturais realizadas em campo para a foliação S_1 na região de ocorrência da Formação Catutiba	215
Figura 8.3_4 – Diagrama polar para as medidas de foliação S_1 para a Formação Catutiba	216
Figura 8.4_1 – Fraturas extraídas da imagem de satélite para a região de ocorrência das formações ferríferas da Formação Capelinha, Membro Superior	217
Figura 8.4_2 – Medidas estruturais realizadas em campo para a foliação S_1 na região de ocorrência das Formações Ferríferas do Membro Superior da formação Capelinha, com o modelo digital do terreno (MDT), ao fundo	219
Figura 8.4_3 – Medidas estruturais realizadas na região de ocorrência das formações ferríferas mostrando a existência de dobras com eixo na direção N35E.....	220
Figura 8.4_4 – Diagrama polar para as medidas de foliação S_1 para a região de ocorrência das formações ferríferas do Membro Superior da Formação Capelinha	221
Figura 9_1 - O Orógeno Araçuaí na região central do Paleocontinente Gondwana (modificado de ALKMIM et al., 2006). FA = traços estruturais da Faixa de Dobramentos Araçuaí (Almeida, 1977). ZI = zona de interferência do Orógeno Araçuaí com o Aulacógeno Paramirim	223
Figura 9_2 – Formações ferríferas do Grupo Macaúbas. Detalhe para a ocorrência dessas unidades a leste do Supergrupo Espinhaço.....	226

Figura 9.1_1 – Região de ocorrência dos metadiamicritos hematíticos, destacando as ocorrências da região central que possuem teores de ferro mais elevados e menor espessura da camada, indicando a ocorrência de uma deformação mais dúctil nesta região	229
Figura 9.2_1 – Perfil esquemático proposto para a formação Catutiba, onde as ocorrências sulfetadas com magnetita, vistas nas cotas mais baixas se oxidaram, formando filito ferruginoso e <i>gossans</i> na região de platô.....	232
Figura 10.1_1 – Coluna estratigráfica do Membro Riacho Poções (Modificada de VIVEIROS et. al., 1978)	236
Figura 10.1_2 – Região de ocorrência considerada para o cálculo do potencial de exploração para o metadiamicrito hematítico e ferruginoso do Membro Riacho Poções da Formação Nova Aurora	238
Figura 10.2_1 – Em azul área de influência interpretada e considerada como potencial para a exploração de formações ferríferas em Minas Novas – MG	239
Fonte: Elaborada pelo autor.....	239
Figura 10.3_1 – Região de ocorrência dos filitos ferruginosos da Formação Catutiba.....	241

Lista de Tabelas

Tabela 4.4.1_1 Tipos de minérios de ferro (Modificada de PINHEIRO, 2000)	72
Tabela 4.4.2_1 – Reserva Mundial de Minério de Ferro.....	75
Tabela 4.4.3_1 - Os maiores produtores de Minério de Ferro em 2011-2012	76
Tabela 4.4.4_1 - Principais estatísticas – Brasil	80
Tabela 7.4.1_1 – Teores médios das cangas amostradas e analisadas quimicamente a partir de testemunhos de sondagem na área de estudo para o elemento ferro e seus contaminantes. O método de análise utilizado foi o de fluorecência de raios-X.....	146
Tabela 7.4.2_1 - Teores médios do quartzito ferruginoso amostrados nos testemunhos de sondagem e analisados quimicamente na área de estudo para o elemento ferro e seus contaminantes. O método de análise utilizado foi o de fluorecência de raios-X.....	149
Tabela 7.4.4_1 – Teores médios dos metadiamictitos hematíticos amostrados em testemunhos de sondagem e analisados quimicamente na região central de ocorrência do Membro Riacho Poções. O método de análise utilizado foi o de fluorecência de raios-X	159
Tabela 7.4.5_1 – Teores médios para o metadiamictito ferruginoso amostrado em testemunhos de sondagem e analisados quimicamente na região central de ocorrência do Membro Riacho Poções. O método de análise utilizado foi o de fluorecência de raios-X	167
Tabela 7.5.4_1 – Coordenadas de início e fim das trincheiras e poços abertos no município de Leme do Prado e Gonçalves Dias - MG	180
Tabela 7.5.4_2 – Resultado da análise química realizada nos blocos de hematita/goethita amostrados nas trincheiras abertas	181
Tabela 7.5.4_3 – Resultado das análises químicas realizadas nas ocorrências de filito ferruginoso amostradas nas trincheiras abertas	184

Lista de Abreviaturas e Siglas

- ANA: Agência Nacional de Águas;
- AS: *Analytical Signal* (Sinal Analítico);
- BIF: *Banded Iron Formation* (Formação Ferrífera Bandada);
- Bt: Bilhão de tonelada;
- CODEMIG: Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais;
- COMIG: COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS;
- CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais;
- CSN: Companhia Siderúrgica Nacional;
- CT: Campo Total;
- CVRD: Companhia Vale do Rio Doce;
- DIPLAM: Diretoria de Planejamento e Desenvolvimento da Mineração;
- DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral;
- DPM: Departamento de Petrologia e Metalogenia;
- DX: Derivada do eixo X;
- DY: Derivada do eixo Y;
- DZ: Derivada do eixo Z;
- ESRI: *Environmental Systems Research Institute*;
- FFB: Formação Ferrífera Bandada;
- FFBs: Formações Ferríferas Bandadas;
- GIS: *Geographic Information System* (Sistema de Informação Geográfica);

- Ga: bilhões de anos;
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- IBRAM: Instituto Brasileiro de Mineração;
- IGAM: Instituto Mineiro de Gestão das Águas;
- INDI: Instituto de Desenvolvimento Integrado.
- INMET: Instituto Nacional de Meteorologia;
- K: Potássio;
- MDF: Metadiamictito Ferruginoso;
- MDH: Metadiamictito Hematítico;
- MDI: Metadiamictito;
- Mt: Milhão de tonelada;
- NA: Nova Aurora;
- nT: Nano Tesla;
- nT/m: Nano Tesla por Metro;
- Th: Thório;
- *SRTM: Shuttle Radar Topography Mission;*
- U: Urânio;
- UNESP: Universidade Estadual Paulista;
- UPGRH: Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos;
- *USGS: United States Geological Survey;*

Sumário

1	Introdução	29
1.1	Localização e Vias de Acesso.....	31
2	Objetivos	32
3	Métodos Utilizados	33
3.1	Pesquisa Bibliográfica	33
3.2	Pesquisa, Levantamento e Integração de Dados em GIS.....	33
3.3	Cessão de Dados de Pesquisa	34
3.4	Levantamento Aerogeofísico.....	35
3.4.1	Aeromagnetômetros	37
3.4.2	Aerogamaespectrômetros	37
3.4.3	Magnetômetro Terrestre	38
3.4.4	Processamento dos Dados.....	38
3.5	Sensoriamento Remoto.....	46
3.6	Mapeamento Geológico	51
3.7	Descrição de Testemunhos e Chips de Sondagem	52
3.8	Petrografia.....	52
3.9	Interpretação das Unidades Geológicas de Interesse.....	53
3.9.1	Formação Nova Aurora – Membro Riacho Poções	53
3.9.2	Outras Unidades Geológicas	54
4	Revisão Bibliográfica.....	55
4.1	Tipos de Depósitos Ferríferos	55
4.1.1	Formações Ferríferas Acamadadas	56
4.1.2	Classificação de Gross (1973).....	58

4.2	Gênese dos Depósitos Ferríferos	63
4.2.1	Discussão sobre Condições do Ambiente	64
4.2.2	Classificação de James (1954).....	66
4.3	FFB's Continentais e Marinhas	69
4.4	Análise Econômica e de Mercado do Minério de Ferro.....	71
4.4.1	Tipos e Usos do Minério de Ferro.....	71
4.4.2	Reservas Mundiais e Brasileiras.....	74
4.4.3	Produção Mundial e Brasileira.....	75
4.4.4	Comércio	78
4.4.5	Perspectivas de Mercado	81
4.4.6	Estimativa de Preços	82
5	Geologia Regional.....	85
5.1	Grupo Macaúbas.....	89
5.1.1	Formação Duas Barras.....	92
5.1.2	Formação Domingas	92
5.1.3	Formação Rio Peixe Bravo	93
5.1.4	Formação Serra do Catuni	94
5.1.5	Formação Nova Aurora	94
5.1.6	Formação Chapada de Acauã.....	95
5.1.7	Formação Ribeirão da Folha	96
5.1.8	Formação Salinas.....	97
5.1.9	Formação Capelinha	98
6	Sensoriamento Remoto e Geofísica	100
6.1	Análise dos Dados	100
6.2	Interpretação das Anomalias.....	112

6.3	Anomalias Setor Central	116
6.4	Anomalias Setor Norte	119
6.5	Anomalias Setor Sul.....	122
7	Geologia Local	126
7.1	Formação Nova Aurora	128
7.2	Depósitos Recentes	131
7.2.1	Colúvio.....	131
7.2.2	Solo	132
7.2.3	Laterita.....	133
7.3	Formação Nova Aurora	134
7.3.1	Metadiamicrito.....	134
7.3.2	Quartzito	137
7.4	Membro Riacho Poções	138
7.4.1	Canga	142
7.4.2	Quartzito Ferruginoso	146
7.4.3	Filito Hematítico	149
7.4.4	Metadiamicrito Hematítico	150
7.4.5	Metadiamicrito Ferruginoso	160
7.5	Formação Catutiba.....	167
7.5.1	Filito Grafítico.....	171
7.5.2	Filito Grafítico Sulfetado	173
7.5.3	Filito Ferruginoso	176
7.5.4	Lentes de Hematita/Goethita	178
7.6	Formação Capelinha	185
8	Geologia Estrutural	192

8.1	Aspectos Gerais	192
8.2	Formação Nova Aurora	195
8.2.1	Estruturas Macroscópicas	195
8.2.2	Estruturas Mesoscópicas.....	200
8.3	Formação Catutiba.....	211
8.4	Formação Capelinha	216
9	Evolução e Gênese das Mineralizações	222
9.1	Formação Nova Aurora – Membro Riacho Poções.....	227
9.2	Formação Catutiba.....	231
9.3	Formação Capelinha	233
10	Potencial de Exploração das Formações Ferríferas.....	235
10.1	Formações Ferríferas – Nova Aurora	235
10.2	Formações Ferríferas – Capelinha	238
10.3	Formação Catutiba	240
11	Considerações e Conclusões.....	243
	Referências Bibliográficas	247
	Anexos	263
	Anexo A – Mapa de Pontos Descritos em Campo	264
	Anexo B – Mapa de Pontos Litológicos – Formação Nova Aurora.....	266
	Anexo C – Mapa de Pontos Litológicos – Formação Catutiba	268
	Anexo D – Mapa de Pontos Litológicos – Formação Capelinha.....	270
	Anexo E – Mapa Geológico Regional – Membro Riacho Poções.....	272
	Anexo F – Mapa Geológico Regional – Formação Catutiba	274
	Anexo G – Mapa Geológico Regional – Formação Capelinha	276
	Anexo H – Descrições Petrográficas.....	278

1 Introdução

As formações ferríferas do Grupo Macaúbas são estudadas por diversas empresas e autores desde a década de 1970, esta localizada na faixa Araçuaí Setentrional, onde ocorrem exposições das rochas da bacia Macaúbas e do Supergrupo Espinhaço. Pode-se dar destaque para as ocorrências minerais de minério de ferro, cobre, ouro e grafita na área da província mineral, havendo também, em menor expressão a ocorrência de manganês, níquel e quartzo.

A Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) explora a área desde 1973, onde realizou um total de 71 furos de sondagem diamantada, totalizando 9.882,00m perfurados. Além disso, eles realizaram mapeamento regional, 147 poços, 160 metros de galerias, 132 metros de trincheiras, 55 lâminas petrográficas, 3500 amostras e vários programas de ensaios metalúrgicos, conforme informado na publicação intitulada “Principais Depósitos Minerais do Brasil”, Departamento de Produção Mineral (DNPM) e CVRD, 1986. Após os trabalhos da CVRD, pioneiros na região, outras empresas começaram a investir no estudo dessas ocorrências devido à sua grande abrangência regional, sendo que, em um segundo momento, a Mtransminas Minerações Ltda iniciou suas pesquisas em áreas adjacentes à Mineração Vale S/A, no ano de 2004. Em um terceiro momento, que foi marcado por um grande crescimento nos investimentos em exploração mineral durante o período de 2006 a 2012 outras empresas iniciaram seus trabalhos de exploração nesta província ferrífera, colocando a mesma em evidência tanto no cenário nacional quanto no internacional.

O crescimento da economia mundial na última década ocasionou o aumento do consumo de matérias primas principalmente pelos países emergentes, em especial pela China, refletindo em investimentos no setor mineral brasileiro e na retomada da pesquisa de novos depósitos de metais base e de minério de ferro. No caso do minério de ferro, os principais depósitos brasileiros (Quadrilátero Ferrífero e Carajás) já são explorados por grandes empresas que detêm os

direitos minerários nessas áreas. Desta maneira, a falta de disponibilidade de áreas na região das principais províncias, aliada ao alto preço desse minério, motivou as empresas do setor a investirem na busca de novas áreas e na viabilização de depósitos com teores mais baixos e/ou com logística desfavorável, como a Bacia Macaúbas, que se tornaram, então, alvo de pesquisa para as empresas que pretendiam expandir suas reservas minerais no Brasil.

Cabe salientar que alguns projetos desenvolvidos na região por grupos nacionais e internacionais atestam para a viabilidade de minérios com teores mais baixos que 20% de Fe. Incentivos por parte do Estado e ações para a aceleração do desenvolvimento desta região estão sendo estudados pelo governo do Estado de Minas Gerais, que, no ano de 2010, apoiou a criação do consórcio Novo Horizonte, que visa o levantamento de recursos para criação de um Polo Mineiro na região.

As atividades de mineração mais expressivas que estão em operação na Bacia Macaúbas são representadas pelas atividades de extração de:

- Minério de Ouro em Riacho dos Machados;
- Minério de Cobre (Depósito do Salobro);
- Minério de Manganês (Diamantina e Itamarandiba); e
- Grafita.

No atual cenário, estudos focados no entendimento da gênese, da evolução e das fases de mineralização dessas formações se fazem importantes tanto na busca de mais recursos minerais na região quanto no auxílio da viabilização das ocorrências já conhecidas, motivando assim a realização deste trabalho de pesquisa, que vêm sendo desenvolvido pelo autor desde setembro de 2008.

1.1 Localização e Vias de Acesso

A porção sul da área de estudo dista cerca de 500 km de Belo Horizonte, sendo que a porção central, nas proximidades da Vila de Nova Aurora e de Fruta de Leite está localizada a cerca de 700 km a norte de Belo Horizonte, 200 km a leste de Montes Claros – MG, e a aproximadamente 50 km a oeste do município de Salinas-MG. O principal aeroporto da região está localizado no município de Montes Claros – MG, que possui voos regulares para Campinas – SP e Belo Horizonte – MG.

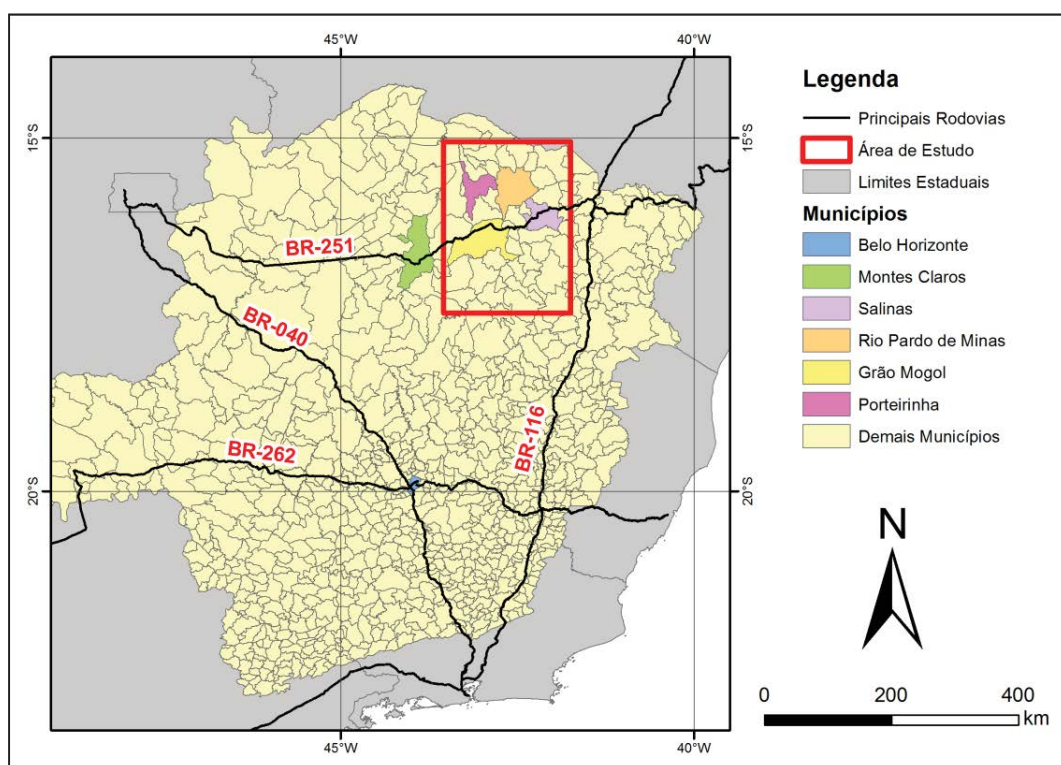


Figura 1.1_1 – Localização da área de estudo e os limites municipais

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

2 Objetivos

As formações ferríferas da Bacia Macaúbas foram estudadas nesse trabalho que objetivou atingir os seguintes objetivos:

- Caracterização Geofísica dos litotios ferríferos;]
- Definição dos litotipos mineralizados em ferro;
- Classificação das formações ferríferas e seus respectivos ambientes de deposição;
- Detalhamento dos mapas geológicos regionais e coluna litoestratigráfica;
- Estimativa do potencial de exploração das mineralizações ferríferas.

Para atingir os objetivos, realizou-se a integração dos dados de geologia adquiridos através dos trabalhos de prospecção mineral com as imagens de satélite e geofísica, permitindo, assim, a realização do detalhamento da coluna litoestratigráfica da Bacia Macaúbas, com ênfase nos litotipos e depósitos minerais de interesse econômico e geológico identificados durante a realização deste trabalho.

3 Métodos Utilizados

Neste capítulo, estão apresentados os métodos de prospecção geológica e geofísica adotados para atingir os objetivos apresentados.

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Consistiu em adquirir conhecimentos teóricos através de pesquisa bibliográfica, leitura e análise de trabalhos das seguintes áreas de conhecimento:

- Aspectos geográficos e socioeconômicos da área de estudo;
- Geologia Regional e Geomorfologia;
- Ocorrências minerais existentes na bacia;
- Tipos de formações ferríferas e suas classificações;
- Geologia Estrutural;
- Prospecção aeromagnetométrica e espectrométrica;
- Mineralogia e Geoquímica das mineralizações estudadas;
- Aperfeiçoamento de técnicas de processamento e interpretação de imagens de satélite para prospecção de minérios;
- Geotectônica e Geologia do Brasil com ênfase na Faixa Araçuaí.

3.2 Pesquisa, Levantamento e Integração de Dados em GIS

Nesta etapa de trabalho, foi montada uma base de dados geológicos, prospectivos e de sensoriamento remoto, em formato *Geographic Information*

System (GIS). Este trabalho foi realizado antes do início dos trabalhos de campo e contemplou os seguintes itens:

- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Mapa Geológico ao Milionésimo: foram integrados dados desta fonte referente às unidades geológicas e às principais estruturas;
- Base Cartográfica do IBGE ao Milionésimo: foram integrados os dados desta fonte referentes à hidrografia (rios e drenagens), logística (rodovias, ferrovias, principais cidades) e divisão política (limites estaduais e municipais);
- Vetorização dos dados: foi realizado um trabalho de vetorização para auxiliar o trabalho de campo, possibilitando a criação de mapas com *layout* objetivo, favorecendo a leitura e ressaltando o tema do mesmo. Foram vetorizados dados de curvas de nível, drenagens, acessos e toponímias contidas nas cartas topográficas;
- Sensoriamento Remoto: objetivando disponibilizar imagens que auxiliem nos trabalhos de campo e na interpretação preliminar dos dados, foram geradas composições coloridas das imagens *Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT)*, *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)* e *Geoeye*;
- Integração dos dados de campo à base de dados GIS.

3.3 Cessão de Dados de Pesquisa

Os dados levantados e apresentados neste trabalho foram gerados, em sua maioria, a partir dos trabalhos coordenados e gerenciados pelo autor na região Norte de Minas Gerais, durante os anos de 2008 até o presente momento, para as empresas Mtransminas Minerações Ltda e International Corp Ltda. Estes dados

foram cedidos pelas mesmas para uso acadêmico, através de contratos de cessão e uso das informações.

Em complemento ao trabalho realizado nas regiões de interesse econômico das empresas citadas, o autor realizou alguns trabalhos de campo em períodos mais curtos e com recursos próprios, para checar outros pontos de interesse e algumas possíveis novas ocorrências de minério de Ferro e Manganês, com o objetivo de complementar as interpretações apresentadas nesta tese.

3.4 Levantamento Aerogeofísico

O levantamento aerogeofísico utilizado neste trabalho foi realizado no ano de 2007, através de uma parceria entre a CPRM e a Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), que realizou a coleta dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos da chamada Área 8 (Minas Novas – Riacho dos Machados – Espinosa).

O levantamento aerogeofísico cobriu 87.212,45 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução, com linhas de voo e controle espaçadas de 0,5 km e 10,0 km, respectivamente, orientadas nas direções N25W e N65E (Figura 3.4_1).

Os parâmetros que nortearam a execução do levantamento são descritos, resumidamente, a seguir:

- Direção das linhas de voo: N25W;
- Espaçamento entre as linhas de voo: 0,5 km;
- Direção das linhas de controle: N65E;
- Espaçamento entre as linhas de controle: 10,0 km;
- Intervalo entre medições geofísicas consecutivas: 0,1 s (magnetômetro) e

- 1,0 s para o espectrômetro;
- Altura média de voo: 100 m;
- Velocidade aproximada de voo: 280 km/h.

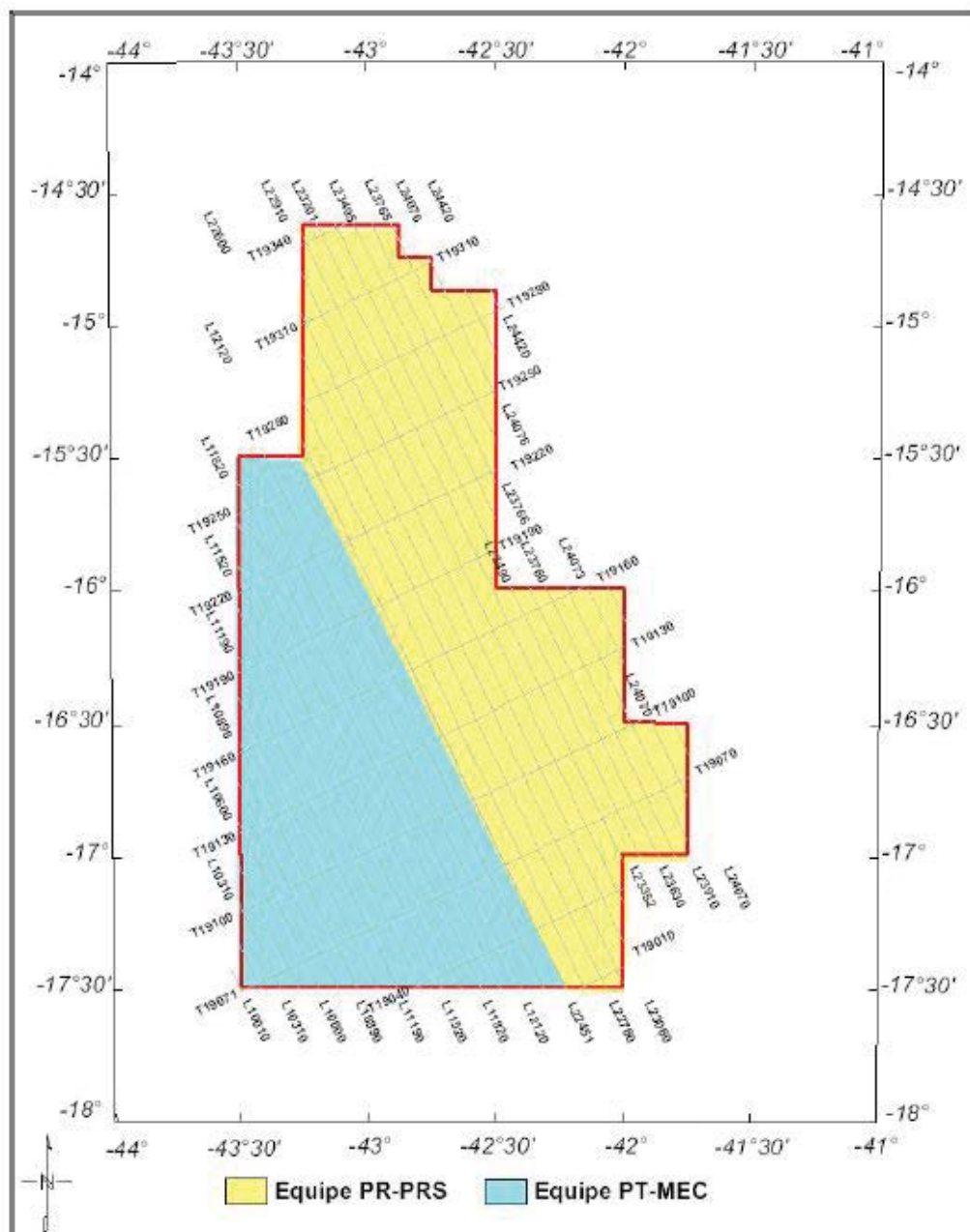


Figura 3.4_1 – Vértices do Projeto e Área de Atuação de cada Aeronave e as linhas de voo levantadas (CODEMIG, 2008)

3.4.1 Aeromagnetômetros

O sistema aeromagnético foi acoplado a um sensor de vapor de césio montado na cauda (tipo *stinger*) da aeronave. O sinal é recebido através de um pré-amplificador, localizado na base do cone de cauda da aeronave, e enviado ao sistema de aquisição do sistema Agis Pico Envirotec.

A compensação magnética dos dados foi realizada através de *software* próprio da Pico Envirotec:

- Sensor: Geometrics G822A
- Resolução: 0,001 nT
- Faixa: 20.000 - 100.000 nT

As leituras do magnetômetro foram realizadas a cada 0,1 segundo, o que equivale, para a velocidade de 280 km/h da aeronave, a aproximadamente 7,8 m no terreno.

3.4.2 Aerogamaespectrômetros

Foram utilizados pelas aeronaves os gamaespectrômetros EXPLORANIUM, modelo GR-820, de 256 canais espectrais, cujo espectro de cada um dos cristais detectores é analisado individualmente para determinação precisa dos Fotópicos de potássio, urânio e tório. Uma correção linear é aplicada individualmente a cada cristal, mantendo o espectro permanentemente alinhado.

As leituras dos gamaespectrômetros foram realizadas a cada segundo, representando medições a intervalos de aproximadamente 78 m no terreno.

3.4.3 Magnetômetro Terrestre

Para controle diário das variações do campo magnético terrestre, foram utilizadas duas bases magnetométricas portáteis, instaladas nos municípios de Montes Claros e Salinas.

Foram utilizados como base magnetômetros da GEM, modelo GSM-19 de resolução de 0,1 nT e envoltória de ruído em nível equivalente. As leituras do campo magnético total foram realizadas a intervalos de 3 segundos e armazenadas na memória do próprio equipamento.

Os magnetômetros foram instalados nos aeroportos de Montes Claros (MG) e Salinas (MG), em local de gradiente magnético suave, livre de objetos móveis e de interferência cultural.

Ao término de cada jornada de produção, os arquivos contendo os dados da variação diurna eram transferidos aos computadores instalados nas bases de campo para uso no pré-processamento.

3.4.4 Processamento dos Dados

O processamento dos dados geofísicos seguiu as etapas descritas no fluxograma da Figura 3.4.4_1.

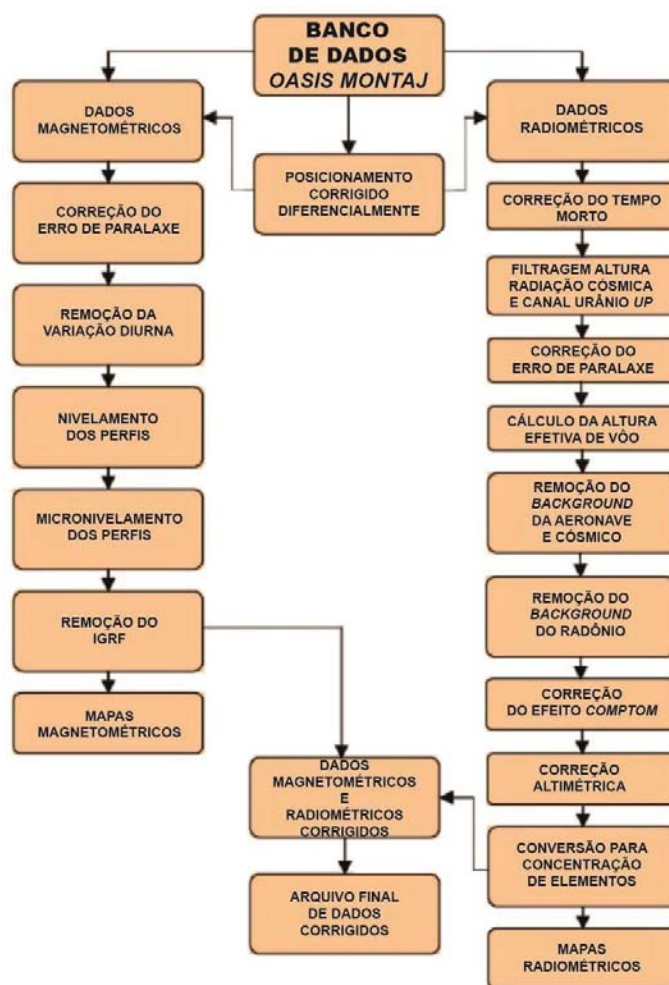


Figura 3.4.4_1 – Fluxograma do Processamento de Dados (CODEMIG, 2008)

A partir do processamento bruto dos dados realizados pela CODEMIG, o autor realizou os seguintes processamentos visando preparar os dados para sua utilização na interpretação geológica regional:

- Interpolação da malha de levantamento utilizando-se o método da gridagem bidirecional para o canal de campo total;
- Aplicação de filtros lineares geofísicos dos tipos passa-banda, suavização e correção de nivelamento;
- Interpolação do campo total corrigido e realização do processamento do sinal analítico para a área do levantamento;

- Corte dos produtos na área do projeto, com o intuito de isolar as anomalias do *background* regional.

A partir desta etapa os dados foram filtrados com o objetivo de realçar as informações importantes para a pesquisa de ferro na região, sendo gerados os seguintes produtos geofísicos:

- Campo magnético total – Apresenta um caráter dipolar e seu campo de medidas físicas é o campo magnético calculado nas variações da intensidade ou de suas componentes (x, y, z);
- Derivadas Verticais e Horizontais (DZ, DX, DY) – As derivadas do campo magnético realçam as altas frequências do sinal. O realce das altas frequências acentua os gradientes nas bordas de corpos magnéticos rasos e pode fornecer informações sobre contatos, descontinuidades e lineamentos;
- Amplitude do Sinal Analítico – É gerada a partir das três componentes do gradiente medidas para o campo magnético. Consiste numa técnica eficiente para determinação de parâmetros geométricos, marcando os limites de fontes magnéticas;
- Inclinação do Sinal Analítico – Neste produto, as fontes magnéticas são representadas numa mesma superfície; permitindo, desta forma, visualizar melhor os lineamentos que correspondam às estruturas geológicas;
- Mapas espectrométricos com as razões Th, U e K;
- Estudo da profundidade da fonte magnética através da análise do espectro de força;
- Interpretação geológico/geofísica dos dados.

Os produtos gerados a partir deste trabalho serão apresentados a seguir.

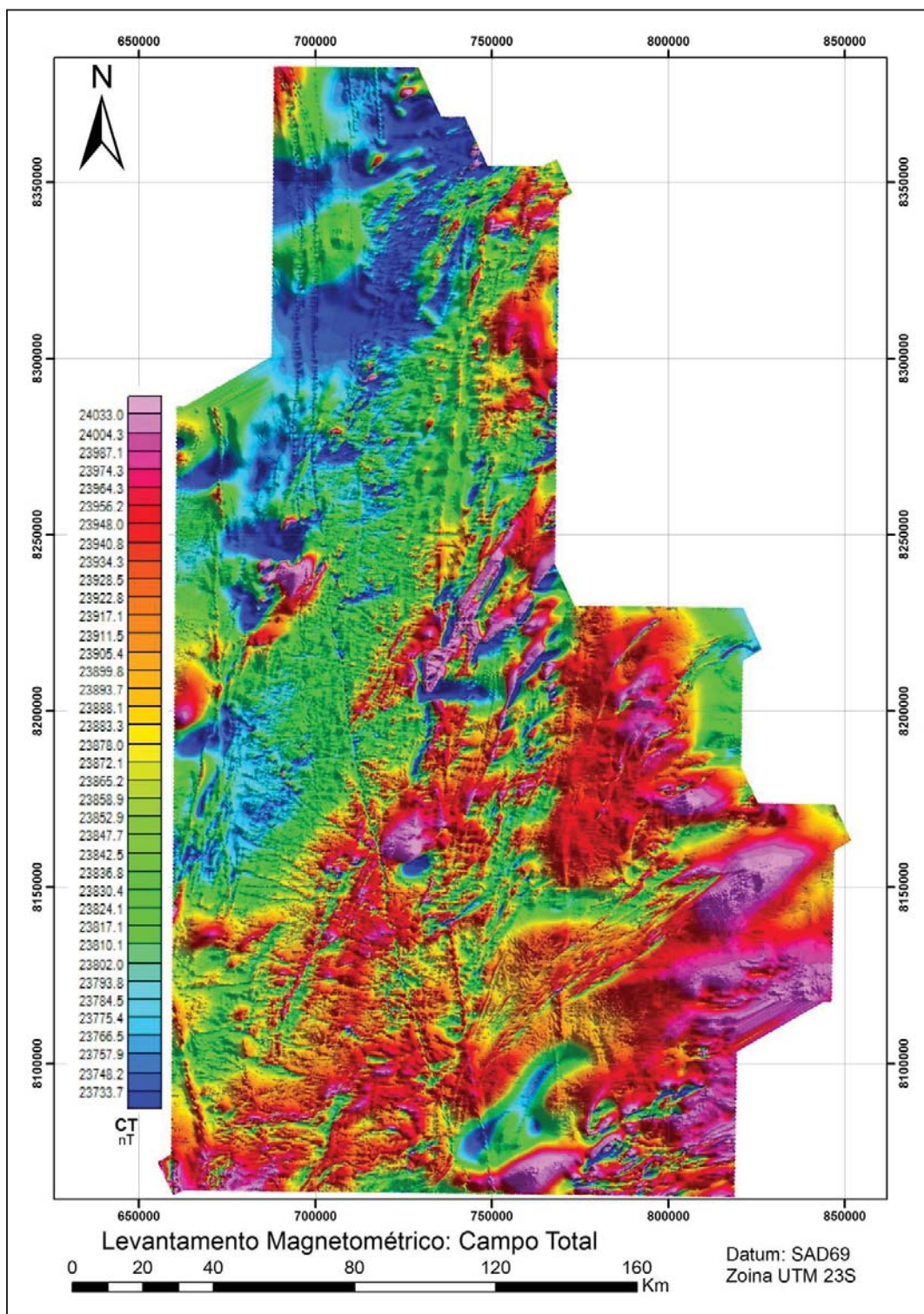


Figura 3.4.4_2 – Mapa aeromagnetométrico do campo total da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas). Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008

Fonte: Elaborada pelo autor

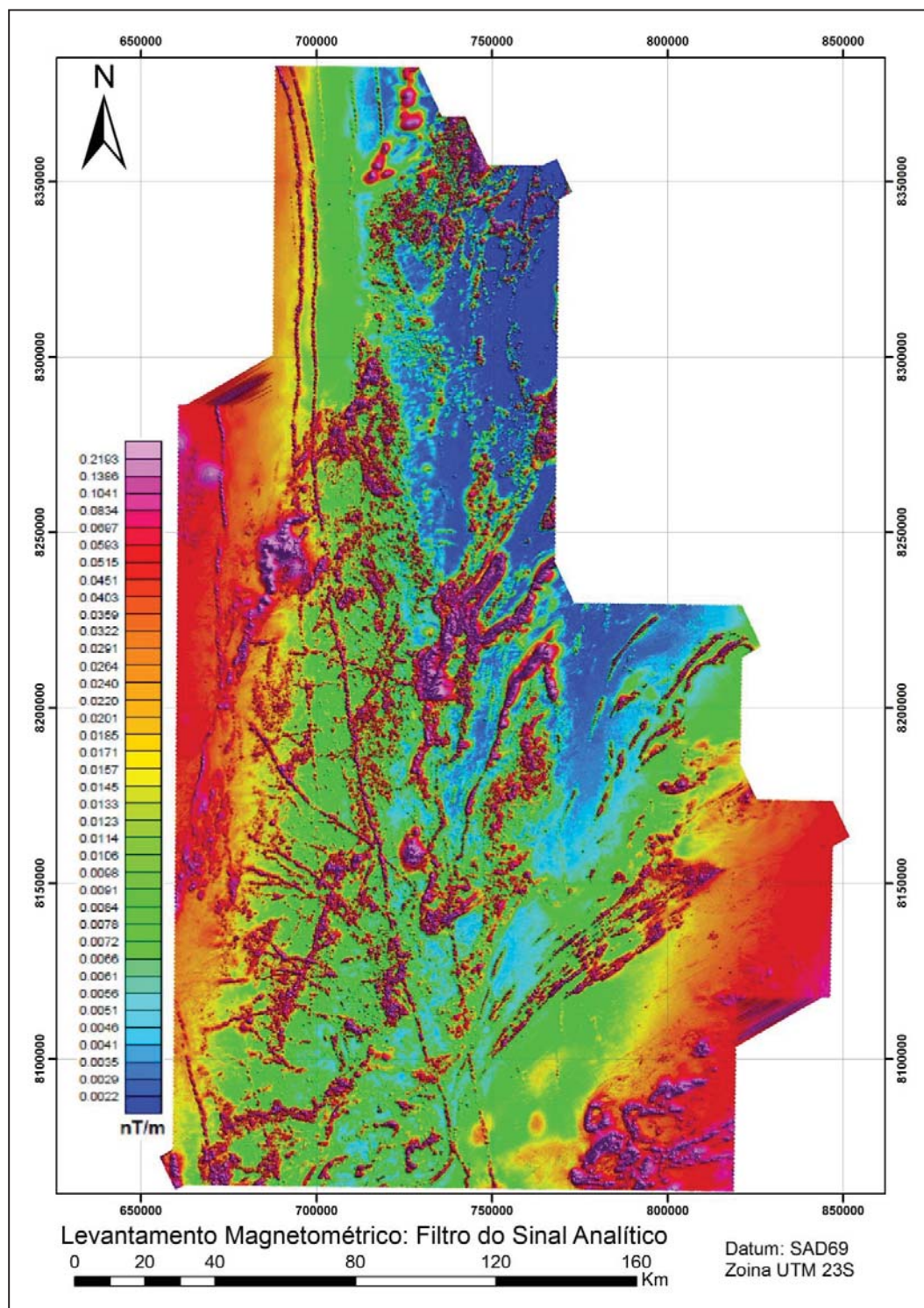


Figura 3.4.4_3 - Mapa aeromagnetométrico do filtro do sinal analítico da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas). Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008

Fonte: Elaborada pelo autor

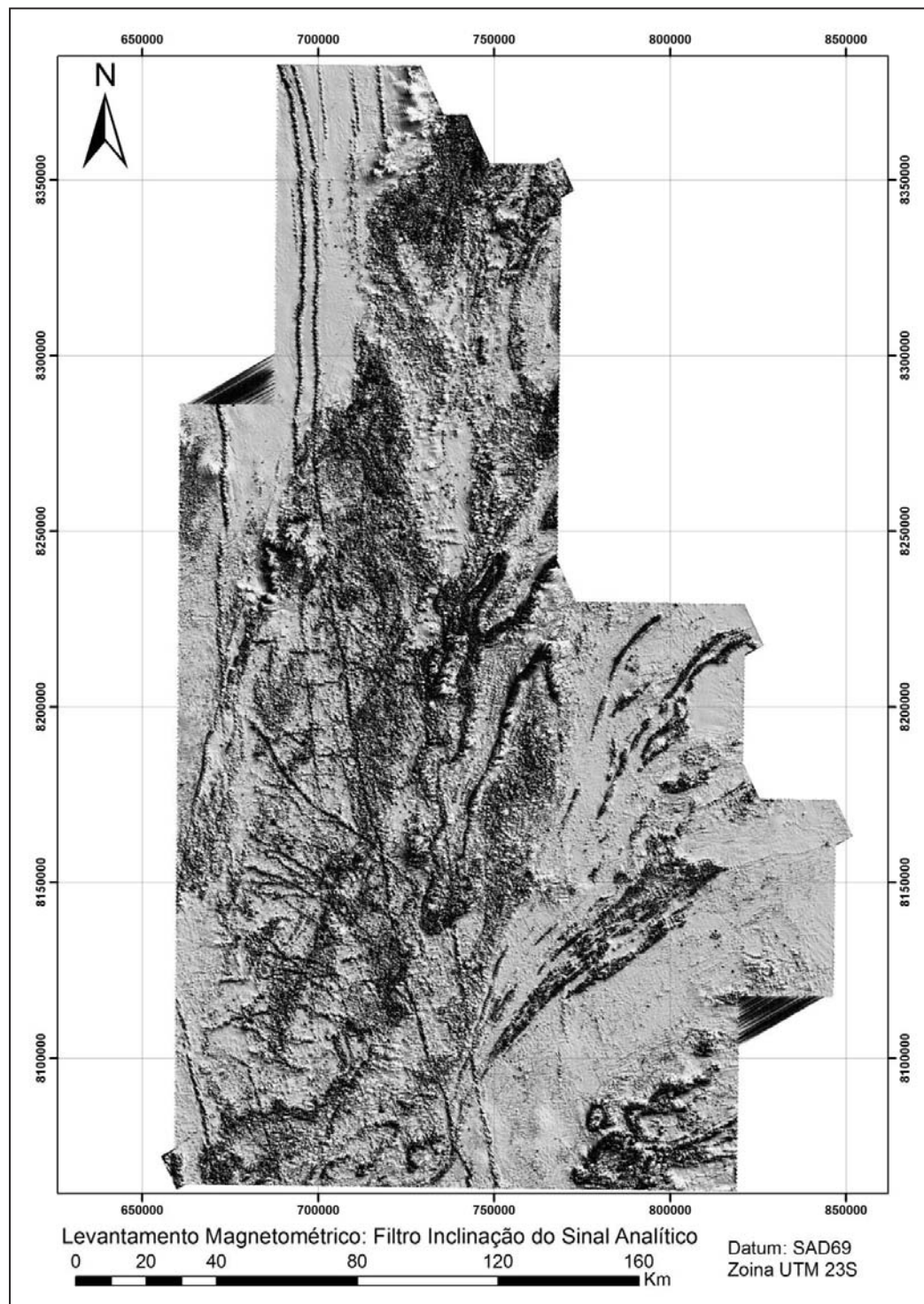


Figura 3.4.4_4 – Mapa aeromagnetométrico da inclinação do sinal analítico da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas). Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008

Fonte: Elaborada pelo autor

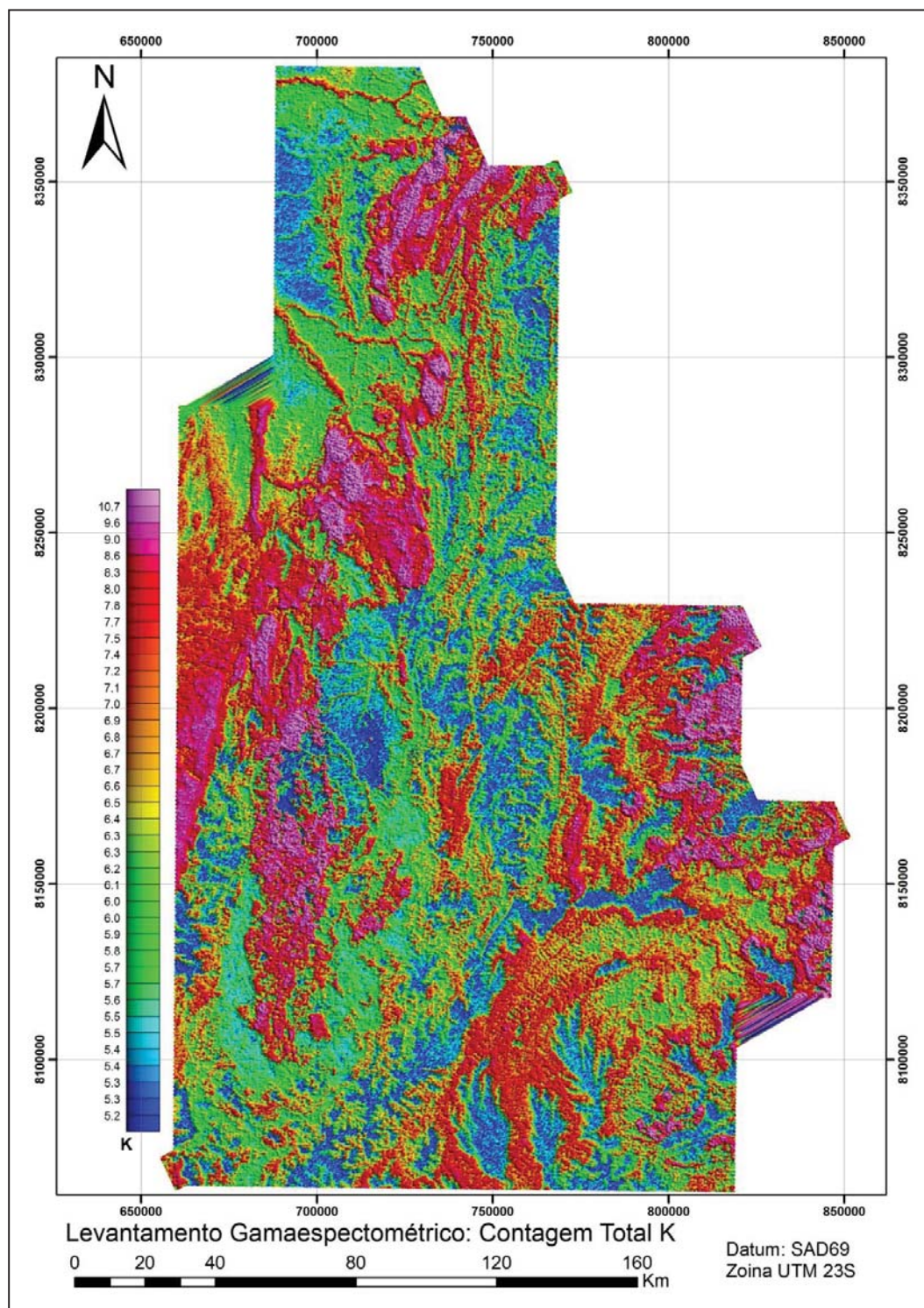


Figura 3.4.4_5 – Mapa gamaespectrométrico, contagem total de potássio da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas). Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008

Fonte: Elaborada pelo autor

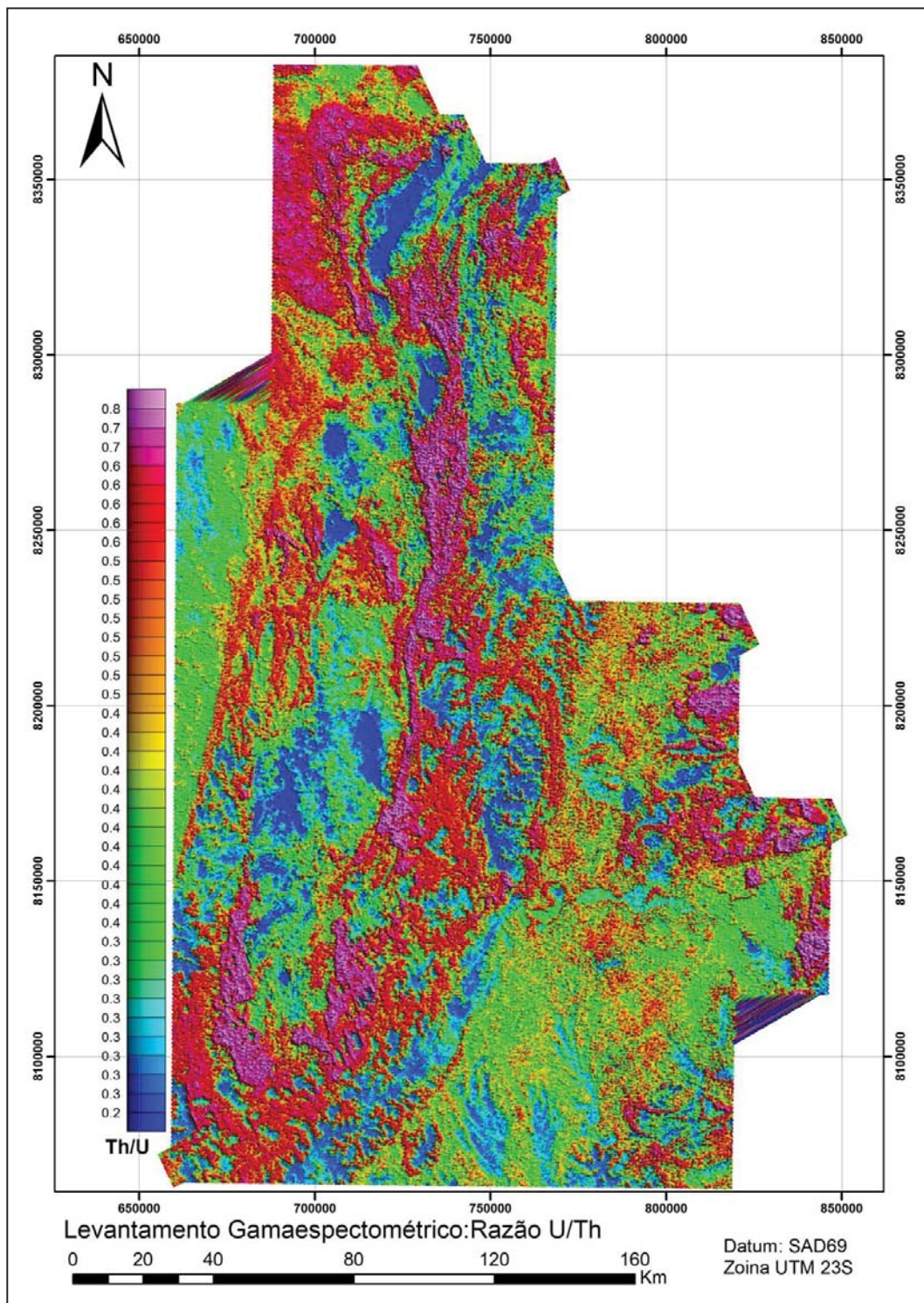


Figura 3.4.4_6 – Mapa gamaespectrométrico, razão Urânio/Tório da área 8 (Folha Rio Pardo de Minas), Levantamento realizado pela CODEMIG, 2008

Fonte: Elaborada pelo autor

3.5 Sensoriamento Remoto

Todos os dados gerados neste trabalho estão integrados em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Foram adquiridas imagens do sensor *LANDSAT* ETM + para as áreas de interesse, sendo que, nestas imagens, foram realizados processamentos básicos necessários à manipulação destes dados e processamentos voltados para o realce de feições indicadoras do material de interesse.

Em apoio às imagens *LANDSAT* foram geradas composições coloridas de imagem Áster com realce de histograma, para ressaltar possíveis anomalias e regiões com ocorrência de minério de ferro (Figura 3.5_1).

Para uma melhor visualização da geomorfologia e dos principais lineamentos existentes na área estudada, foram geradas imagens *hillshade* com diferentes ângulos de iluminação a partir da imagem do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, Figura 3.5_2. Antes de gerar as imagens *hillshade*, a imagem *SRTM* foi tratada com processos de interpolação para aumento da resolução espacial, obtendo-se um produto final de 30 metros.

Em complemento às composições processadas pelo autor, foram utilizadas as bases disponibilizadas no ARC GIS 10.01 pelo *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, que conta com mapas topográficos regionais, imagens de satélite do sensor *GEOEYAS* e mapas rodoviário e topográfico contendo as rodovias, municípios, curvas de nível e principais drenagens e pontos de interesse da área de estudo (Figura 3.5_3 e Figura 3.5_4).

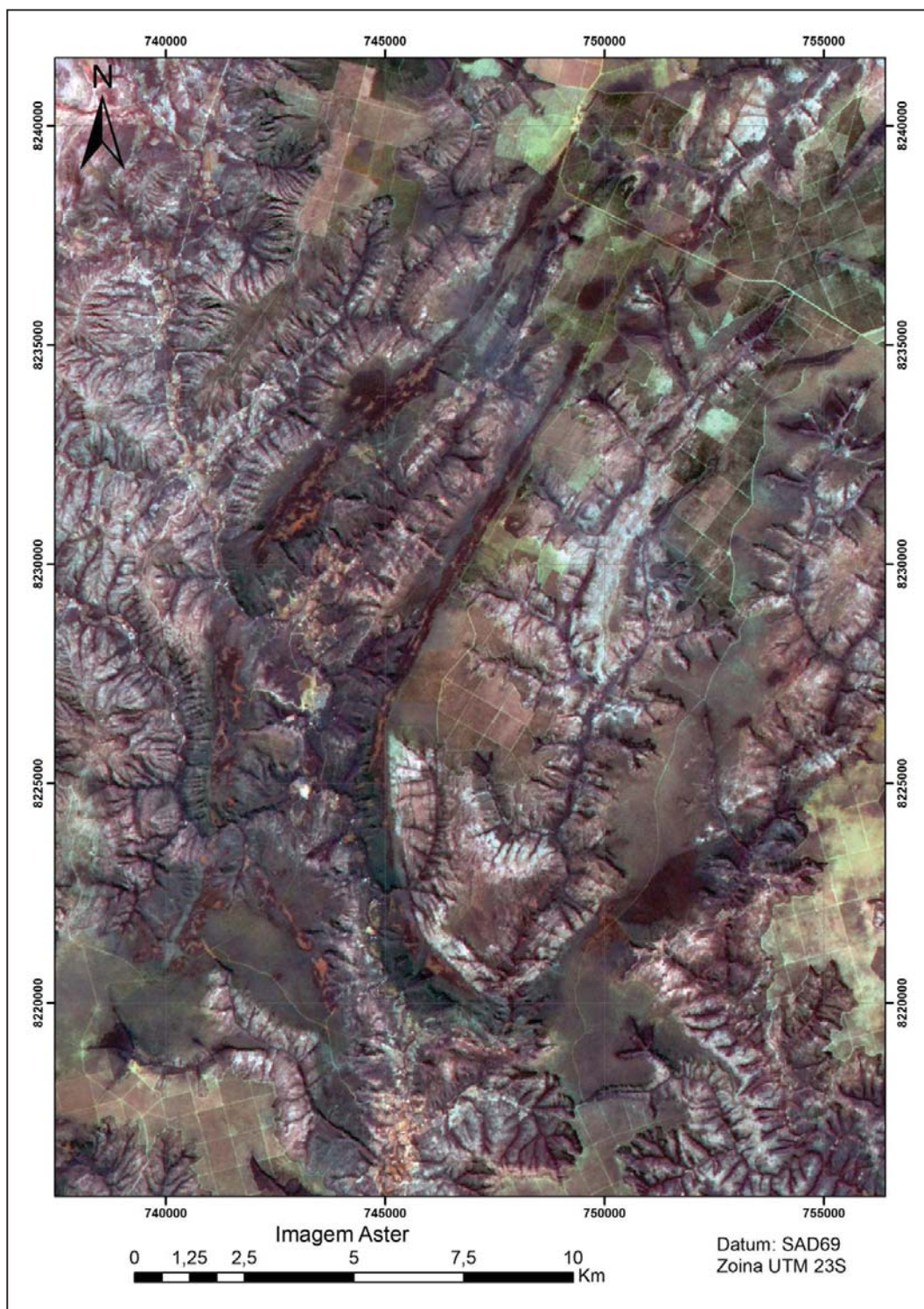


Figura 3.5_1 – Imagem *ASTER* com realce para ocorrências ferríferas da Formação Nova Aurora (vermelho sangue) na região central da área de estudo

Fonte: Elaborada pelo autor

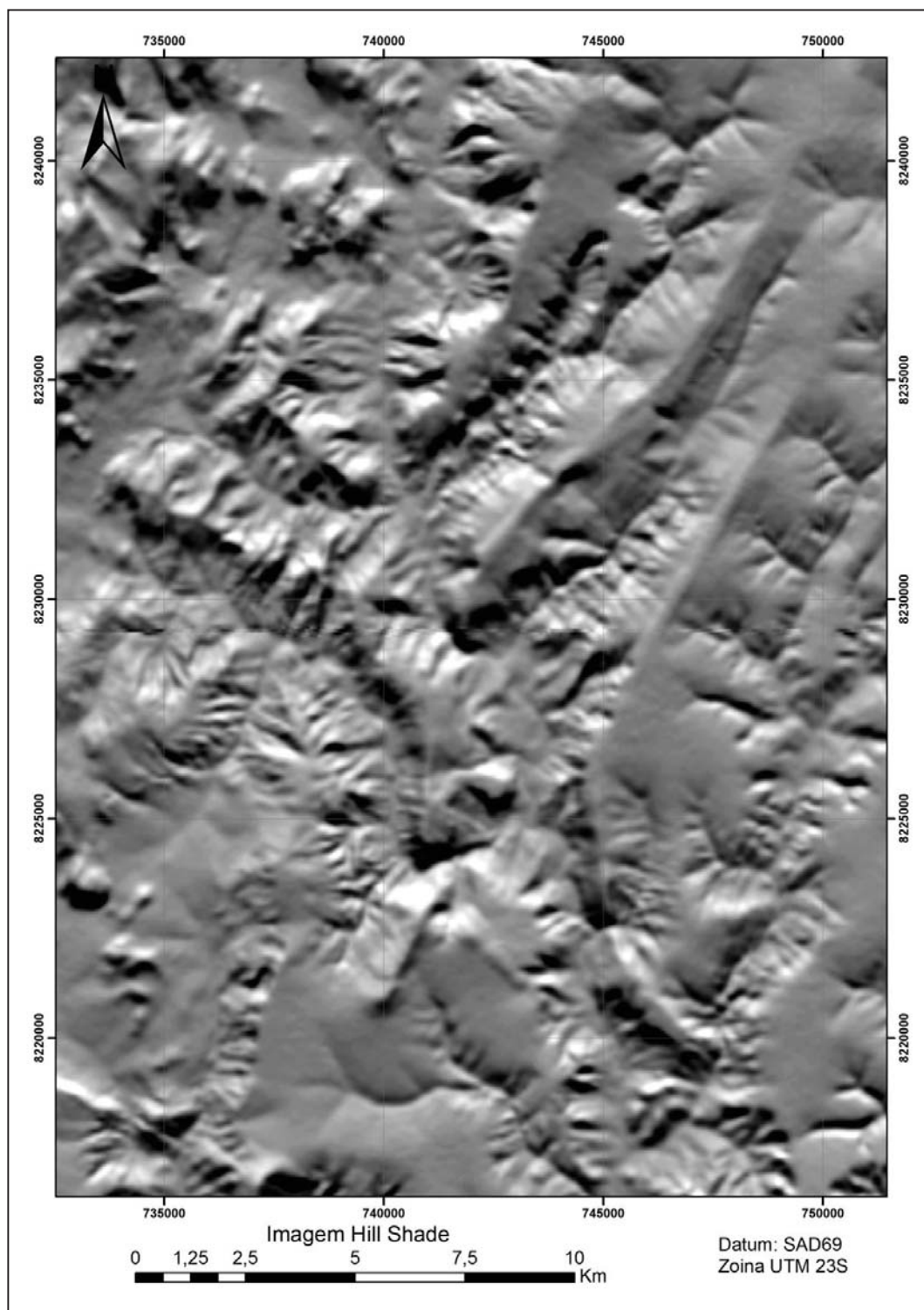


Figura 3.5_2 – Imagem *hillshade* destacando os lineamentos e as feições estruturais

Fonte: Elaborada pelo autor

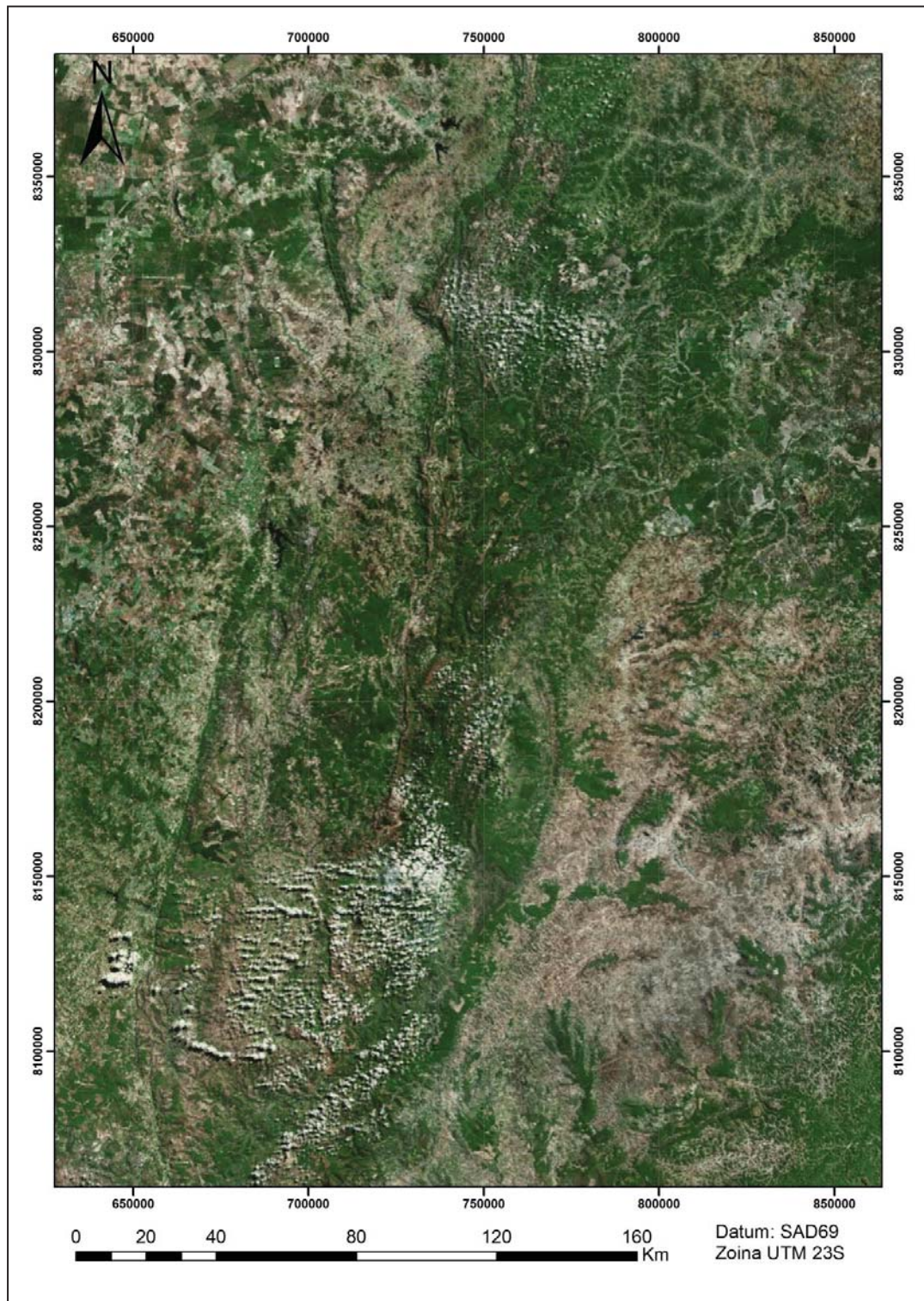


Figura 3.5_3 – Imagem de satélite *GEOEYE* (ESRI 2015), utilizada como referência para a área de estudo

Fonte: Elaborada pelo autor

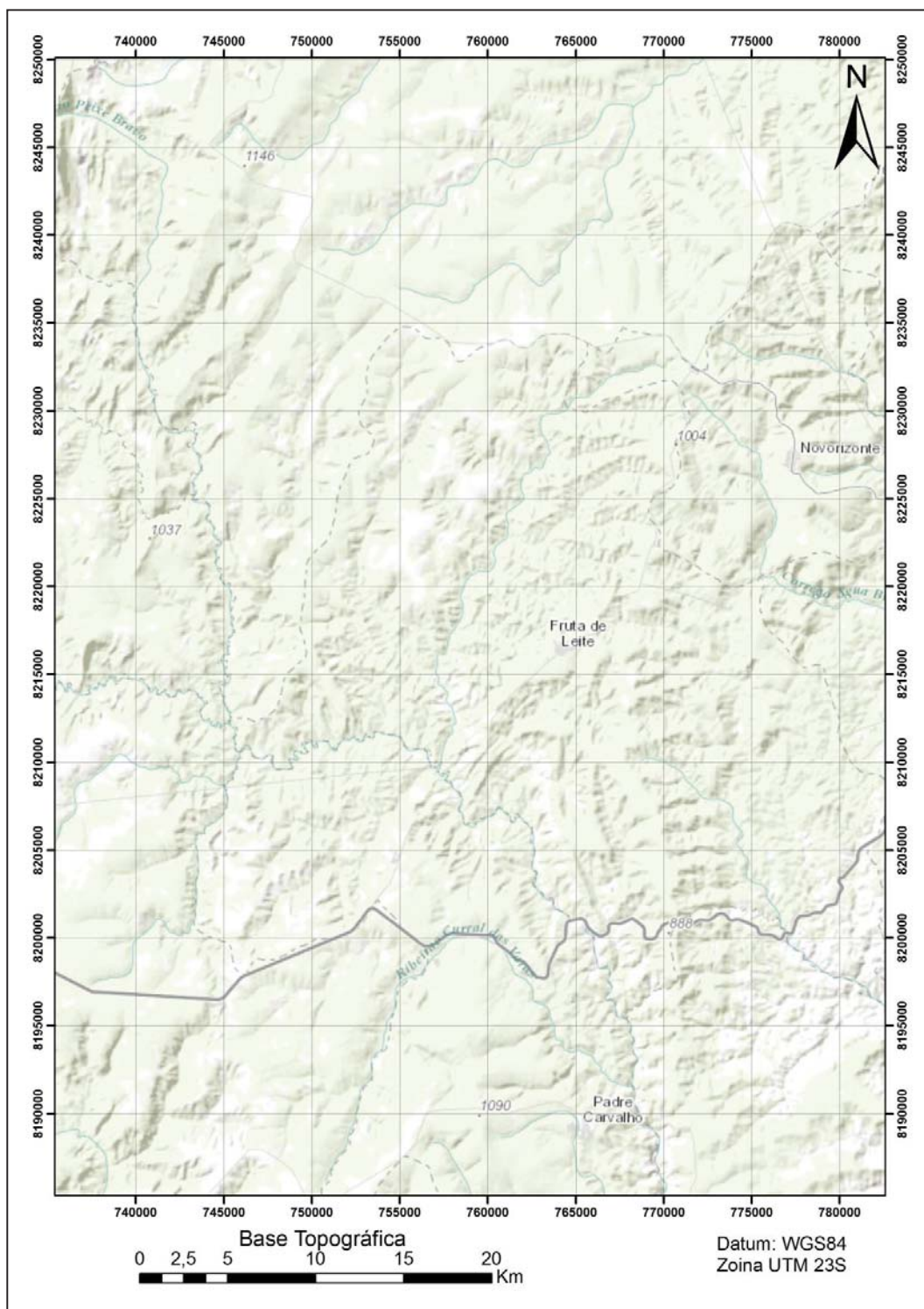


Figura 3.5_4 – Mapa topográfico com elevação (ESRI 2015), contendo acessos, municípios, curvas de nível e principais drenagens da área de estudo

Fonte: Elaborada pelo autor

3.6 Mapeamento Geológico

O mapeamento geológico foi realizado em diversas campanhas de campo entre os anos de 2007 e 2013, sendo que participaram desses trabalhos uma equipe de 5 geólogos coordenados pelo autor, que compilou os resultados obtidos e as descrições geológicas realizadas, padronizando as mesmas em uma base de dados unificada. Foram descritos neste período 7.811 pontos descritos em afloramentos e coberturas, que são apresentados nos mapas de pontos dos Anexos A, B C e D, que correspondem às áreas de interesse, onde foram investigadas possíveis anomalias ferríferas em campo.

Os trabalhos de mapeamento foram realizados em escala regional e de detalhe nas regiões onde foram verificadas mineralizações de interesse das empresas financiadoras desta pesquisa. Todos os dados geológicos foram devidamente georreferenciados em campo através do uso de um *Global Positioning System (GPS)* portátil e posteriormente registrados no banco de dados com a observação das seguintes feições geológicas principais:

- Descrição macroscópica e tipológica sucinta das litologias (tipo, intemperismo, mineralogia, atração magnética etc.);
- Coleta de dados estruturais (foliação, bandamento, fraturas etc.);
- Documentação fotográfica;
- Contextualização geomorfológica.

Após os trabalhos de campo, os dados foram importados para o *software* ArcGis para a geração dos *shapes* de pontos e estruturas. Esses dados foram integrados com os dados de sensoriamento remoto e geofísica em ambiente *GIS*.

3.7 Descrição de Testemunhos e Chips de Sondagem

Os testemunhos e os chips de sondagem disponibilizados pela Mtransminas Minerações Ltda. foram descritos detalhadamente pelo autor no ano de 2009, considerando ao menos os seguintes aspectos:

- Classificação Litológica: foram descritas nas zonas ferríferas todas as variações litológicas com intervalos superiores a 3 metros e, nas zonas sulfetadas, variações superiores a 0,80 m;
- Grau de Compacidade;
- Percentual estimado visualmente de hematita, especularita e magnetita presentes no intervalo descrito;
- Estruturas e medidas de mergulho aparente;
- Fraturamento e foliação;
- Contato;
- Cor e tonalidade;
- Granulometria;
- Alteração;
- Intemperismo;
- Magnetismo;
- Descrição da rocha.

3.8 Petrografia

Foram coletadas 21 amostras em testemunhos de sondagem das áreas de pesquisa mineral ocorrentes na Formação Nova Aurora, sendo que este trabalho teve por objetivo a identificação das fases minerais contidas nas amostras através

dos métodos de análise microscópica (luz transmitida e refletida) e difração de raios X.

As análises de microscopia óptica foram realizadas em microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida, pertencente ao Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Rio Claro, da marca Olympus, modelo BX40F4, Zeiss (Axioskop 40) e Leitz Wetzlar (SM – LUX Pol), este último apenas com luz transmitida.

As difrações de raios X foram executadas em aparelho da Siemens (Diffraktometer D5000), tubo de cobre com 40 Kv e 30mA, 2 theta entre 3 e 65 graus, passo de 0,05 graus e tempo de contagem de 1 segundo. Para as interpretações foi utilizado o programa EVA.

3.9 Interpretação das Unidades Geológicas de Interesse

O mapa geológico regional gerado neste trabalho foi baseado no mapa geológico regional do Projeto Espinhaço (COMIG, 1997), sendo realizada pelo autor a integração dos dados geológicos, de geofísica e sensoriamento remoto que possibilitaram a realização do detalhamento das unidades ferríferas pertencentes à Formação Nova Aurora, à Capelinha e à revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia Macaúbas.

3.9.1 Formação Nova Aurora – Membro Riacho Poções

Para o detalhamento e a correção dos limites litológicos da Formação Nova Aurora, realizou-se a integração dos produtos de aerogeofísica, sensoriamento

remoto e dos dados de campo, sendo que, para a validação da unidade ferrífera, seguiram-se os seguintes critérios:

- 1- Unidade de Metadiamicrito Hematítico: essa unidade foi cartografada nas regiões onde havia a ocorrência de cangas ricas com hematitas preservadas em sua estrutura e/ou que foram sondadas com sucesso, comprovando a existência desta litologia, sendo as mesmas inferidas em seções de até 1 km de distância quando as anomalias geofísicas do filtro do Sinal Analítico e da Contagem de Potássio eram positivas para a assinatura de minério de ferro;
- 2- Unidade de Metadiamicrito Ferruginoso: essa unidade foi cartografada nas regiões de ocorrência de metadiamicritos ferruginosos concordantes com as anomalias geofísicas positivas para os produtos do filtro do Sinal Analítico e Contagem de Potássio, sendo que essa unidade foi inferida a partir dessas regiões, utilizando-se as anomalias geofísicas com assinaturas similares e concordantes com o “trend” mapeado.
- 3- Outras unidades ferríferas: unidades de quartzito e filito ferruginoso foram cartografadas somente nas regiões onde esses litotipos foram mapeados em campo.

3.9.2 Outras Unidades Geológicas

As outras formações revisadas e ou criadas neste trabalho foram inseridas no mapa geológico regional a partir da integração dos trabalhos de campo com a base de dados em *GIS*, sendo que seus limites foram resultados da integração dos pontos geológicos descritos com os produtos de geofísica e sensoriamento remoto, que possibilitou a inferência dos contatos nas regiões de platô, onde a ocorrência de solo e a escassez de afloramentos são altas.

4 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, serão discutidos alguns conceitos teóricos que embasam as atividades técnicas e as teorias desenvolvidas durante a execução deste trabalho.

4.1 Tipos de Depósitos Ferríferos

Os depósitos de minério de ferro possuem ampla distribuição geográfica, ocorrendo em ambientes diversos e depositados em um longo período da história geológica. A princípio, pode-se dividir esses depósitos em cinco categorias:

- Depósitos sedimentares acamadados ou formações ferríferas bandadas;
- Depósitos relacionados a atividades magmáticas e/ou vulcano-sedimentares;
- Depósitos formados por metamorfismo de contato;
- Depósitos sedimentares oolíticos e pisolíticos;
- Depósitos resultantes de alteração e acúmulo em superfície.

De acordo com James (1954), as formações ferríferas são rochas sedimentares químicas tipicamente laminadas e/ou bandadas, contendo percentual de ferro igual ou superior a 15% e, não em todos os casos, contendo camadas de *chert*. A seguir, serão discutidas as cinco categorias de formações ferríferas existentes e seus principais aspectos.

4.1.1 Formações Ferríferas Acamadadas

As classificações das formações ferríferas acamadadas levam em consideração diversos aspectos como mineralogia, textura, estrutura, idade e rochas associadas.

Uma classificação bastante difundida é a de Gross (1973), que leva em consideração características tectônicas e associações litológicas de três períodos do Arqueano e Proterozoico, sendo eles 3,5 a 3,0 Ga; 2,5 a 2,0 Ga; 1,0 a 0,5 Ga (ROBB, 2005). Esses três períodos correspondem, respectivamente, às formações ferríferas do tipo Algoma, Lago Superior e Rapitan. O tipo denominado Lago Superior pode ser dividido em mais de um tipo, por exemplo, Hammersley, Carajás e Lago Superior.

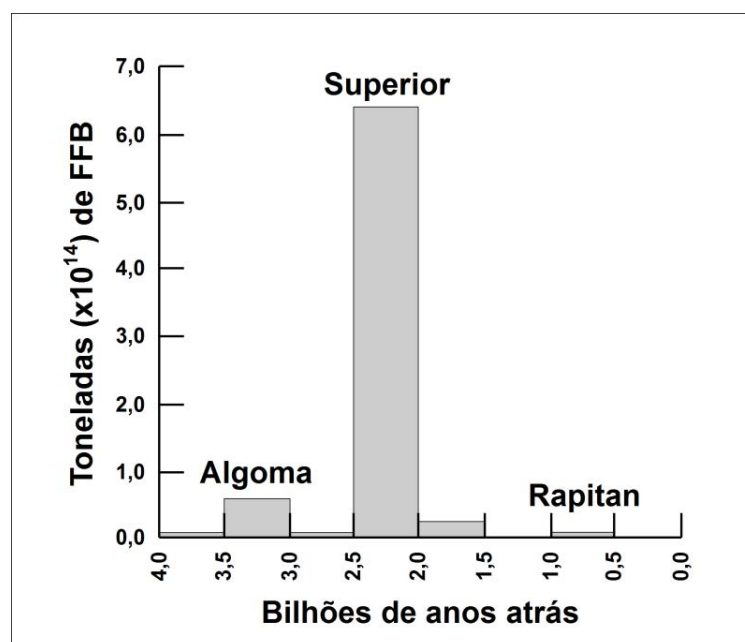


Figura 4.1.1_1 – Distribuição temporal das formações ferríferas segundo classificação de Gross, 1973 (modificado de Gross, 1973)

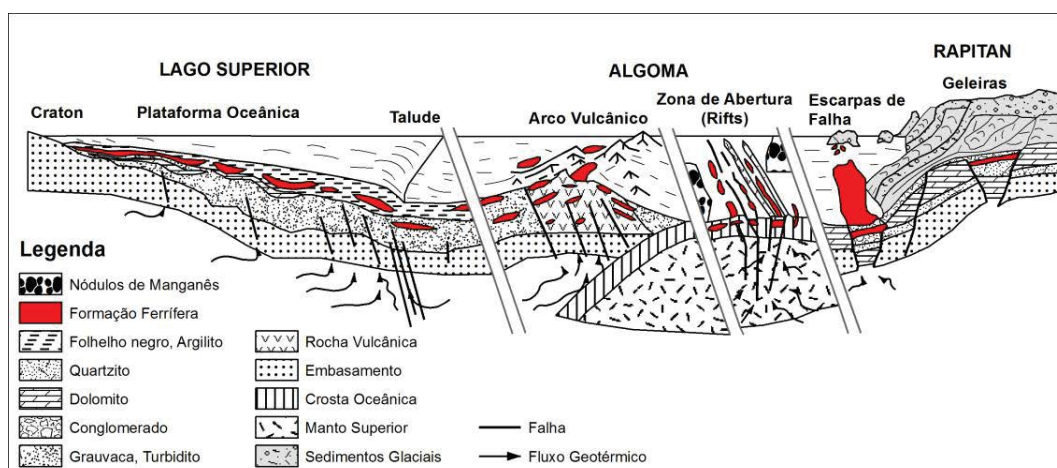


Figura 4.1.1_2 – Classificação de Gross (1973) para as FF's e os respectivos ambientes tectônicos (modificado de COSTA, 2007)

Tendo como premissa que os parâmetros físico-químicos de pH e Eh que controlam a deposição de sedimentos químicos (KRUMBEIN & GARRELS, 1952), James (1954) propôs uma classificação para as formações ferríferas pré-cambrianas da região do Lago Superior - EUA baseada no modelo genético que divide as formações ferríferas nas fácies óxido, sulfeto, carbonato e silicato. Este modelo está relacionado com as condições de acidez e de oxirredução, que prediz a localização das fácies sedimentares no ambiente marinho.

Maynard (1991) fez uma revisão sobre os conceitos e teorias das origens das formações ferríferas, mantendo os tipos Algoma e Lago Superior e agrupando os tipos Clinton e Minnete, que eram considerados como tipos independentes, num único, chamado Clinton. Nessa mesma revisão, citou o tipo Rapitan, que fora descrito na literatura por vários autores, como Dorr (1973), Trendall (1973), Yeo (1981,1986), Bretkopf (1988), como formações ferríferas do Proterozoico Superior associadas a depósitos glaciogênicos.

4.1.2 Classificação de Gross (1973)

4.1.2.1 Tipo Lago Superior

Os depósitos classificados como tipo Lago Superior são os mais abundantes em volume, contemplando cerca de 80% dos depósitos de formações ferríferas conhecidos e tem sido a principal fonte de minério de ferro pelo mundo (Gross, 1996).

Essas formações ferríferas são sedimentos químicos tipicamente bandados e/ou laminados, caracterizados pela intercalação entre níveis de quartzo (*chert*), carbonato ou sulfeto e níveis de óxidos de ferro.

O ambiente de formação desses depósitos é contituído por margens cratônicas em plataformas continentais marinhas e bacias do tipo *rift*. Constituem-se de sedimentos com boa maturidade e sedimentos químicos que ocorrem associados a rochas de natureza sedimentar, como quartzo-arenito, conglomerados, dolomitos, arcóseos, folhelhos negros e argilitos. Eventualmente, as formações ferríferas podem ocorrer interdigitadas com estratos tufáceos e rochas vulcânicas (Gross, 1996).

Dentre os principais depósitos do tipo Lago Superior, pode-se citar a Província de Hamersley (Austrália), a Serra dos Carajás (Brasil) e o Quadrilátero Ferrífero (Brasil).

4.1.2.2 Tipo Algoma

As formações ferríferas do tipo Algoma estão associadas a ambientes de *greenstone belts* com ocorrência restrita no tempo geológico, tendo como pico de deposição o Arqueano. Essas formações ferríferas estão associadas a ambientes

marinhos próximos a arcos vulcânicos, dorsais em expansão, *grabens*, escarpas de falhas e zonas de fratura.

Têm como característica bandamento e/ou laminação com intercalação entre estratos de jaspe (chert impregnado com hematita microcristalina) ou quartzo e estratos ricos em minerais de ferro, como magnetita, hematita, pirita, pirrotita e carbonatos e silicatos de ferro. Os depósitos são formados através da percolação de fluidos hidrotermais que enriquecem em ferro as rochas adjacentes pela remoção dos demais íons (BIONDI, 2003).

As rochas associadas a este tipo de formação ferrífera são grauvacas, turbiditos, folhelhos, *pillow* lavas, andesitos, sedimentos metalíferos e depósitos do tipo VMS (GROSS, 1996; TRENDALL, 1983). Normalmente, os depósitos ocorrem em corpos lenticulares de escalas métricas a quilométricas, sobrepostos a rochas arqueanas do embasamento.

Dentre as principais formações ferríferas do tipo Algoma conhecidas no mundo, têm-se as do Supergrupo Rio das Velhas (Brasil) e Blocos de Yilgam e Pilbara (Austrália).

4.1.2.3 Formações Ferríferas Neoproterozoicas (Rapitan)

Os depósitos de ferro neoproterozoicos são mundialmente conhecidos e despertam interesse da comunidade científica devido à sua distribuição temporal na história geológica, pois eles foram depositados cerca de um bilhão de anos após os principais depósitos ferríferos acamadados do Paleoproterozoico (Figura 4.1.2.3_1), tendo como característica litológica marcante a associação do ferro com rochas glaciogênicas (diamictitos).

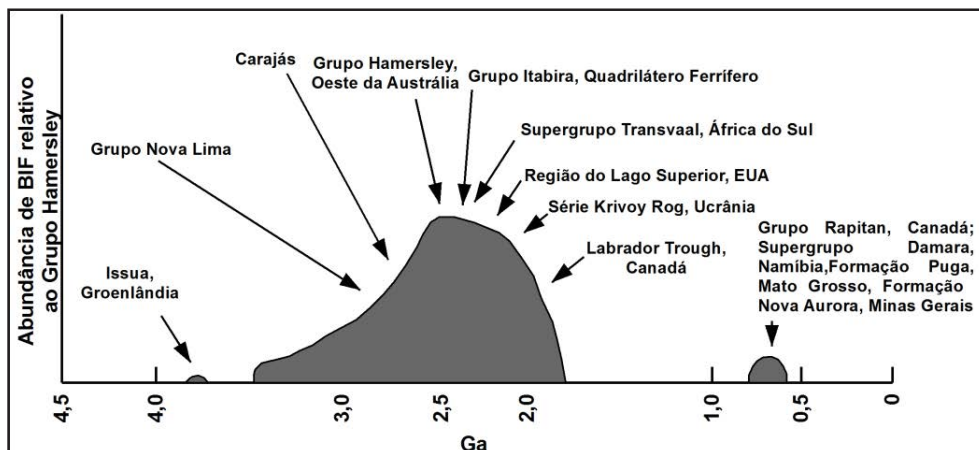


Figura 4.1.2.3_1 – Concentração dos principais depósitos ferríferos ao longo do tempo geológico (modificado de KLEIN, 2005)

As formações ferríferas neoproterozoicas possuem relação direta com os depósitos glaciogênicos siliciclásticos (Figura 4.1.2.3_2) e são marcadas por uma mineralogia simples, composta por quartzo, hematita e magnetita disseminada (YOUNG, 1976). Sugere-se que essas formações ferríferas possuem origem primária hidrotermal e estão associadas aos eventos de rifteamento Neoproterozoicos que foram responsáveis por originar essa relação entre o vulcanismo exalativo e a glaciação (YEO, 1986).

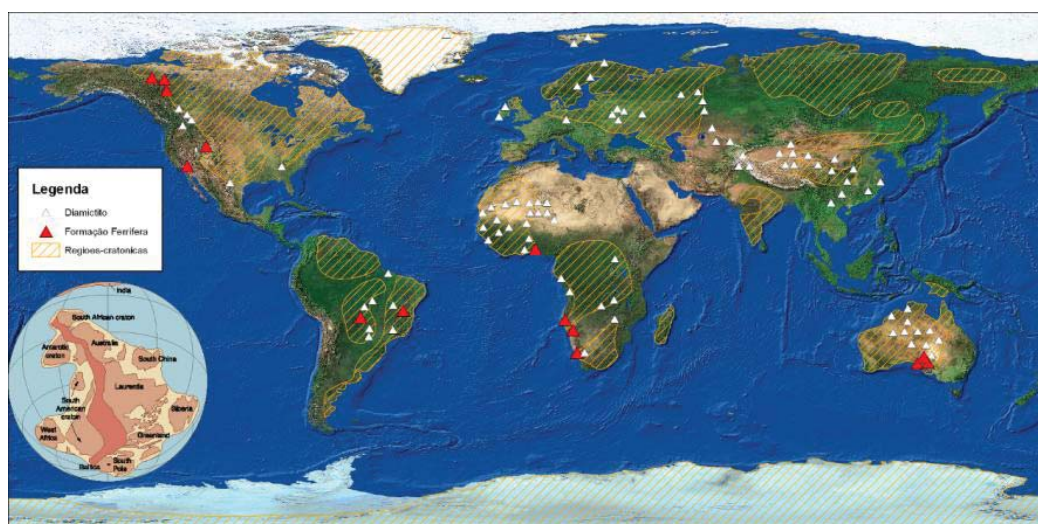


Figura 4.1.2.3_2 – Distribuição dos depósitos glaciais Neoproterozoicos e sua associação com as formações ferríferas (adaptado de YEO, 1986)

Ainda existem discussões sobre a origem do ferro nestes depósitos glaciais que são denominados do tipo Rapitan, havendo duas possibilidades para a origem do ferro:

- Origem hidrotermal: a entrada de ferro no sistema associada ao vulcanismo da fase *rift* das bacias hospedeiras;
- Origem clástica: a entrada do ferro na bacia associada a clastos de origem ferríferas que foram transportados até a bacia através das geleiras.

Em lâminas estudadas de depósitos do Canadá, não se verificaram sinais que evidenciassem hidrotermalismo pós-deposicional em escala regional, indicando que o ferro se depositou durante a formação da bacia, possivelmente através de um controle sazonal. Tal deposição se daria nos ciclos de inverno e verão, sendo que, durante o inverno, ocorre a formação de fluídos enriquecidos em ferro sob as geleiras (*snowball earth*, KIRSCHVINK, 1992) e os mesmos se depositaram na forma de óxidos no período interglacial, quando há entrada de oxigênio no sistema, transformando o Fe^{2+} em Fe^{3+} (Figura 4.1.2.3_3).

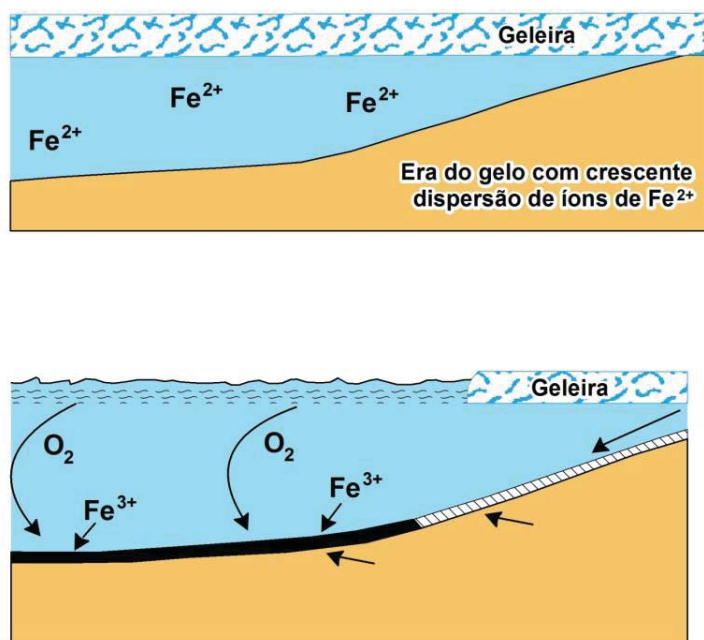


Figura 4.1.2.3_3 – Modelo paleoceanográfico para a deposição de formação ferrífera no Neoproterozoico (Modificada de BEUKES e KLEIN, 1992)

No Brasil, esses depósitos são responsáveis pela formação de duas províncias ferríferas, localizadas no Norte do Estado de Minas Gerais e no Centro Oeste do Estado do Mato Grosso do Sul (Corumbá), adentrando à região leste da Bolívia. Esses depósitos podem ser relacionados a outros grandes depósitos mundiais explorados no Canadá, Austrália e África.

Os indícios coletados em campo apontam que para a formação de um depósito clástico seria necessária a existência de uma fonte de ferro proximal na época da formação da bacia (fato que é desconhecido regionalmente), além da homogeneidade verificada nos minerais de ferro, que não são características de partículas transportadas, podendo, assim, os depósitos glaciais do grupo Macaúbas estarem associados a processos de:

- Transporte das partículas de ferro através de correntes marinhas profundas oriundas de processo de espilitização ou mesmo de “intemperismo” químico do assoalho oceânico em ambiente redutor e ácido;
- Hidrotermalismo no assoalho da bacia, o ferro pode ter sido fornecido através de atividade vulcânica e de fumarolas que ascenderam do assoalho da bacia atingindo o mar.

A deposição sazonal é evidenciada em poucos afloramentos e furos de sondagem na Bacia Macaúbas, sendo marcada pela ocorrência de filitos ferríferos e formações ferríferas bandadas (FFBs). Observações em meso e microescala das amostras descritas sugerem que a deposição clasto-química da sílica e do ferro se processou num ambiente sedimentar marinho plataformal profundo, na transição com o talude, ocasionando o retrabalhamento através da ação de correntes de turbidez originadas pelo deslocamento das geleiras do continente (Figura 4.1.2.3_4).

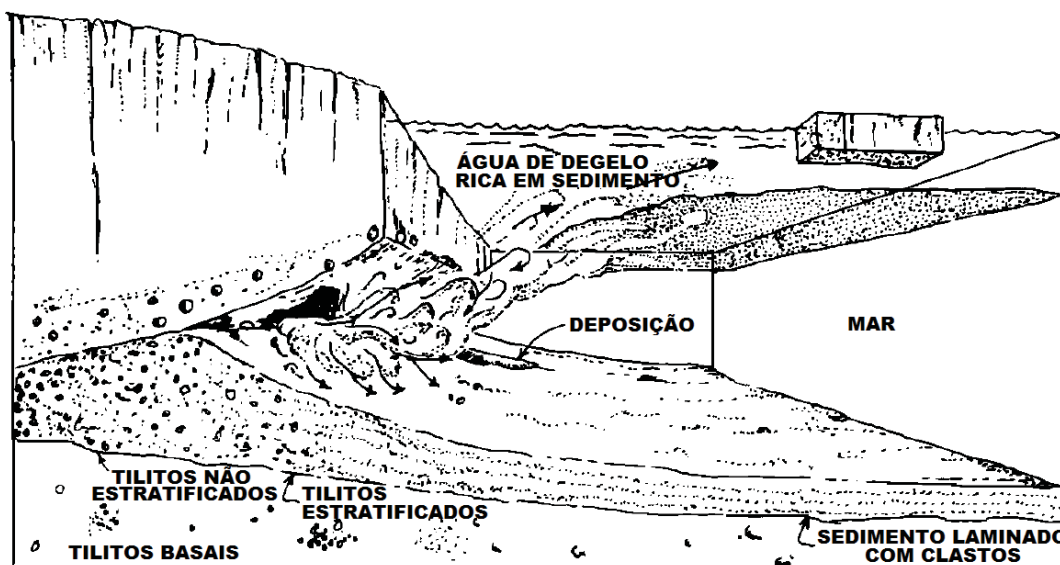


Figura 4.1.2.3_4 – Modelo hipotético da sedimentação glaciomarinha (Modificada de EDWARDS, 1986)

4.2 Gênese dos Depósitos Ferríferos

As formações ferríferas são constituídas por minerais formados durante a diagênese e o metamorfismo, o que resulta em um elevado grau de incertezas sobre as condições de precipitação dos minerais primários (COSTA, 2007). Algumas teorias vêm sendo propostas como tentativa de explicar a origem das formações ferríferas.

Autores como Dimroth (1976) argumentam que as formações ferríferas ocorrem pela substituição de minerais de ferro e sílica em carbonatos durante a diagênese. Essa teoria é apoiada nas características similares entre os carbonatos e as formações ferríferas, porém, posteriormente, verificou-se que tais características eram inerentes a todos os sedimentos químicos (COSTA, 2007).

James (1954) alega que o intemperismo dos continentes é a principal fonte de ferro e que, atualmente, a deposição das formações ferríferas tem sido

relacionada à atividade hidrotermal submarina, o que é particularmente claro para as formações ferríferas do tipo Algoma.

Segundo Fryer *et al.* (1979), os sistemas hidrotermais submarinos injetaram nos oceanos arqueanos uma grande quantidade de elementos no estado de valência reduzida, incluindo os complexos ferrosos.

Há ainda a teoria de um oceano estratificado baseando-se no contraste da composição isotópica e dos elementos traços entre formações ferríferas e rochas associadas (KLEIN & BEUKES, 1989). Modelos de deposição recentes de formações ferríferas do tipo Lago Superior (BEUKES & KLEIN, 1992) enfatizam processos atuantes de lâminas d'água profundas (ricas em ferro) e rasas (pobres em ferro).

4.2.1 Discussão sobre Condições do Ambiente

O tempo geológico foi dividido em três éons, com base em condições da atmosfera e hidrosfera em relação à presença de componentes dissolvidos. Conforme a classificação de Berner (1981), esses três éons são:

- Éon do enxofre: entre 4,0 e 1,8 Ga., período em que o ambiente era redutor e com presença dessa substância. Esse éon é subdividido em duas eras distintas. Numa delas, entre 4,0 e 2,3 Ga., o ambiente era redutor com presença de enxofre na hidrosfera e na atmosfera e, na outra, entre 2,3 e 1,8 Ga., a hidrosfera continha enxofre, porém a atmosfera continha algum oxigênio livre.
- Éon do ferro: entre 1,8 e 0,6 Ga., com ambiente redutor e sem enxofre no qual a hidrosfera era rica em ferro e a atmosfera continha altas concentrações de oxigênio.

- Éon do oxigênio: de 0,6 Ga. aos tempos atuais. Ambiente oxidante no qual a atmosfera continua com abundância de oxigênio, que também está acumulado na hidrosfera.

Essa variação nas condições do ambiente é importante, pois tem ligação direta com a geração das formações ferríferas. Num ambiente redutor, há o favorecimento para a geração das formações ferríferas advindas das altas concentrações de ferro na água do mar. Isso se dá porque, nestas condições, o ferro liberado por erosão e vulcanismo é transportado e permanece como Fe^{2+} na água do mar. Com o tempo, há um empobrecimento de CO_2 atmosférico e aumento de pH da água do mar, o que resulta na remoção de H_2CO_3 e, nessas condições, Fe_3O_4 e FeCO_3 começam a se precipitar. O ambiente se tornando cada vez mais oxidante diminui a mobilidade do ferro erodido e de origem vulcânica, o que implica na geração das formações ferríferas oxidadas nos ambientes continentais, com o apoio de soluções hidrotermais.

Durante o éon do enxofre, a ideia de que o ferro e o enxofre regularmente causariam deposição de sulfetos de ferro era bastante comum, porém Wey e Osseo-Assare (1996) mostraram que este conceito nem sempre está correto. Eles fizeram testes reagindo Fe^{3+} com HS^- em diferentes condições de pH, e concluíram que o pH acima de 5,7, aproximadamente, corresponde às condições de Eh que fazem o sulfeto de ferro (FeS) instável em relação à formação de hidróxido de ferro (FeOOH).

O pH da água do mar durante o éon do enxofre variou, e as plumas de efluentes também tiveram o mesmo comportamento e, por consequência, depositaram diferentes formações ferríferas. Os limites definidos para o pH e as formações ferríferas geradas são:

- $\text{pH} < 5,7$ – deposição de formações ferríferas sulfetadas (ex. depósito de ouro de Morro Velho, Brasil);

- pH de 5,7 a 6,0 – depositadas formações ferríferas das fácies carbonato e óxido, com oxidação realizada por enxofre coloidal (ex. *Isua deposit*, Groenlândia);
- pH > 6,0 e < 6,5 – depositadas formações ferríferas das fácies carbonato e óxido, com oxidação realizada principalmente por enxofre coloidal, com pouca ajuda de polissulfetos (ex. maioria dos grandes depósitos de formação ferrífera);
- pH > 6,6 – depositadas formações ferríferas do tipo greenalita, não bandadas (ex. formação ferrífera Biwabic, Minnesota).

4.2.2 Classificação de James (1954)

Esta classificação proposta por James foi desenvolvida com base nos minerais de ferro originais dominantes nas formações ferríferas e com base nas feições sedimentares originais, na medida em que essas feições podiam ser determinadas.

4.2.2.1 Fácies Óxido

Na fácies óxido, há um tipo de formação ferrífera magnetítica e outra hematítica, sendo ambas acamadadas ou não, diferenciando-se apenas pela composição das bandas. No caso da formação ferrífera hematítica, há intercalação de bandas de *chert* cinza e jaspe vermelho com bandas de hematita.

Já no caso da formação ferrífera magnetítica, a intercalação se dá entre magnetita e *chert*, silicato ou silicato+carbonato.

Os percentuais de ferro médios estão entre 25% e 35% para a variedade magnetítica enquanto na variedade hematítica estão entre 30% e 40%. Como característica marcante, as formações hematíticas apresentam textura oolítica enquanto a formação ferrífera magnetítica apresenta forte magnetismo.

Conforme James (1954), o ambiente de origem das formações hematíticas da fácies óxido foi fortemente oxidante enquanto que, para as formações ferríferas magnetíticas, o ambiente era de oxidante a meio redutor.

4.2.2.2 Fácies Sulfeto

A estrutura das formações ferríferas na fácies sulfeto é laminada a finamente laminada. Essas formações são representadas por folhelhos carbonáticos pretos com pirita, oriundos de lama orgânica depositada em ambiente marinho anormalmente rico em ferro.

O teor de ferro dessas formações ferríferas está entre 15% e 25% e sua característica principal é ser grafitoso. Os principais minerais associados são pirita, carbonato de ferro e greenalita.

O ambiente de origem definido por James (1954) é fortemente redutor anaeróbico, o que permite a formação de H_2S pela sintetização de matéria orgânica e, principalmente, pela redução de sulfatos em sulfetos, ambos por ação bacteriana.

4.2.2.3 Fácies Carbonato

A estrutura das formações ferríferas na fácies carbonática é finamente acamadada a laminada, com alternância entre bandas de *chert* cinza e carbonato rico em ferro. A falta de estrutura oolítica e granular sugere que essas rochas se depositaram como finas argilas abaixo da zona de ação das ondas (Schirmer, 2012).

Como minerais secundários, há ocorrência de pirita, silicato de ferro e magnetita. O percentual de ferro varia entre 20% e 35%. Estilólitos são comuns nessas formações ferríferas.

De acordo com James (1954), o ambiente de origem é redutor. Schirmer (2012) afirma que as condições de deposição foram oxigenadas o suficiente para permitir a remoção de matéria orgânica e a conservação dos componentes ferrosos.

4.2.2.4 Fácies Silicato

As formações ferríferas na fácies silicato se dividem em granular e não granular. Em ambos os casos, os principais minerais são greenalita, minessotaíta, estilpnomelano ou clorita. Como minerais de ferro secundários, as formações ferríferas possuem, comumente, magnetita e carbonato. Hematita pode ocorrer na formação ferrífera granular. Os teores nos dois tipos variam entre 20% e 30%.

A formação ferrífera não granular possui estrutura laminada de coloração verde clara a escura, com *chert* raro. A formação ferrífera granular possui estrutura maciça de coloração verde escura, com acamamento irregular de camadas de *chert* e magnetita. No caso dessas intercalações, as camadas de

chert são de origem primária e as camadas ferruginosas podem ser interpretadas como mudanças sazonais no ambiente de deposição.

Conforme James (1954), o ambiente de origem da formação ferrífera granular foi oxidante a meio redutor, enquanto a formação ferrífera não granular teve sua origem em ambiente variável, porém tipicamente meio redutor.

4.3 FFB's Continentais e Marinhas

É possível dizer que falhamento ou injeções de magma e a proximidade da borda de cratons foram as condições principais, em se tratando de ambiente tectônico, para produzir as formações ferríferas bandadas (Figura 4.3_1). Todos os ambientes tectônicos marinhos sujeitos à injeção de magmas (ex.: zonas de *rifts*) ou a intenso falhamento (ex.: zonas de subducção) foram potenciais produtores de formações ferríferas bandadas. O local mais adequado para a formação era o assoalho oceânico sob plumas de efluentes (CASTRO, 1994). A maioria das formações ferríferas depositadas nos assoalhos oceânicos foi levada de volta ao manto superior. Zonas de subducção, principalmente margens continentais, foram os maiores locais de deposição das formações ferríferas (CASTRO, 1994), tendo sido formadas também, subordinadamente, em mares interiores, lagos e zonas de *rift* continentais.

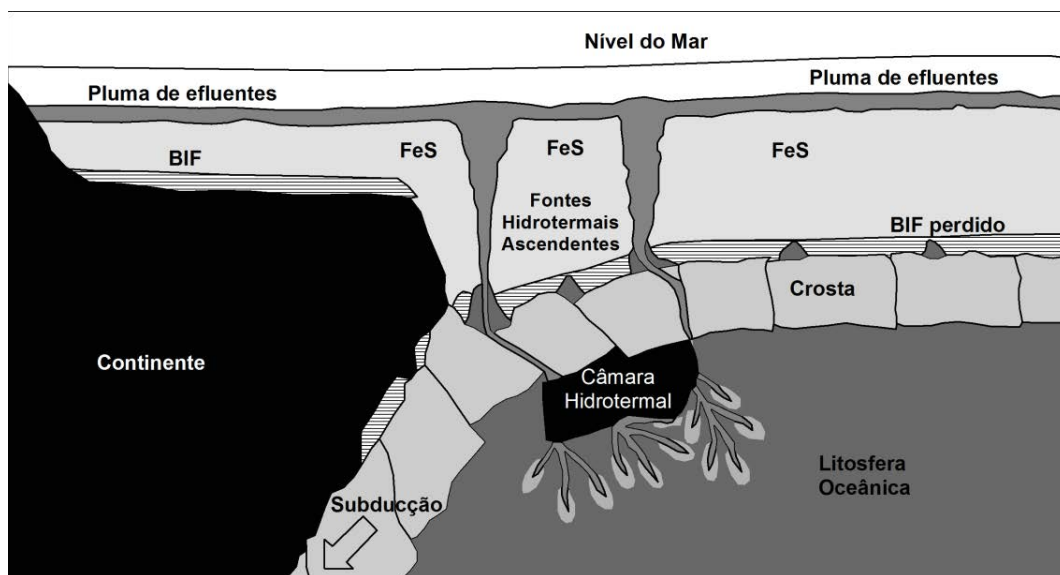


Figura 4.3_1 – Diagrama mostrando modelo de constituição de formações ferríferas bandadas marinhas (Modificada de CASTRO 1994)

A hipótese para a origem das formações ferríferas bandadas continentais é que elas foram formadas por soluções hidrotermais produzidas em grandes volumes de água do mar aprisionados em câmaras entre placas (Figura 4.3_2). Os fluidos percolam através de fraturas e falhas e são então enriquecidos por ferro, sílica, etc. Esses fluidos enriquecidos são redutores e enxofre coloidal e polisulfetos são os componentes de enxofre herdados da água do mar. Em seguida, tais fluidos hidrotermais aprisionados são conectados às bacias cratônicas próximas por falhas causadas por eventos tectônicos e, então, bombeados para o interior da bacia onde as formações ferríferas continentais são depositadas. Essas formações ferríferas podem conter também assinaturas glaciais devido a muitos lagos estarem nos topos de cordilheiras formadas pelo mesmo evento tectônico que formou as câmaras hidrotermais. Essa hipótese pode ser aplicada para formações ferríferas depositadas em lagos e mares interiores (Figura 4.4_2 b), como no caso de Hamersley, Austrália (TRENDALL and BLOCKLEY, 1970). Esse modelo de deposição para as formações ferríferas continentais pode ser aplicado em qualquer tempo geológico, com ou sem oxigênio na atmosfera.

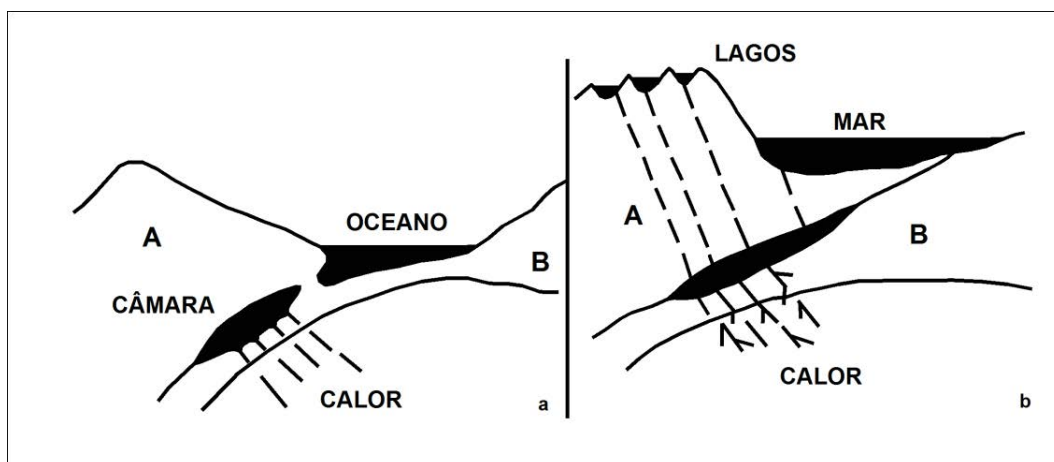


Figura 4.3_2 – Diagrama mostrando modelo de formação de formações ferríferas bandadas continentais (Modificada de CASTRO 1994)

4.4 Análise Econômica e de Mercado do Minério de Ferro

4.4.1 Tipos e Usos do Minério de Ferro

O minério de ferro é uma das matérias-primas de uso mais antigo e, desde a sua descoberta, durante o Período Neolítico, tem ampliado o seu leque de aplicação. O ferro na proporção de 4,2%, é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, inferior apenas a oxigênio, silício e alumínio, e, dentre todos os metais, é o mais utilizado no cotidiano. Atualmente é um produto essencial para a indústria moderna, visto que a indústria do aço continua a ser a espinha dorsal do desenvolvimento industrial de um país.

Os principais tipos de minérios conhecidos são: magnetita; hematita, limonita e siderita.

Entre todos esses minerais, a hematita é que constitui a maioria dos minérios brasileiros, é o mais importante em função da sua relativa abundância e alto teor

de ferro. No Brasil, a hematita ocorre em grandes massas compactas ou friáveis de elevado teor de ferro, ou como rocha metamórfica laminada em camadas alternadas com quartzo denominada itabirito, podendo atingir até 69% de ferro.

As formações ferríferas bandadas, denominadas itabirito, compostas de hematita (Fe_2O_3) e sílica, constituem-se nos maiores depósitos de minério de ferro. Essas formações enriquecidas pelos processos geológicos possibilitaram a existência de itabiritos intercalados com hematita compacta com teores de ferro bastante altos.

Tabela 4.4.1_1 Tipos de minérios de ferro (Modificada de PINHEIRO, 2000)

Nome	Magnetita	Hematita	Limonita	Siderita
Cor	Cinza escuro	Cinza a vermelho fosco	Amarela a marrom escuro	Cinza esverdeado
Composição	Fe_3O_4	Fe_2O_3	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	FeCO_3
% Fe	72,36	69,96	62,85	48,20
Ocorrência	Rochas ígneas, sedimentares e metamórficas	Rochas sedimentares e metamórficas	Rochas sedimentares	Rochas sedimentares

A economicidade do aproveitamento dos minérios está também intrinsecamente ligada às condições geológicas e metalogenéticas das jazidas. A mineralogia do minério, os teores de ferro, a estrutura e a textura das rochas que contêm o mineral-minério, a paragênese e toda uma série de parâmetros geológicos influem para que os empreendimentos minerários possam se tornar uma realidade econômica. (PINHEIRO, 2000).

O minério de ferro, em virtude de suas propriedades químicas e físicas, é, na sua quase totalidade, utilizado na indústria siderúrgica (99%). O restante é utilizado como carga na indústria de ferro-liga, cimento e eventualmente na construção de estradas. O alto teor de ferro dispensa, em alguns casos, os processos de concentração, podendo o minério ser utilizado, diretamente, apenas com a adequação granulométrica. Os procedimentos físicos para preparação mecânica têm por finalidade a obtenção de minérios de composição e dimensões uniformes e adequadas à boa operação nos aparelhos siderúrgicos.

A utilização do minério é feita normalmente de duas formas: minérios granulados e minérios aglomerados. Os granulados (entre 25 mm e 6 mm) são adicionados diretamente nos fornos de redução, enquanto os aglomerados são os minérios finos que, devido à sua granulometria, necessitam de uniformização. Os principais processos de aglomeração são a sinterização e a pelotização, indicados, respectivamente, para minérios de granulometria entre 6,35 mm e 0,15 mm (*sinter-feed*) e menos de 0,15 mm (*pellet-feed*). A produção de *sinter* se realiza nas mesmas plantas da indústria siderúrgica, fazendo parte da linha de produção de siderúrgicas integradas. A produção de pelotas, com diâmetro em torno de 15 a 10 mm, normalmente se realiza numa verticalização com a mineração.

Seja diretamente como granulado ou na forma de aglomerado (*sinter* ou pelota), o minério de ferro, com teores médios de 65% de ferro, sílica e alumínio em torno de 3% cada, e baixo fósforo, é utilizado nos altos-fornos para a produção de gusa, e nos fornos de redução direta, para produção de ferro-esponja. O refino do gusa e do ferro-esponja para transformá-los em aço é feito nas aciarias, que ainda transformam uma parcela considerável de sucata.

4.4.2 Reservas Mundiais e Brasileiras

Com relação aos recursos econômicos de ferro, mundialmente é visto, especialmente no pós-guerra, que esses recursos aumentaram mundialmente, seja impulsionado por pesquisas geológicas, seja por medidas que alteraram o perfil de aproveitamento dos minérios finos que, por aglomeração, passaram para a categoria de econômicos.

As reservas mundiais estimadas de minério de ferro são da ordem de 170 bilhões de toneladas. Segundo dados publicados em 2013 pelo DPNM, as reservas lavráveis brasileiras, com um teor médio de 50,3% de ferro, representam 11,7% das reservas mundiais. Os principais estados brasileiros detentores de reservas de minério de ferro são: Minas Gerais (70,0% das reservas e teor médio de 46,9% de Fe), Mato Grosso do Sul (15,3% e teor médio de 55,4%) e Pará (13,1% e teor médio de 64,8%). Na Tabela 4.4.2_1, é mostrada a reserva lavrável de minério de ferro em relação a outras nações.

Tabela 4.4.2_1 – Reserva Mundial de Minério de Ferro

Discriminação	Reservas (10 ⁶ t)
Países	2012 ^(e)
Brasil ⁽¹⁾	19.948
China	23.000
Austrália	35.000
Índia	7.000
Rússia	25.000
Ucrânia	6.500
Outros Países	53.552
Total	170.000

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* - 2013

(1) reserva lavrável; (e) dados estimados, exceto Brasil.

Em termos de ferro contido, o Brasil situa-se em 5º lugar na detenção das reservas mundiais de minério de ferro. Porém, em termos de teor ou concentração em ferro, esse posicionamento muda, significativamente, para a 2ª posição.

4.4.3 Produção Mundial e Brasileira

A produção mundial de minério de ferro em 2012 está estimada em 3,0 bilhões de toneladas (+2% em comparação com 2011) e a produção brasileira representou 13,4% desta.

Tabela 4.4.3_1 -. Os maiores produtores de Minério de Ferro em 2011-2012

Discriminação	Produção (10 ³ t)		
	2011 ^(e)	2012 ^(e)	%
Brasil	398.131	400.822	13,4
China ⁽¹⁾	1.330.000	1.300.000	43,3
Austrália	488.000	525.000	17,5
Índia	240.000	245.000	8,2
Rússia	100.000	100.000	3,3
Ucrânia	81.000	81.000	2,7
Outros Países	302.869	348.178	11,6
Total	2.940.000	3.000.000	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS - *Mineral Commodity Summaries* - 2013

(1) Estimativa de produção da China baseada em minério bruto; (e) dados estimados, exceto Brasil.

O Brasil é o terceiro maior produtor de minério de ferro, conforme o United States Geological Survey e a UNCTAD (Conferência das Nações Unidas para o Comércio e o Desenvolvimento). De acordo com essas fontes, em 2011, os três maiores produtores foram a China, com 1,33 bilhão de toneladas, a Austrália com 480 milhões de toneladas, e o Brasil com 390 milhões de toneladas. No entanto, quando se leva em conta o teor médio do minério de ferro chinês, a produção daquele país pode ser considerada de 380 milhões de toneladas, isto é comparada com a produção da Austrália e do Brasil (IBRAM, 2012).

A Figura 4.4.3_1 mostra a evolução da produção mundial e brasileira de minério de ferro entre os anos de 2000 e 2011, demonstrando que o Brasil acompanhou a evolução ocorrida.

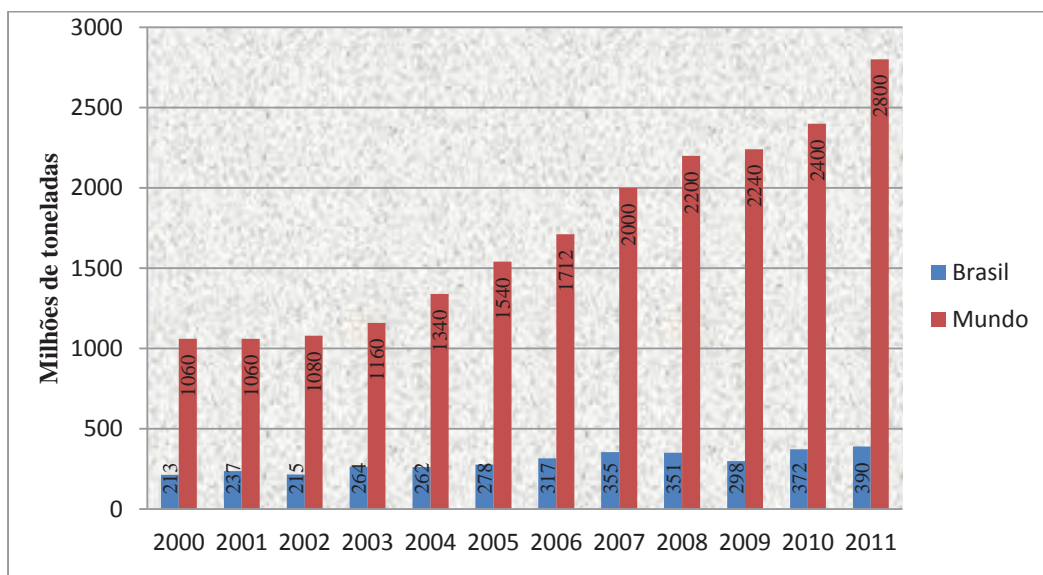


Figura 4.4.3_1 -. Evolução da produção mundial e brasileira de minério de ferro entre 2000 e 2011. Fonte: DNPM, 2011

A produção brasileira de minério de ferro, em 2012, atingiu 400,8 Mt (milhões de toneladas), com um teor médio de 64,4% de ferro. O valor da produção somou R\$ 55,4 bilhões, diminuindo 14,4% em comparação com o ano anterior, refletindo a queda dos preços de minério de ferro no mercado internacional. Por estado, a produção ficou assim distribuída: Minas Gerais (69,2%), Pará (26,8%), Mato Grosso do Sul (2,2%) e Amapá (1,7%).

O pequeno aumento da produção (0,7% em relação a 2011) se deveu às fortes chuvas que atingiram a região Sudeste no primeiro trimestre, dificultando as atividades de mineração e logística, e também às paradas para manutenção (corretivas e programadas) em algumas usinas da VALE S/A. As principais empresas produtoras foram: VALE S/A (MG, MS e PA), Samarco Mineração S/A (50,0% VALE) (MG), Companhia Siderúrgica Nacional-CSN (MG), Nacional de Minérios S/A-NAMISA (MG), Mineração Usiminas (MG) e Anglo Ferrous Amapá Mineração (AP).

Essas seis empresas foram responsáveis por 88,8% da produção nacional. Por tipo de produto, a produção se dividiu em: granulados (10,5%) e finos (89,5%),

estes distribuídos em *sinterfeed* (61,7%) e *pelletfeed* (27,8%). A pelotização absorveu 56,7% da produção de minério do tipo *pelletfeed*. As empresas produtoras de pelotas no Brasil são a VALE, que opera o complexo de usinas de pelotização instalado no Porto de Tubarão/ES, além das usinas de Fábrica (Ouro Preto/MG), Vargem Grande (Nova Lima/MG) e São Luiz/MA, e a Samarco, que opera três usinas instaladas em Ponta do Ubu/ES (está em construção uma quarta usina, com capacidade de produção de 8,0 Mt/ano). A produção brasileira de pelotas em 2012 diminuiu 5,4% em relação a 2011, totalizando 59,1 Mt.

A queda na produção foi provocada pelo baixo crescimento da indústria siderúrgica mundial, que obrigou a VALE a paralisar temporariamente algumas de suas usinas.

4.4.4 Comércio

Em 2012, as exportações brasileiras de minério de ferro e pelotas somaram 326,5 Mt, com um valor de US\$-FOB 31,0 bilhões. Em relação ao ano anterior, houve um decréscimo de 1,3% na quantidade e de 25,9% no valor. Foram exportadas 275,4 Mt de minério (+0,2%), com um valor de US\$-FOB 23,8 bilhões (-25,2%), e 51,1 Mt de pelotas (-8,8%), com um valor de US\$-FOB 7,2 bilhões (-28,0%). Os principais países de destino foram: China (50,0%), Japão (11,0%), Alemanha (4,0%), Coreia do Sul e Países Baixos (4,0% cada). Os preços médios de exportação de minério (US\$-FOB 86,46/t) e pelotas (US\$-FOB 140,42/t) diminuíram 25,4% e 21,0%, respectivamente, em comparação com 2011, atingindo os valores mais baixos desde 2009. A queda nos preços foi provocada pela redução da taxa de crescimento da China, causada por medidas de política monetária para diminuir a inflação, além da reestruturação do setor siderúrgico, visando reduzir o excesso de capacidade instalada, e do setor da construção civil, para evitar uma bolha imobiliária. Mas a China deve continuar sendo o principal

destino das exportações brasileiras de minério de ferro. As previsões são de que a economia chinesa cresça a uma taxa média de 8% nos próximos anos e que o país precisará importar cerca de 700 Mt de minério de ferro por ano. No entanto, há um consenso de que os preços não voltarão aos níveis de 2011. Nos últimos anos, não foram registradas importações significativas de minério de ferro. O consumo interno de minério de ferro está concentrado na produção de gusa e pelotas. Em 2012, o consumo aparente de minério de ferro (produção + importação - exportação) foi de 125,4 Mt (+1,7% em relação ao ano anterior). O consumo efetivo (consumo na indústria siderúrgica somado ao consumo nas usinas de pelotização) está estimado em 111,7 Mt (-6,3% em comparação com 2011). O consumo efetivo foi estimado com base nos dados de produção de gusa e pelotas (30,7 Mt e 59,1 Mt, respectivamente) e nos índices médios de consumo informados pelas empresas produtoras (1,56 t de minério/t de gusa e 1,08 t de minério/t de pelotas).

Tabela 4.4.4_1 - Principais estatísticas – Brasil

Discriminação		Unidade	2010 ^(r)	2011 ^(r)	2012 ^(p)
Produção	Minério	(t)	372.120.057	398.130.813	400.822.445
	Pelotas	(t)	62.328.484	62.446.077	59.104.000
Importação	Minério	(t)	-	-	-
		(10 ³ US\$-FOB)	-	-	-
	Pelotas	(t)	-	-	-
		(10 ³ US\$-FOB)	-	-	-
Exportação	Minério	(t)	258.820.293	274.796.904	275.398.875
		(10 ³ US\$-FOB)	21.353.878	31.851.797	23.809.804
	Pelotas	(t)	52.110.616	56.032.943	51.129.931
		(10 ³ US\$-FOB)	7.558.004	9.965.454	7.179.488
Consumo Aparente ⁽¹⁾	Minério	(t)	113.299.764	123.333.909	125.423.570
Consumo Efetivo ⁽²⁾	Minério	(t)	115.515.643	119.300.843	111.794.520
Preços	Minérios ⁽³⁾	(R\$/t)	150,58	299,76	141,02
	Minérios ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	82,50	115,91	86,46
	Pelotas ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	145,04	177,85	140,42
	Lump ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	81,61	106,28	84,22
	Sinter-Feed ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	88,28	113,61	91,50
	Pellet-Feed ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	115,42	164,48	90,11

Fonte: DNPM/DIPLAM; MDIC/SECEX

(1) produção + importação – exportação;

(2) consumo na indústria siderúrgica somado ao consumo nas usinas de pelotização (1,56 t minério/t de gusa; 1,08 t de minério/t de pelotas);

(3) preço médio FOB-mina, minério beneficiado;

(4) preço médio FOB - exportação;

(p) preliminar; (r) revisado; (-) nulo.

4.4.5 Perspectivas de Mercado

De acordo com Bennett (1985), a qualidade do minério de ferro está basicamente ligada a três características: química, que corresponde à própria composição (quanto maior o teor de ferro e menor o de impurezas, melhor); física, que se refere à granulometria, ou seja, ao tamanho das partículas; metalúrgica (itens de desempenho que afetam a produtividade durante o processo siderúrgico). Isso requer alto nível de controle nas etapas de peneiramento e classificação, mesmo para minérios de alto teor de ferro e baixo nível de impurezas, atendendo, assim, às exigências do mercado. É fundamental que todas as etapas do processamento sejam devidamente dimensionadas e controladas em função dos volumes processados, de modo a minimizar os custos e assegurar a qualidade dos produtos.

Desde a sua origem e aperfeiçoamento, o ferro contribui para as conquistas da humanidade, beneficiando a era moderna com o surgimento do aço, que se tornou importante elemento no dia a dia das pessoas, estando presente na fabricação de automóveis, aviões, linhas de transmissão de energia elétrica, tubulações de água, entre outros. A extração de minério de ferro é uma indústria presente na maior parte dos países.

Apesar da volatilidade do curto prazo, ainda é esperada uma demanda significativa no longo prazo por minério de ferro graças ao crescimento econômico e à expansão da urbanização – especialmente na Índia e na China.

O mercado mundial tende a manter dependência das exportações de minério de ferro australianas e brasileiras pelo menos até final de 2015. Estes dois países possuem um *market share* de 70-72%.

Além disso, há uma contribuição acentuada de novos projetos no médio prazo, o que irá influenciar a curva de oferta e de demanda do minério entregue à China. Segundo estudos do banco Credit Suisse, nesse médio prazo, estaremos

diante de desafios técnicos e logísticos, uma vez que a qualidade do minério estaria em declínio.

Uma nova fronteira da mineração poderá ser o Norte de Minas. A extração de minério de ferro deverá levar para a região o desenvolvimento que já trouxe ao Quadrilátero Ferrífero e à região central. Nos últimos dois anos, a mineração surgiu como uma das atividades capazes de transformar a realidade nas áreas menos desenvolvidas. É o que deve acontecer no Alto Rio Pardo e na Serra Geral, onde a exploração de jazidas de minério de ferro deve receber investimentos de R\$ 7 bilhões nos próximos cinco anos.

A transformação do Norte de Minas na nova fronteira mineral do estado é a aposta de grandes empresas nacionais e multinacionais detentoras de direitos minerais na região. Entre elas, Vale, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), Grupo Votorantim, Mtransminas, Mineração Minas Bahia (Miba) e Gema Verde.

A ideia é viabilizar a exploração de minério de baixo teor. A reserva estimada é de 20 bilhões de toneladas de minério abrangendo 20 municípios, entre eles, Salinas, Rio Pardo de Minas, Grão Mogol, Porteirinha e Nova Aurora. Para alavancar a mineração nessa nova fronteira, no entanto, serão necessários infraestrutura e planejamento logístico.

4.4.6 Estimativa de Preços

Atualmente, o minério de ferro encontra-se em uma baixa do mercado, mas sua curva de preço é ascendente nos últimos 10 anos, entretanto esse é seu pior momento desde 2008 (figura 4.4.6_1).



Figura 4.4.6_1 – Preço do minério de ferro (CIF) no mercado internacional para exportação nos últimos 5 anos (www.infomine.com)

A média de preço no período de 2010 a 2014 foi de aproximadamente US\$140,00/ton, sendo que, atualmente, o minério de ferro encontra-se em baixa devido à retração do mercado chinês, sendo negociado, em 2015, na casa de US\$60,00/ton (Figura 4.4.6_2).

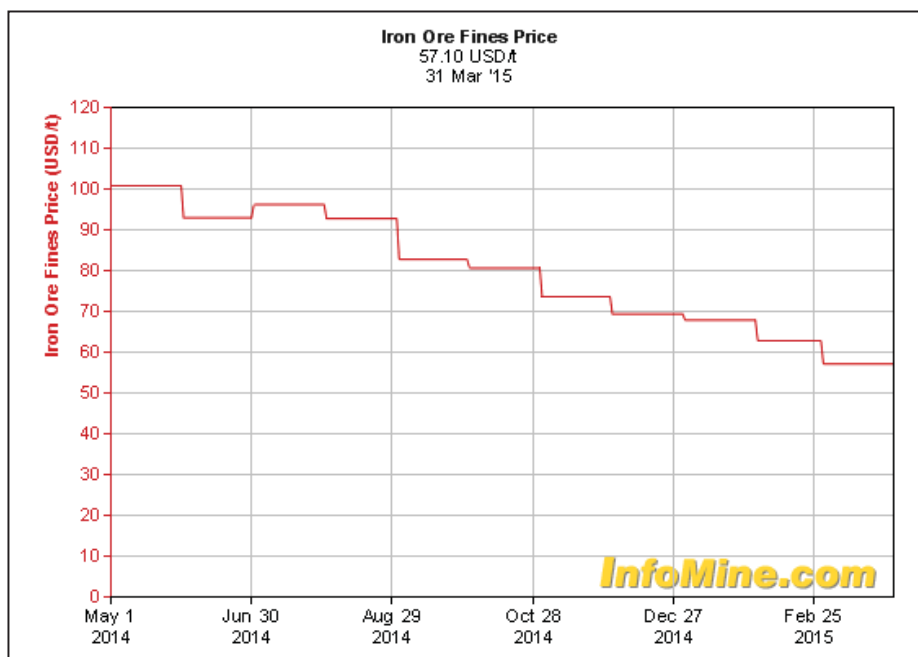


Figura 4.4.6_2 – Preço do minério de ferro (CIF) no mercado internacional, para exportação no período de 2014 a 2015 (www.infomine.com)

Levando-se em conta a tendência de ascensão do minério de ferro nos últimos anos, interpreta-se que essa queda é momentânea, como já ocorreu na crise de 2008/2009 e em 2012, quando atingiu menos de US\$110,00/ton e o preço se recuperou.

Assim, ao analisar os preços do minério de ferro nos últimos anos, excluindo os picos de custo, é possível ver uma tendência de preço médio entre US\$120,00/ton e US\$140,00/ton, sendo possível realizar uma estimativa para o minério de ferro nos próximos 10 anos em torno de US\$100,00/ton a US\$120,00/ton.

5 Geologia Regional

A área de estudo integra geologicamente a Província Mantiqueira, que representa um sistema orogênico neoproterozoico situado no sul e no sudeste do Brasil, englobando os orógenos de Araçuaí, Ribeira, Brasília meridional, Dom Feliciano e São Gabriel (Figura 5_1).

Com a evolução do conhecimento geológico sobre a Faixa Araçuaí e com as descobertas das ocorrências de ofiolitos (remanescentes de litosfera oceânica neoproterozoica) e arco magmático cálcio-alcalino (relacionado com o consumo da litosfera), aliados às correlações entre a Faixa Araçuaí e Congo Ocidental e as relações cronoespaciais, foi possível redefinir o Orógeno Araçuaí – Congo Ocidental, referindo-se ao conjunto orogênico neoproterozoico/cambriano delimitado pela área de reentrância entre os crátons do São Francisco e Congo Ocidental que permaneceram parcialmente ligados desde a tafrogenese toniana (possivelmente desde 2.000Ma) até a abertura do Atlântico Sul. Assim, formou-se um golfo ligado ao paleo oceano Adamastor. O orógeno gerado desse “aprisionamento” é definido como um orógeno confinado, cujos limites serviram posteriormente para moldar a orogênese no momento do fechamento oceânico (PEDROSA-SOARES et al., 2007).

O Orógeno Araçuaí – Congo Ocidental pode ser caracterizado como um conjunto de componentes geotectônicos que definem um orógeno colisional sucessor de um processo acrescionário de margem continental ativa e passiva, exemplificado pelos depósitos de margem continental passiva, lascas ofiolíticas, zona de sutura, arco magmático, granitos sin-colisionais e plutonismo pós-colisional (PEDROSA-SOARES et al., 2007). A porção brasileira do Orógeno Araçuaí – Congo Ocidental possui todas as características geotectônicas necessárias para defini-lo como orógeno colisional, sendo assim chamado apenas de Orógeno Araçuaí no decorrer desse trabalho.

Os alvos estudados estão localizados na região do vale do Jequitinhonha–MG e integram a Faixa Araçuaí em seu setor setentrional.

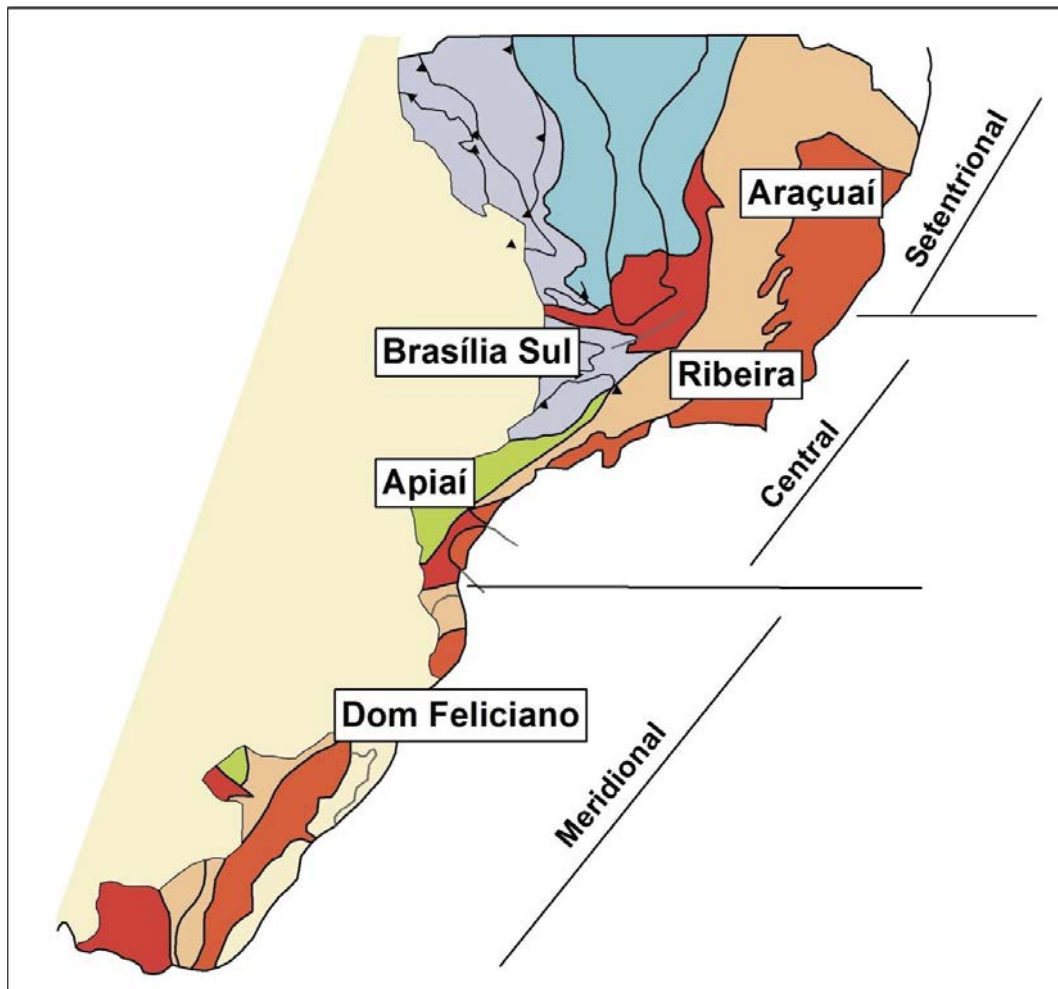


Figura 5_1 - Província Mantiqueira e seus Orógenos (Modificado de HEILBRON et al., 2004)

O embasamento do setor setentrional é composto por:

1. Rochas arqueanas gnáissicas, com remanescentes de *greenstone belts*, sequências supracrustais paleoproterozoicas e suítes graníticas, afetadas pela Orogenia Transamazônica e retrabalhadas pela Orogenia Brasileira.

2. Unidades do Paleoproterozoico Superior e Mesoproterozoico, representadas por rochas metassedimentares do Supergrupo Espinhaço e por granitos.

Esse embasamento foi coberto pelos metassedimentos do Grupo Macaúbas que é constituído por unidades proximais (depósitos metassedimentares e vulcânicos) que contêm pacotes de rochas glaciogênicas (metadiamicíticos). Essas unidades representam a evolução da bacia desde sua fase *rift* (Figura 5_2), marcada por sequências pré-glaciais e glaciais, até a fase transicional evidenciada por sequências glácio-marinhas (NOCE E.G. et al., 1997; PEDROSA-SOARES & WIEDEMANN-LEONARDOS 2000).

Em trabalhos mais recentes (PEDROSA-SOARES et al. 2001), a Formação Salinas foi subdividida em uma “unidade proximal”, considerada como exclusivamente sedimentar, e uma “unidade distal”, vulcano-sedimentar, portadora de remanescentes de litosfera oceânica neoproterozoica.

A “unidade proximal” seria composta, predominantemente, por quartzo-mica xisto bandado, metagrauvaca (“quartzito impuro”, carbonático ou não), micaxisto e grafita xisto, com intercalações frequentes de rocha calciossilicática paraderivada (metamarga), mas raras intercalações de metaconglomerado clasto-suportado e mármore calcítico. A “unidade distal” foi referida pelo nome de Ribeirão da Folha-Dom Silvério (PEDROSA-SOARES & WIEDEMANN-LEONARDOS 2000, PEDROSA-SOARES et al. 2001), pois apresenta continuidade física desde a norte do Distrito de Ribeirão da Folha (Município de Minas Novas) até a sul da cidade de Dom Silvério (a leste e sudeste do Quadrilátero Ferrífero).

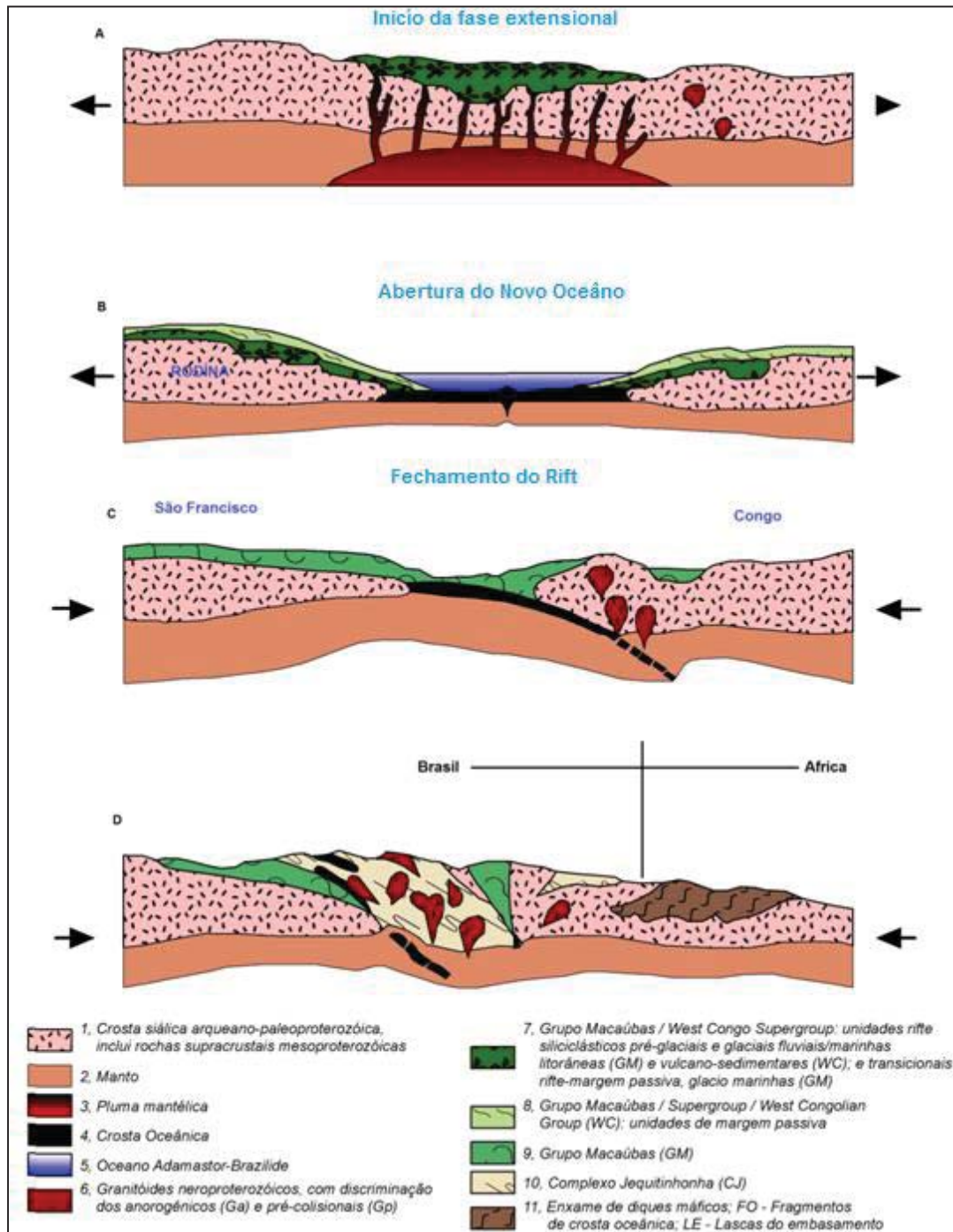


Figura 5_2 - Seções esquemáticas do modelo evolutivo do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental (fora de escala); adaptado de PEDROSA-SOARES et al., 2001. In: *Projeto Extremo Sul da Bahia*, CPRM, 2002

5.1 Grupo Macaúbas

A área foco deste estudo está localizada na região norte do estado de Minas Gerais, nas proximidades dos municípios de Rio Pardo de Minas e grão Mogéol, onde ocorrem as rochas do Grupo Macaúbas (Figura 5.1_1) de idade neoproterozóica, mais precisamente, a Formação Nova Aurora. Com base no mapeamento realizado pelo Projeto Espinhaço (GROSSI-SAD et al. 1997), Noce et al. (1997) subdividiram o Grupo Macaúbas nas seguintes formações (da unidade mais velha à mais nova, consideradas as relações laterais):

- Formação Duas Barras – quartzito, geralmente microgradado, com lentes de conglomerado;

- Formação Domingas – metassiltito e metadolomito estromatolítico;

- Formação Rio Peixe Bravo – quartzito imaturo e mal selecionado, com intercalações de filito e conglomerado;

- Formação Serra do Catuni – metadiamicrito geralmente maciço, com raras intercalações de quartzito e filito;

- Formação Nova Aurora – metadiamicrito com intercalações de quartzito e metapelito, gradado ou não, rico em hematita, contendo níveis de formações ferríferas do tipo Rapitan pertencentes ao membro Riacho Poções;

- Formação Chapada Acauã – metadiamicrito, metapsamito e metapelito, com raras lentes de mármore dolomítico. Caracteriza-se por espessos ciclos de fluxos de detritos e turbiditos, cujos termos grossos são metadiamicrito, sucedido por quartzito e metapelito. Granodecrescência ascendente e contatos erosivos entre ciclos são comuns. A porção superior desta unidade é tipificada por alternância de quartzito e metapelito;

- Formação Ribeirão da Folha – composta por uma sequência vulcânica com contribuições ácida, básica e ultrabásica, associadas com variedades filíticas, quartzíticas e chert, podendo conter mineralização aurífera em níveis sulfetados;

- Formação Salinas – quartzo-biotita xisto bandado, metagrauvaca, rocha cálcio-silicática, metaconglomerado e grafita xisto.

- Formação Capelinha – subdivide-se nos membros: inferior que é marcado pela alternância de quartzito com quartzo-mica xisto e xisto carbono-grafitoso; e superior, que se trata de um ortoquartzito laminado, com intercalações de quartzito ferruginoso e/ou micáceo e/ou feldspático.

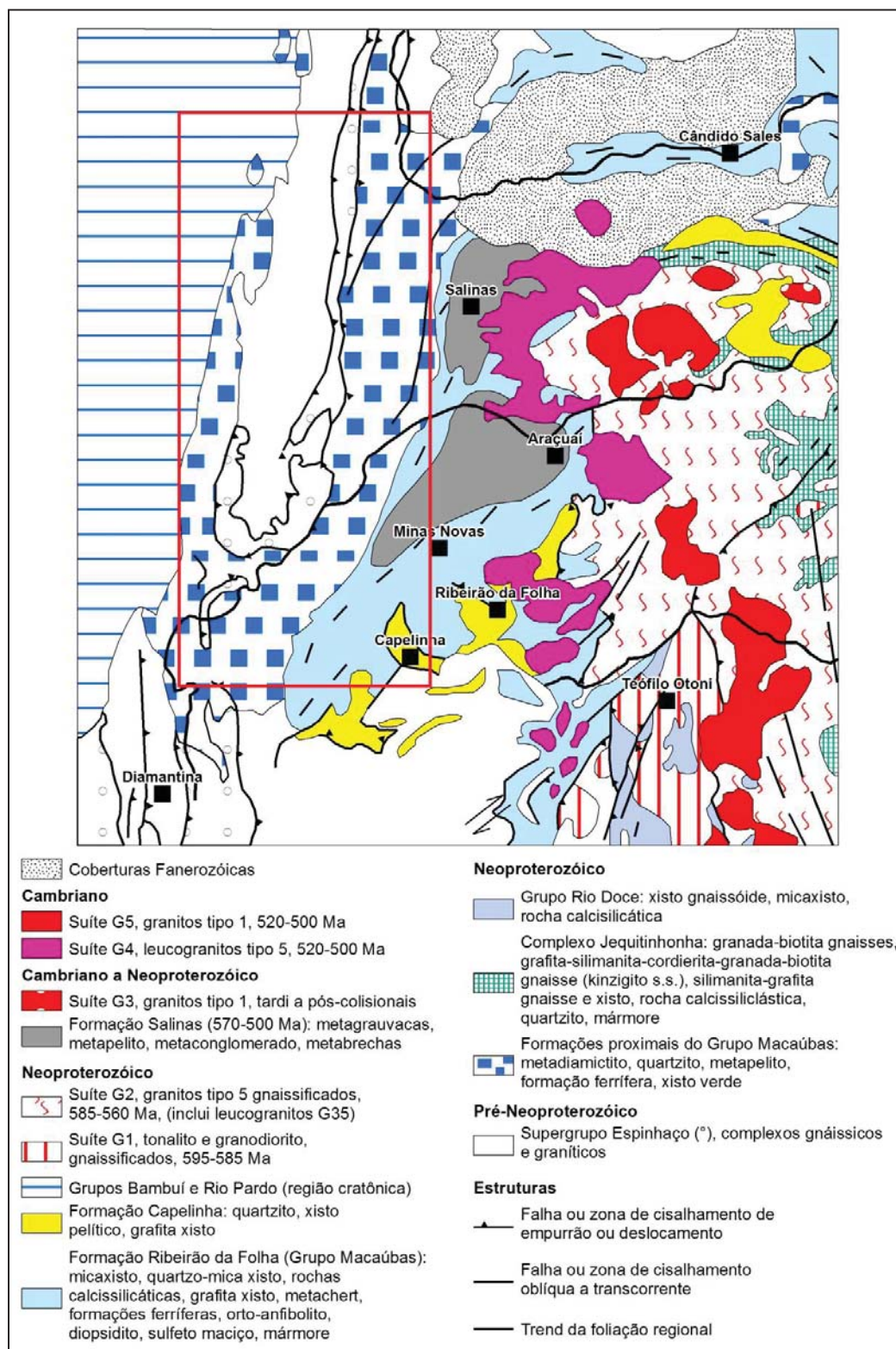


Figura 5.1_1 - Mapa Geológico da Porção Setentrional da Faixa Araçuaí (Modificada de LIMA et al., 2002). Em vermelho está marcada a área que contempla a região estudada

A seguir, tem-se a descrição das unidades do Grupo Macaúbas, partindo da porção basal para o topo.

5.1.1 Formação Duas Barras

A Formação Duas Barras constitui a base do Grupo Macaúbas. Apresenta relativa homogeneidade com relação às características texturais, composicionais e estruturais, mantendo seu posicionamento estratigráfico. Está exposta descontinuamente em núcleos de anticlinais ao longo do rio Macaúbas, do Ribeirão do Onça, e dos córregos Taquari e Saco de Mel.

Constituída por quartzito, às vezes conglomerático, com estratificações cruzadas e *ripples*, também se observam lentes delgadas de quartzito monomítico (UHLEIN et al., 2007), sendo de ampla ocorrência em torno da Serra do Espinhaço, tanto a leste como a oeste, com espessuras que podem atingir até 200 metros.

5.1.2 Formação Domingas

A Formação Domingas (NOCE et al., 1997) aflora de forma descontínua ao longo da calha do Rio Jequitinhonha e próximo ao distrito de Inhaí, na localidade da Fazenda Boqueirão. Os afloramentos dessa unidade são constituídos por camadas de metassiltito maciço e metapelito laminado, contendo, no topo, lentes de dolomito cinzento composto por estruturas estromatolíticas. Os corpos de rochas dolomíticas ocorrem na forma de lentes isoladas, contendo estruturas estromatolíticas colunares, relacionadas à base do Grupo Macaúbas. Análises

isotópicas de C, O e Sr, realizadas nessas mesmas lentes, correlacionam essas rochas com a curva isotópica para o período neoproterozoico (FRAGA et al., 2011). Os estromatólitos representam estruturas biogênicas primitivas desenvolvidas por cianobactérias em atividade desde o arqueano, com maior expansão no Proterozoico, final do Rifeano, entre 950 e 650 Ma (CLOUD & SEMIKHATOV, 1969; WALTER et al., 1972).

5.1.3 Formação Rio Peixe Bravo

Definida por Viveiros et al. (1978), compreende quartzo-filito com intercalações de quartzito e, menos frequentemente, por filito grafitoso. Os quartzo-filito são de coloração acinzentada, com presença de veios ou “Augens” de quartzo recristalizado, com grãos de quartzo sub-arredondados a arredondados, constituídos por $\pm 40\%$ a 50% de quartzo, $\pm 40\%$ a 50% de sericita, com clorita subordinada, traços de turmalinas, zirconita e opacos (até 5%) (VIVEIROS et al., 1978). O quartzito ocorre intercalado no quartzo-filito, formando em geral espessuras de pequeno porte, não ultrapassando 30 m, mas de grande extensão lateral. O filito grafitoso é composto por cerca de 70% de sericita, caulinita e grafita; 30% de quartzo e traços de turmalina, zirconita e opacos, sendo a grafita granular, muito fina e associada às micas.

Extensas crostas manganíferas se desenvolveram em diversos locais, ao nível da Superfície Sul-Americana, chamada assim por se tratar de uma superfície guia, cujo aplainamento gerou cotas constantes em toda a região continental mais antiga da América do Sul. A espessura máxima da Formação Rio Peixe Bravo é estimada em torno de 700 metros, nas proximidades da Vila de Nova Aurora, no município de Rio Pardo de Minas.

5.1.4 Formação Serra do Catuni

Recobre discordantemente as formações anteriores e também o embasamento, assinalando uma fase de ampliação da paleobacia Macaúbas. É constituída por metadiamicrito, em sua maioria maciço, por vezes, exibindo intercalações lenticulares de quartzito, além de filito e metaritimto. Os metadiamicritos apresentam espessura de cerca 150 a 2.000 metros. Representa um ciclo de sedimentação subaquosa, com predomínio de fluxos de detritos e com intercalações lenticulares de turbiditos, resultado de um extenso processo de rifteamento. Um hiato de aproximadamente 50 Ma marca a passagem entre as Formações Duas Barras e Serra do Catuni. Sua idade de sedimentação gira em torno de 800 a 750 Ma (UHLEIN et al., 2007).

5.1.5 Formação Nova Aurora

Aflora ao norte da anticlinal de Porteirinha é composta por metadiamicrito, sendo quartzito, filito, metaconglomerado e metaritimto de ocorrência subordinada. O metadiamicrito apresenta clastos de quartzito, granito, filito e calcário, alongados pela ação tectônica e suportados por matriz silto-argilosa ou areno-argilosa, interpretados como produtos de um fluxo de detritos subaquoso. Sua espessura gira em torno de 1.000 a 2.000m, podendo alcançar, em algumas localidades, até 3.000m. A atuação de correntes de turbidez (turbiditos) é evidenciada pela presença de quartzito e metaritimto. Merece destaque o membro Riacho Poções, com espessura de cerca de 600m, constituído por metadiamicritos, quartzitos e metapelitos enriquecidos em ferro (VIVEIROS et al., 1978). Lateralmente, a Formação Nova Aurora grada para a Formação Chapada Acauã, que mais ao sul, cobre a Formação Serra do Catuni. Assim, acredita-se que a Formação Nova

Aurora seja uma segunda cunha clástica, resultado de movimentações tectônicas extensionais que ocorreram na borda da bacia.

As formações ferríferas da Formação Nova Aurora foram descritas e separadas estratigraficamente no Membro Riacho Poções (VIVEIROS et al., 1978), que representa o nível hospedeiro das ocorrências ferríferas. A mineralização de ferro está associada com a hematita e a magnetita contidas nos metadiamicritos e quartzitos, sendo que essas ocorrências ferríferas são consideradas como do tipo Rapitan.

5.1.6 Formação Chapada de Acauã

É representada por quartzito de origem turbidítica, metapelito, metarritmito, metamarga, metadiamicrito e xistos verdes, sendo que tais xistos ainda preservam estruturas do tipo *pillow* lava, demonstrando vulcanismo sin-deposicional. Sua espessura é estimada, grosseiramente, em torno de 2.000 a 3.000m. Lateralmente, para leste, a Formação Chapada de Acauã grada para a Formação Ribeirão da Folha, que é composta por mica xisto, metarritmito, quartzito e calciossilicática, contendo ainda, nos arredores de Ribeirão da Folha, rochas metaultrabásica e anfibolito com intercalações de BIF's (Formações Ferríferas Bandadas), aceitas como remanescentes de uma crosta oceânica neoproterozoica (UHLEIN et al., 2007).

5.1.7 Formação Ribeirão da Folha

É composta por uma sequência vulcânica com contribuições ácida, básica e ultrabásica, associadas a variedades filíticas, quartzíticas e metachert, podendo conter mineralização aurífera, nos arredores de Ribeirão da Folha e Baixa Quente. PEDROSA-SOARES et al. (1996), caracterizaram a sucessão metavulcano-sedimentar do vale do Ribeirão da Folha como uma sequência rica em horizontes sulfetados, pertencente à "Unidade Salinas", que seria correlata do Grupo Macaúbas.

Uhlein (1991) apresentou estudos regionais que incluem a área de Ribeirão da Folha, considerando a sequência homônima como unidade do seu "Complexo Salinas", depositado em ambiente exclusivamente "ensialico".

Pedrosa-Soares (1995, 1997), Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000) e Pedrosa-Soares et al. (1998, 2001) apresentam estudos detalhados sobre derivação, ambiente deposicional, idade, ambiente paleotectônico e correlações da "Fácies" (ou "Membro") Ribeirão da Folha. O acervo litológico dessa unidade é descrito como: mica xisto peraluminoso (com granada, estauroлита, cianita e/ou sillimanita) e quartzo-mica xisto, com intercalações de formações ferríferas bandadas ricas em silicatos (granada e anfibólio), óxidos (magnetita e hematita) e sulfetos (principalmente pirita), metachert e diopsidito sulfetado com corpos de sulfeto maciço, xisto grafitoso e rocha calciossilicática. A caracterização do metamorfismo foi baseada nas paragêneses metamórficas do mica xisto peraluminoso e em dados geotermobarométricos quantitativos, que indicam fácies anfibolito intermediária nas zonas da cianita + estauroлита, com temperaturas entre 550° e 570° C e pressão litostática entre 5,0 e 5,5 kbar, e da sillimanita + estauroлита, onde a temperatura atinge valores em torno de 600° C. Os anfibolitos da "Fácies" Ribeirão da Folha foram caracterizados como derivados de magmas tholeíticos, com assinatura de assoalho oceânico, e idade de cristalização magmática em 816 ± 72 Ma (Sm-Nd, rocha total). Esses autores também descrevem lascas de rochas metaultramáficas tectonicamente alojadas

na "Fácies" Ribeirão da Folha e nos quartzitos que a sobrepõem (e.g., Corpo Metaultramáfico do Córrego do Rubinho).

Lima et al. (2002) elevaram a "Fácies" Ribeirão da Folha à categoria de formação do Grupo Macaúbas, em trabalho que redefine a Formação Salinas como uma unidade bem mais nova (570- 500 Ma) do que esse grupo (veja item adiante).

Brandani & Costa (2004) demonstram a continuidade física da sucessão metassedimentar da Formação Ribeirão da Folha, desde os arredores de Baixa Quente às áreas adjacentes mapeadas por Freitas-Silva & Pereira (1987), Lagoeiro & Menegasse (1987) e Silva et al. (1987).

5.1.8 Formação Salinas

Composta por quartzito, metapelito, metaconglomerado lenticular e rochas metacalciossilicática, de origem turbidítica (UHLEIN et al., 2007). Anteriormente, com base em dados sedimentológicos, admitia-se que a Formação Salinas estivesse relacionada com a evolução da margem passiva da paleobacia Macaúbas, englobando grande parte da Formação Ribeirão da Folha. Junto com a Formação Nova Aurora, representaria um ciclo de sedimentação gravitacional, do tipo leque submarino, com correntes de sedimentação advindas de noroeste e sudeste (UHLEIN et al., 2007). Lima et al. (2002), demonstraram idades de 588 ± 24 Ma, sugerindo que a Formação Salinas não fosse integrada ao Grupo Macaúbas. Em contrapartida, Uhlein sugere a existência de um hiato temporal entre a Formação Salinas e o restante do Grupo Macaúbas. A Formação Salinas é composta por um sistema de fácies canalizadas, que formam conglomerados lenticulares, e fácies não canalizadas, constituída por arenito, ritmito e pelito (UHLEIN et al., 2007). Os conglomerados são clastos suportados, de grande

diâmetro e sugerem fonte proximal. Canais sinuosos e efêmeros possibilitavam a passagem de correntes de turbidez, contribuindo para o desaceleramento e posterior sedimentação.

5.1.9 Formação Capelinha

Caracterizada pela ocorrência de espessas camadas de quartzitos constituídas de quartzito laminado micáceo, intercalado este com quartzomuscovita xistos, com níveis de formação ferrífera bandada (BIF) e quartzitos hematíticos, os quais sustentam o relevo da maior parte das chapadas. Em trabalho mais abrangente, Grossi-Sad et al. (1993) designaram a Formação Capelinha como unidade superior do Grupo Macaúbas e a subdividiram em dois membros:

- (i) O membro inferior, composto por quartzito micáceo, ferruginoso, feldspático e/ou grafitoso, intercalados com quartzomica-xisto ricos em plagioclásio e xisto carbono-grafitoss;
- (ii) O membro superior, constituído predominantemente por ort quartzito laminado e localmente, por quartzito ferruginoso e/ou micáceo e/ou feldspático.

As paleocorrentes, para as unidades superiores do Grupo Macaúbas (excetuando-se as Formações Ribeirão da Folha e Capelinha), exibem medidas, em laminações cruzadas de ripples assimétricas, indicando que as correntes de turbidez estariam se movimentando para SE, com direções 100 e 150 de azimute. As direções de paleocorrentes aliada à diversidade dos clastos (carbonáticos, gnáissicos, quartzíticos e até metavulcânicas) sugerem uma sedimentação que tenha sido influenciada, num primeiro momento, pela fase *rift*, e, posteriormente, com origem sin-orogénica (UHLEIN et al., 2007).

Os estudos realizados por Pedrosa-Soares (1995, 1997) demonstram a distribuição territorial da Formação Capelinha no vale do Rio Araçuaí e vizinhanças. Esse autor considera a Formação Capelinha como sobreposta à Formação Ribeirão da Folha, e destaca as evidências de discordância e contatos tectônicos, além do marcante contraste sedimentológico entre ambas. Por isto, a Formação Capelinha é interpretada como sedimentação relacionada ao fechamento da bacia Macaúbas e as fontes possíveis para os seus sedimentos seriam o Complexo Guanhães e os complexos gnáissico-migmatíticos orientais do Orógeno Araçuaí. Este autor ainda interpreta como neoproterozoica a possível idade da Formação Capelinha devido aos fatos que se seguem:

- (i) As formações Capelinha e Ribeirão da Folha registram os mesmos metamorfismo e deformação regionais;
- (ii) Essas formações alojam os mesmos granitoides intrusivos, não foliados, pós-cinemáticos à foliação regional.

6 Sensoriamento Remoto e Geofísica

Nesta etapa do trabalho, foram interpretados os produtos gerados a partir do trabalho de processamento dos dados de aerogeofísica e sensoriamento remoto, sendo que, para nortear as atividades de interpretação, iniciou-se o processo de interpretação dos dados a partir das formações ferríferas que ocorrem no setor central da área de estudo, local este estudado e caracterizado por Viveiros et. al. em 1978, a partir da criação do Membro Riacho Poções, que individualizou pela primeira vez essas ocorrências ferríferas.

6.1 Análise dos Dados

Analisando os platôs ferríferos que ocorrem na região da vila de Nova Aurora, é possível ver na imagem de satélite do sensor *ASTER*, no espectro visível (bandas 1, 2 e 3), as regiões aflorantes das ocorrências ferríferas da Formação Nova Aurora, demarcadas em amarelo na imagem da Figura 6_1. A partir da demarcação das regiões de ocorrência conhecidas e visíveis, realizou-se o cruzamento desses dados com as imagens de geofísica processadas, com o objetivo de analisar a resposta obtida nos processamentos realizados e buscar uma assinatura geofísica para essas ocorrências.

Dessa maneira, analisando primeiramente o filtro do sinal analítico, que é um processamento que visa modelar o topo e a base das camadas magneticamente anômalas, foi possível verificar que estas ocorrências se estendem além da região visível da imagem *ASTER* e marcam uma anomalia positiva de direção NE-SW com continuidade tanto para norte como para sul, com grande extensão regional, conforme demarcado em azul na Figura 6.1_2. Em escala de detalhe, é possível perceber que as anomalias correspondentes às ocorrências ferríferas extraídas da

imagem de satélite (Figura 6.1_1) possuem direção NE-SW com mergulho para SE, fato este evidenciado pelo decaimento da amplitude do sinal analítico, que indica a direção de mergulho da camada modelada (Figura 6.1_3).

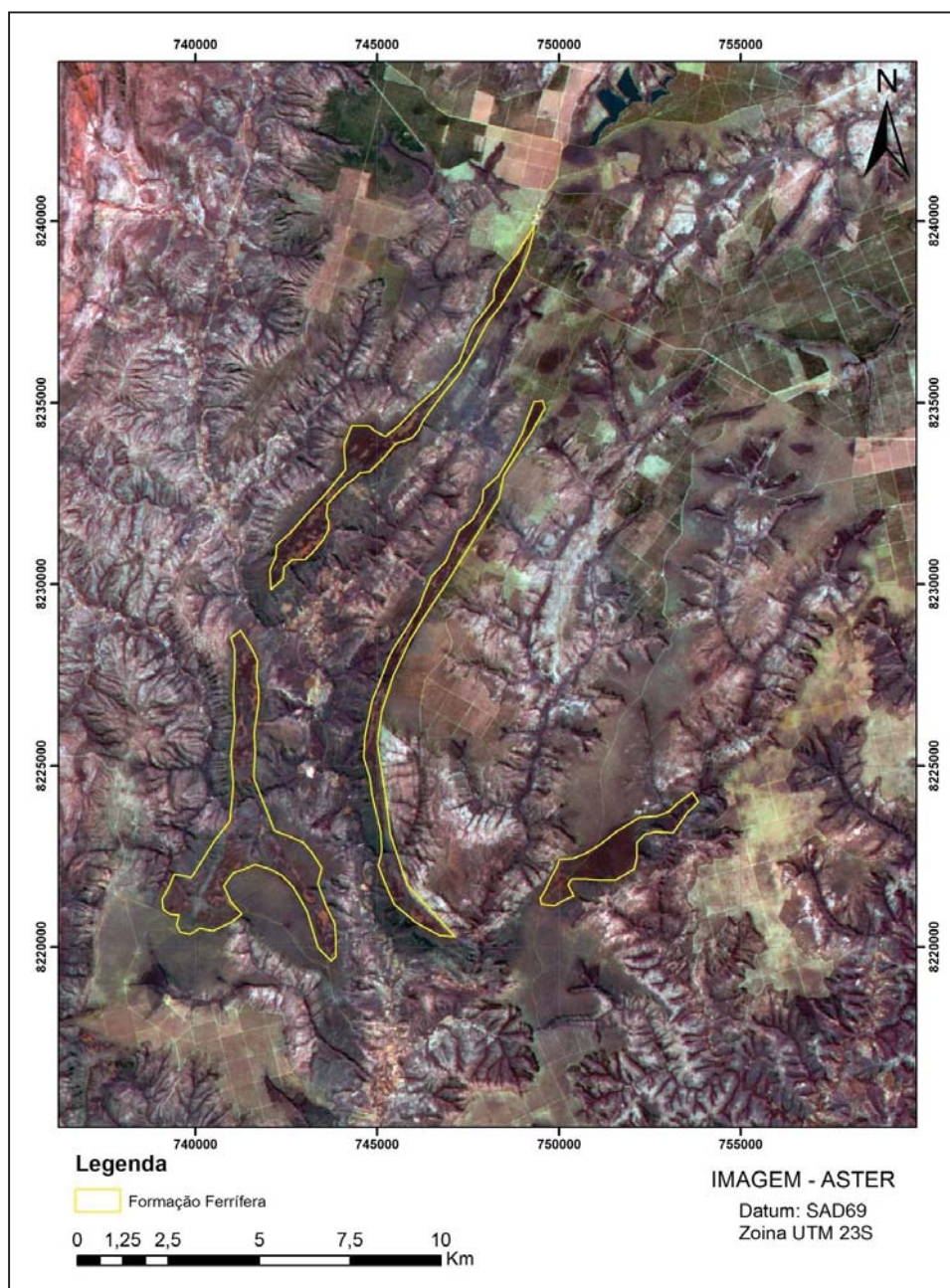


Figura 6.1_1 – Imagem do sensor *ASTER* (espectro visível) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas, sendo que a mesma foi utilizada como padrão para o estudo dessas ocorrências nos produtos gerados a partir do processamento geofísico

Fonte: Elaborada pelo autor

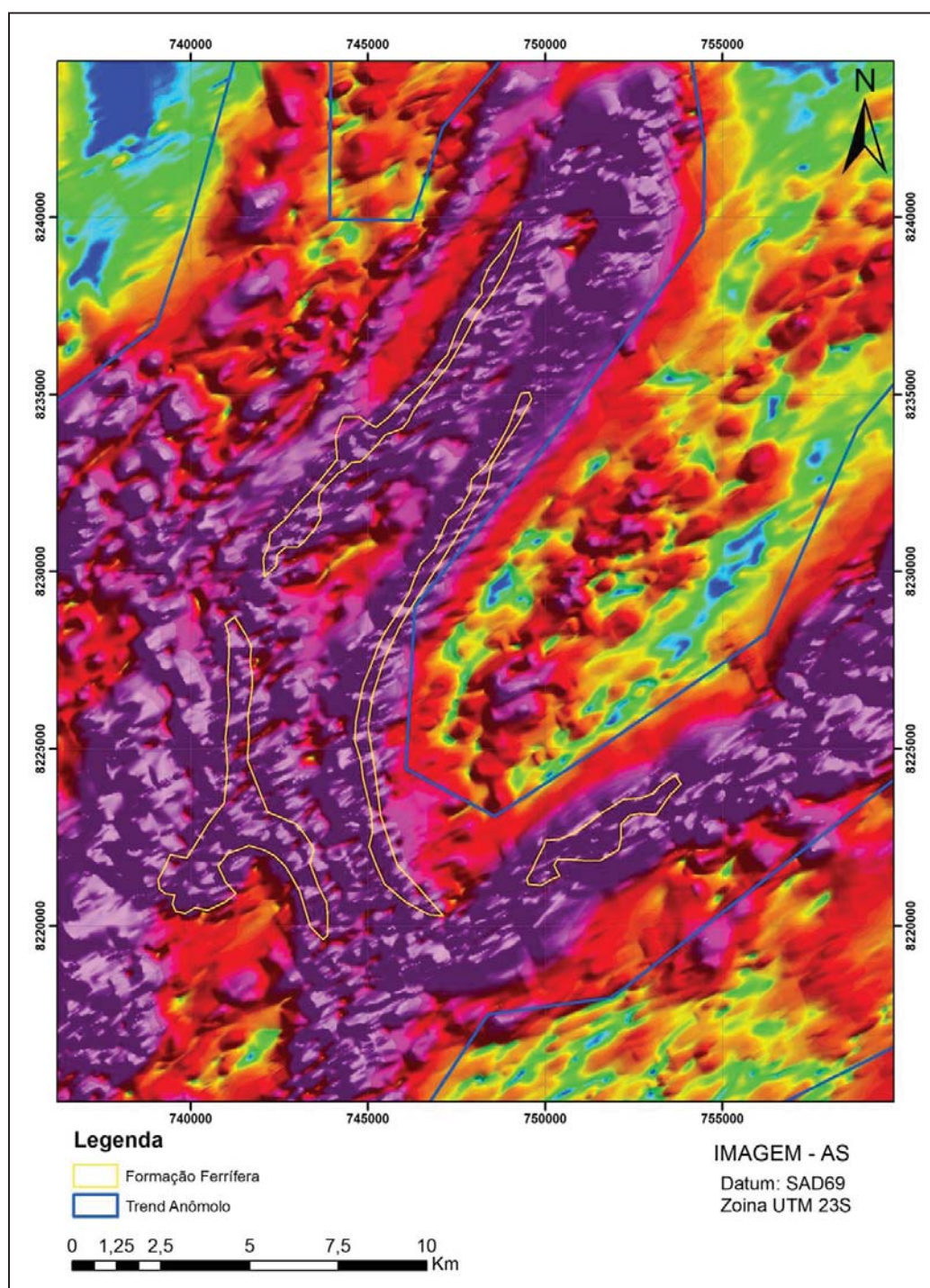


Figura 6.1_2 – Imagem do Filtro do Sinal Analítico (Magnetometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo), mostrando que as formações ferríferas geram uma anomalia positiva que continua além da região visível na imagem de satélite da Figura 6.1_1, demarcada em azul

Fonte: Elaborada pelo autor

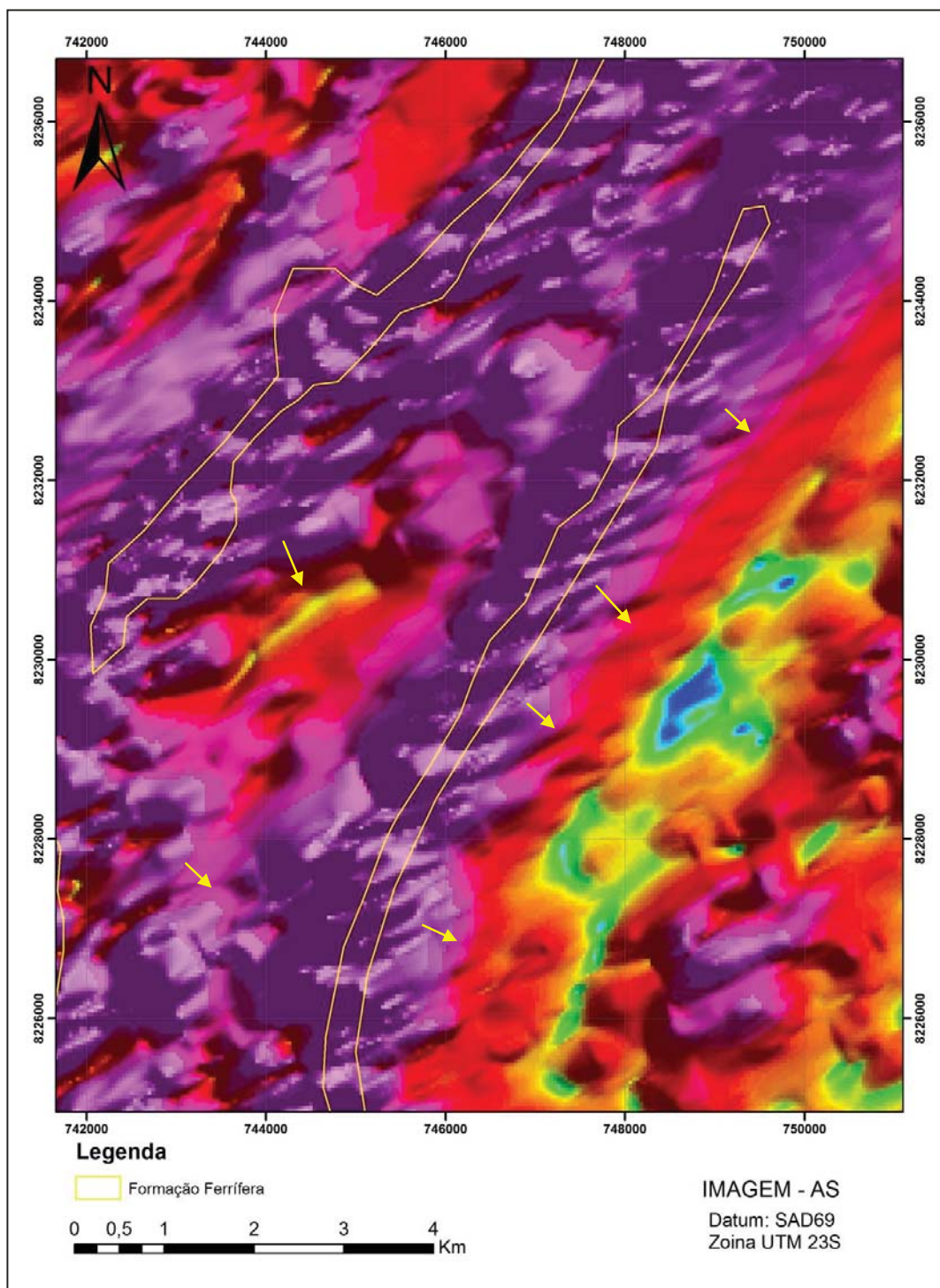


Figura 6.1_3 – Imagem do Filtro do Sinal Analítico (Magnetometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo), com o decaimento da amplitude do filtro do sinal analítico na direção SE (seta amarela), indicando a direção de mergulho das ocorrências anômalas estudadas

Fonte: Elaborada pelo autor

Analisando os outros produtos geofísicos, percebeu-se que:

- 1- A região de ocorrência das formações ferríferas da formação Nova Aurora, membro Riacho Poções, na região central da área de estudo, é marcada por um dipolo magnético de direção NE-SW (Figura 6.1_4);
- 2- As imagens do sensor gamaespectrométrico para os canais Th e U não indicam nenhuma anomalia desses elementos na região de ocorrência das formações ferríferas da formação Nova Aurora (Figura 6.1_5);
- 3- A imagem do sensor gamaespectrométrico para o canal K mostrou uma grande aderência na região de ocorrência das formações ferríferas da Formação Nova Aurora, representada por um baixo de contagem no canal K, indicando a presença das formações ferríferas nestas regiões (Figura 6.1_6).

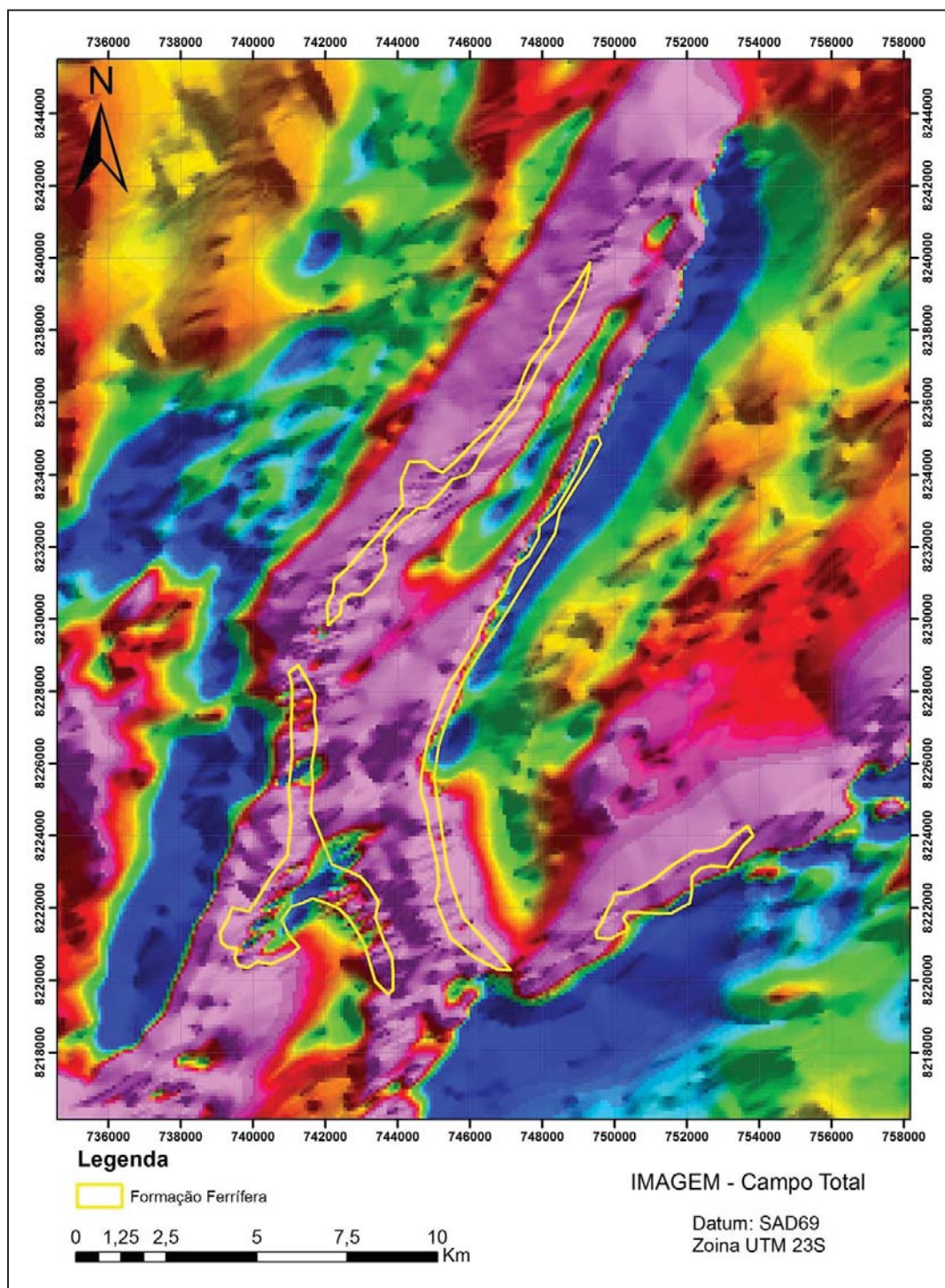


Figura 6.1_4 – Imagem do Campo Total (Magnetometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo), mostrando a ocorrência de um dipolo magnético relacionado a elas

Fonte: Elaborada pelo autor

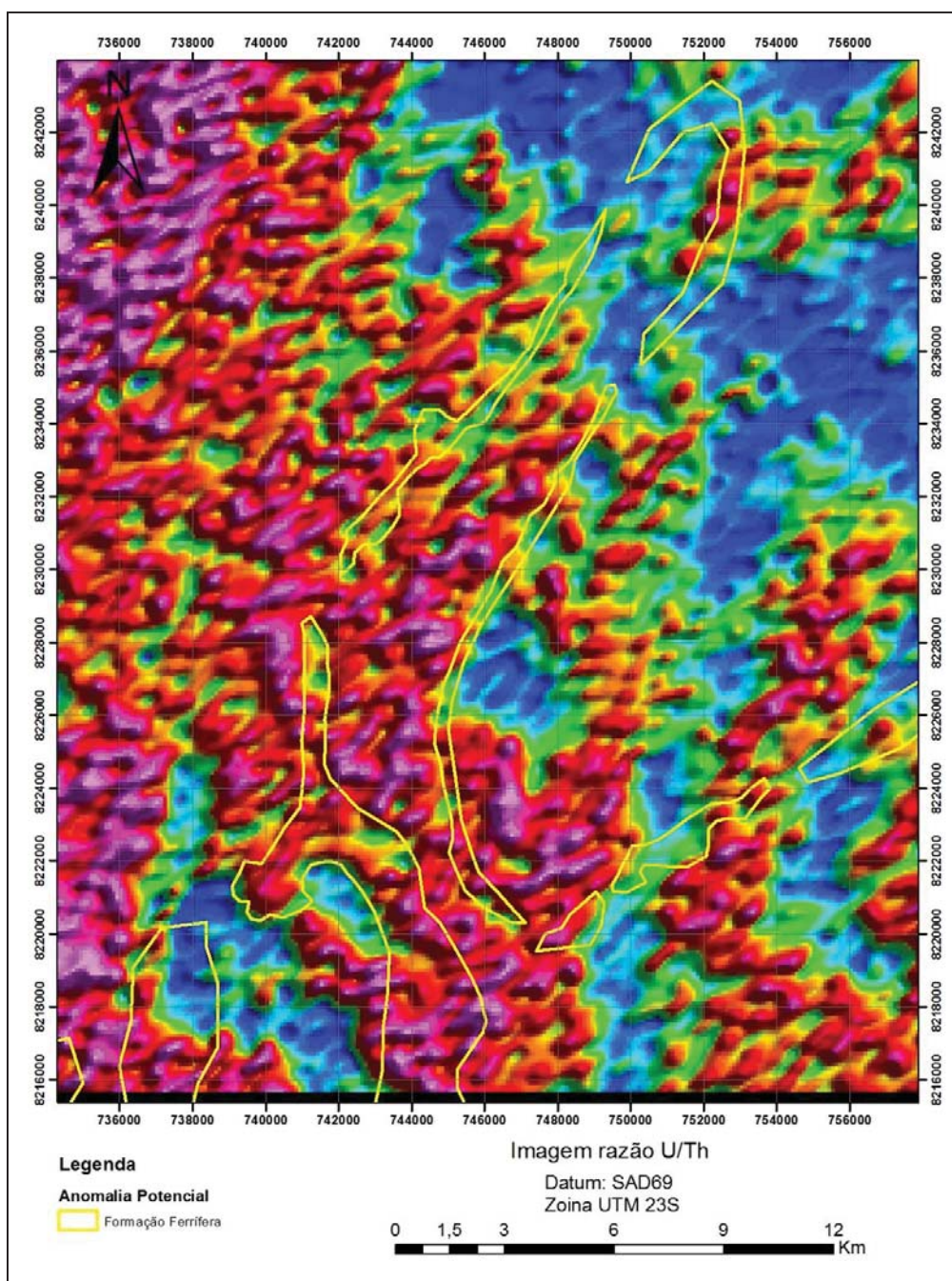


Figura 6.1_5 – Imagem da razão U/Th (gamaespectrometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo) da Formação Nova Aurora. É possível notar que este produto não delimita as ocorrências ferríferas.

Fonte: Elaborada pelo autor

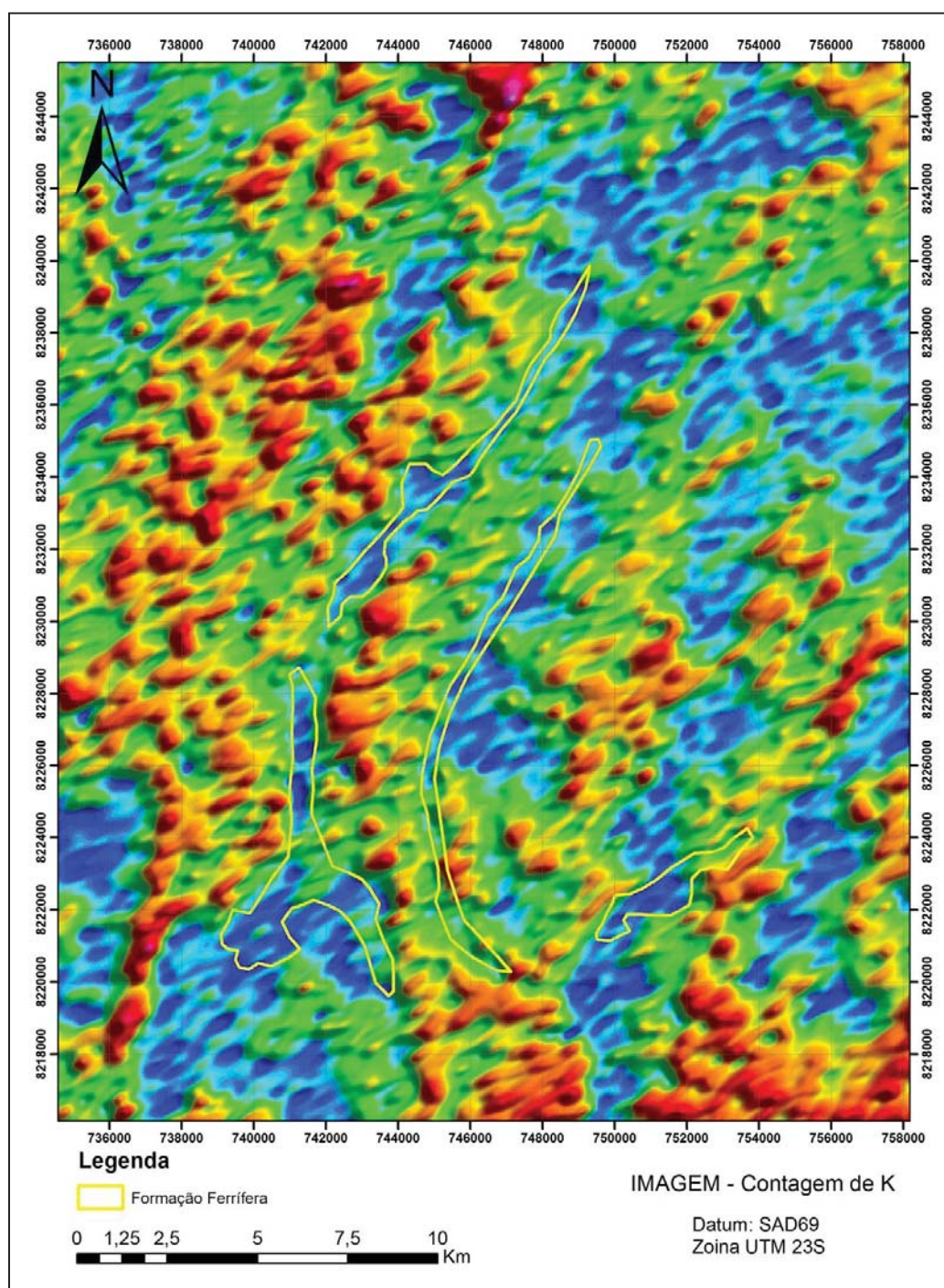


Figura 6.1_6 – Imagem de contagem de K (gamaespectrometria) na região de ocorrência de formações ferríferas conhecidas (demarcadas em amarelo), mostrando a ocorrência de um baixo de K coincidente com as ocorrências extraídas da imagem de satélite, mostrando alta aderência da região de baixo K com a camada ferrífera da Formação Nova Aurora

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir da análise preliminar das anomalias modeladas pelo filtro do sinal analítico na região da vila de Nova Aurora, realizou-se a extração das demais anomalias magnéticas modeladas, cruzando as mesmas com o mapa geológico regional para análise do ambiente geológico, sendo que, a partir deste trabalho, foi possível perceber que existem basicamente 3 tipos de anomalias magnéticas:

- 1- Anomalias de geometria circular ou pouco orientadas, esse tipo de anomalia é relacionada normalmente a intrusões vulcânicas ácidas ou corpos máficos alojados no embasamento, pois as mesmas não seguem o padrão estrutural regional;
- 2- Anomalias direcionais em padrão de dique, essas anomalias costumam ocorrer por dezenas de quilômetros e possuem um padrão retilíneo e orientado, normalmente cortando estruturas regionais com direção de mergulho verticalizada no filtro do sinal analítico;
- 3- Anomalias estruturadas, essas anomalias possuem direção de camada e mergulho facilmente identificável através da análise do filtro do sinal analítico, sendo possível a visualização de dobras e outros elementos estruturais correlacionáveis com a geologia local.

Na figura 6.1_7, são apresentados os tipos de anomalias extraídas da imagem do sinal analítico, sendo que as anomalias correlacionáveis as formações ferríferas foram analisadas em relação ao seu grau de similaridade com as anomalias vistas na região da Vila de Nova Aurora, que são geradas pelas formações ferríferas.

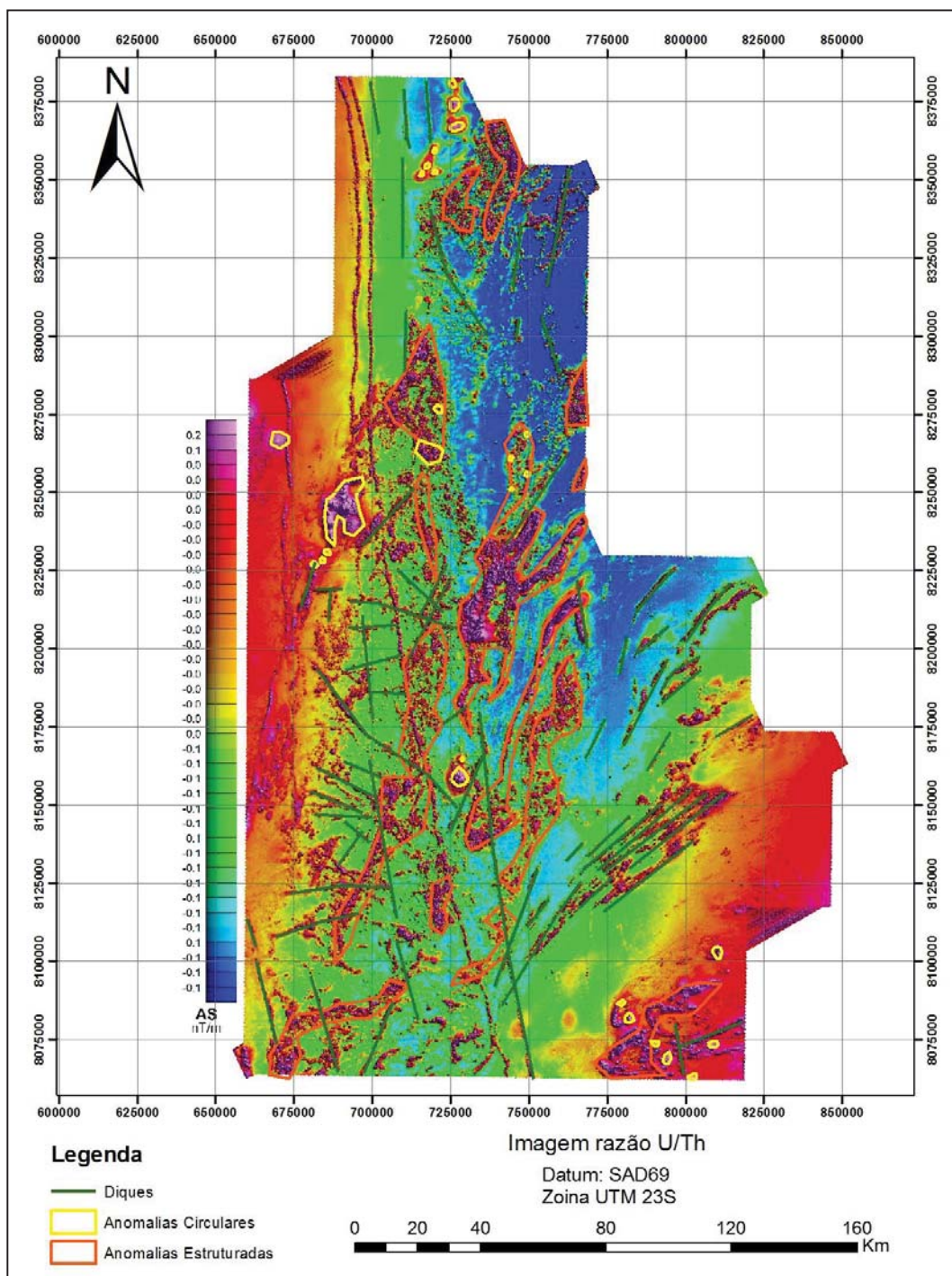


Figura 6.1_7 – Imagem do filtro do sinal analítico (magnetometria) mostrando os tipos de anomalias identificadas na área de estudo

Fonte: Elaborada pelo autor

Com base na assinatura geofísica identificada para as ocorrências ferríferas da Formação Nova Aurora, consideraram-se os seguintes parâmetros para a construção de uma análise das anomalias da bacia:

- 1- Anomalia Magnética Positiva;
- 2- Contagem de Potássio baixa;
- 3- Área de ocorrência da Formação Nova Aurora;
- 4- Ocorrências Ferríferas registrada em campo ou nos mapas bases disponíveis.

Considerando os quatro elementos relatados acima, que, quando positivos, validam uma área de ocorrência de formação ferrífera, realizou-se a estimativa de probabilidade das anomalias correlacionáveis aos sedimentos da bacia serem correspondentes às formações ferríferas, de acordo com as seguintes premissas:

- Alta Probabilidade: foram classificadas como de alta probabilidade de ocorrência de formação ferrífera as anomalias magnéticas que apresentaram em conjunto mais 3 fatores relevantes favoráveis;
- Média Probabilidade: foram classificadas como de média probabilidade de ocorrência de formação ferrífera as anomalias magnéticas que apresentaram em conjunto mais 2 fatores relevantes favoráveis.
- Baixa Probabilidade: foram classificadas como de baixa probabilidade as áreas que apresentaram a anomalia magnética em conjunto com mais um fator favorável.

Na figura 6.1_8, são apresentadas as anomalias extraídas e classificadas de acordo com a sua probabilidade de serem correspondentes às ocorrências de formação ferrífera.

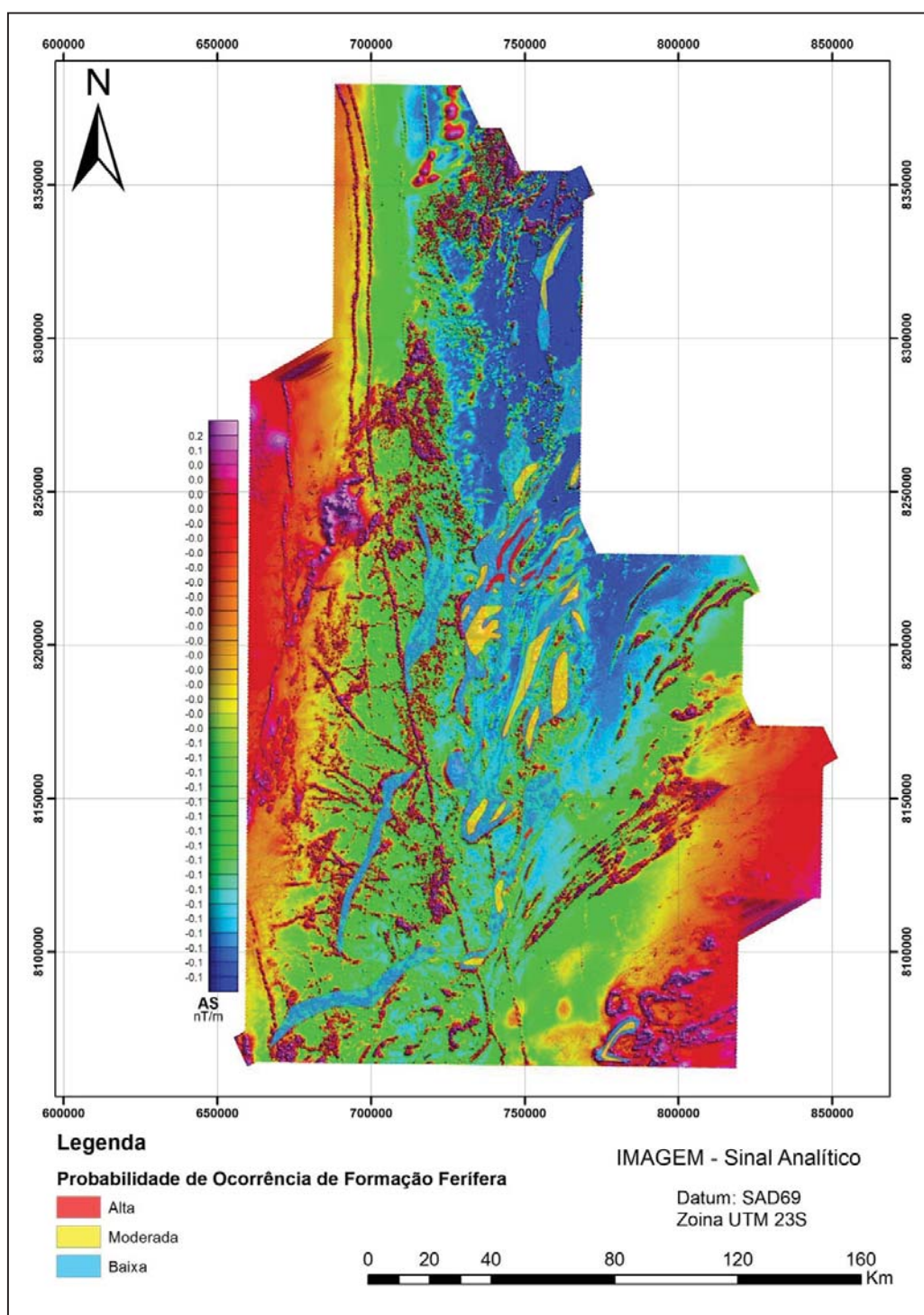


Figura 6.1_8 – Imagem do filtro do sinal analítico (magnetometria) mostrando as anomalias magnéticas modeladas e interpretadas como prováveis ocorrências de formação ferrífera, de acordo com o seu grau de correspondência com as ocorrências previamente conhecidas da Formação Nova Aurora

Fonte: Elaborada pelo autor

6.2 Interpretação das Anomalias

As anomalias interpretadas como prováveis ocorrências de formação ferrífera foram cruzadas com o mapa geológico regional e os pontos de campo para análise do contexto geológico correspondente as mesmas, sendo que a partir deste trabalho foi possível perceber que:

- Na região central da área de estudo, ocorre uma ressurgência do embasamento, marcada pela ocorrência de rochas do Supergrupo Espinhaço e Complexo Porteirinha;
- O Supergrupo Espinhaço é marcado pela geofísica através de uma forte anomalia na relação U/Th do levantamento gamaespectométrico (Figura 6.2_1);
- Os complexos gnáissicos e as rochas graníticas são marcados por uma anomalia alta na contagem de potássio, Figura 6.2_2;
- A ressurgência do Supergrupo Espinhaço na porção central da área marca a divisão de um importante domínio geofísico e litológico, sendo que:
 - 1- As anomalias magnéticas estruturadas a Oeste desse limite estão relacionadas à presença de magnetita no embasamento e a ocorrências restritas de lateritas e rochas ferruginosas de pouca expressão (*iron stones*);
 - 2- As anomalias magnéticas estruturadas a Leste deste limite estão relacionadas às Formações Ferríferas da Formação Nova Aurora e a as ocorrências da Formação Catutiba e Capelinha (Figura 6.2_3).

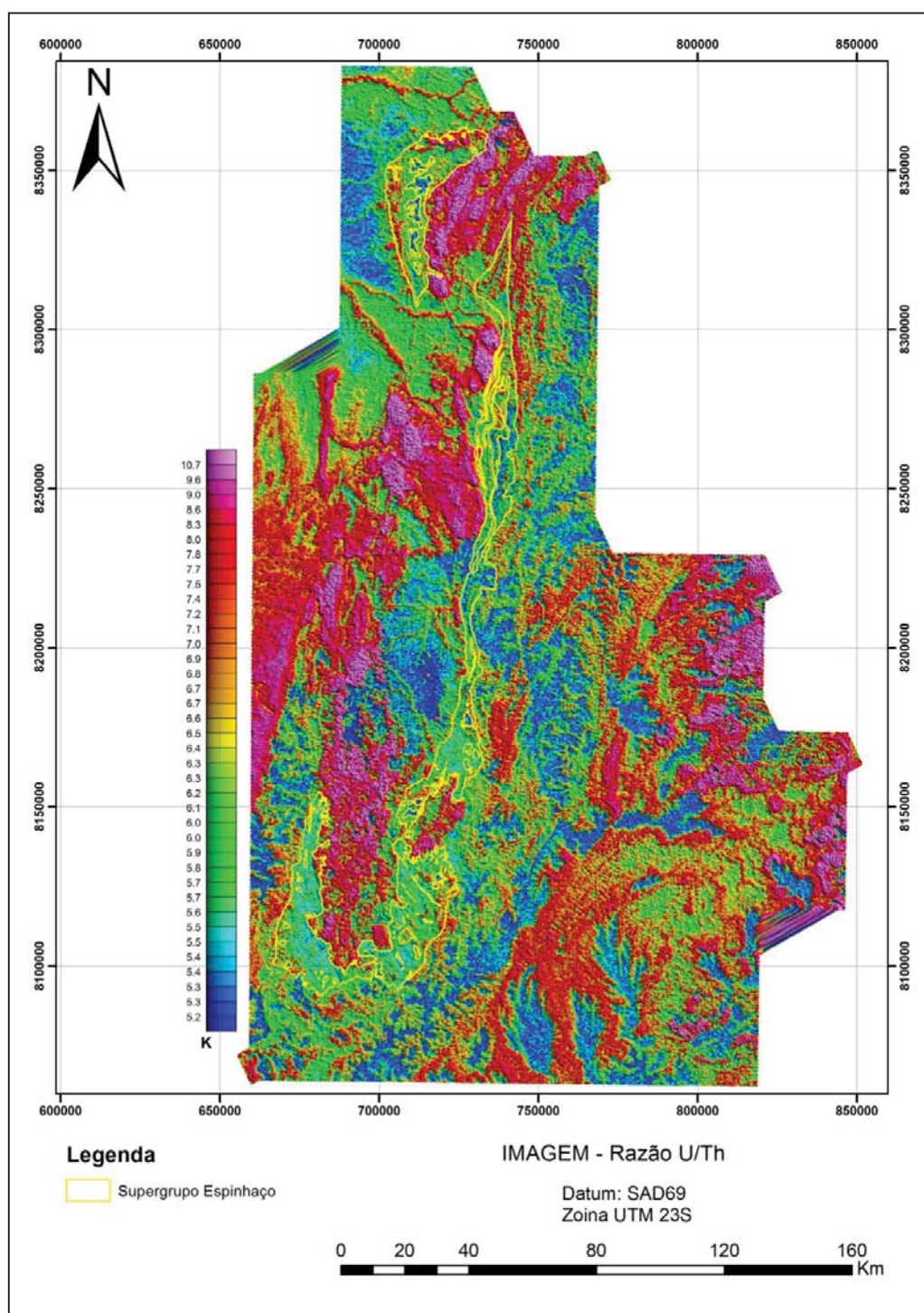


Figura 6.2_1 – Imagem da relação U/Th (gamaespectrometria) mostrando que a anomalia alta estruturada na região central da área na direção Norte – Sul marca as rochas do Supergrupo Espinhaço que afloram em meio ao Grupo Macaúbas, sendo que as principais ocorrências de formação ferrífera estão localizadas a leste dessa anomalia

Fonte: Elaborada pelo autor

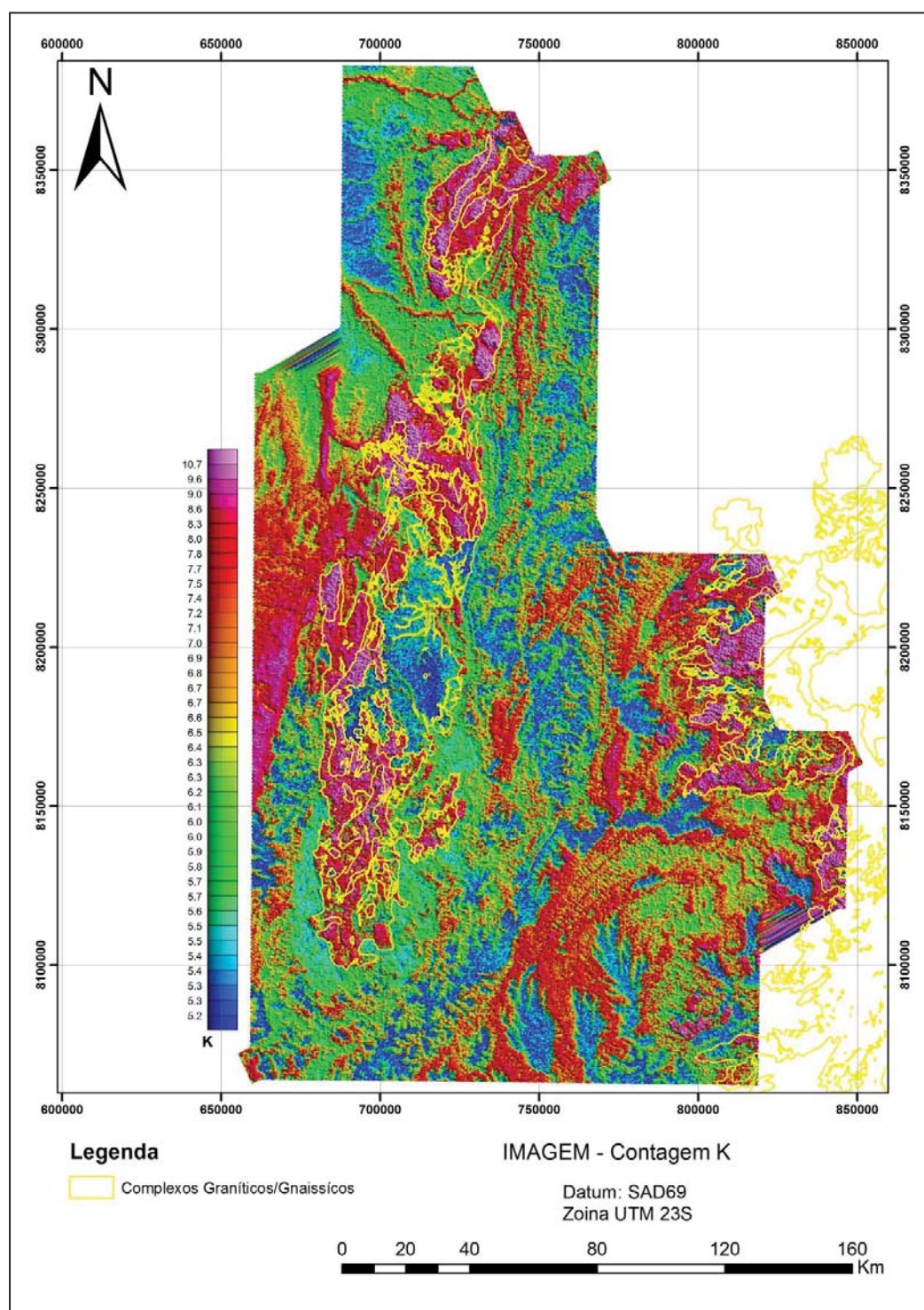


Figura 6.2_2 – Imagem de contagem total de potássio (K – gamaespectrometria) mostrando que as regiões de alta contagem de potássio modelam as áreas de ocorrência dos complexos granítico-gnáissicos que ocorrem na área de estudo

Fonte: Elaborada pelo autor

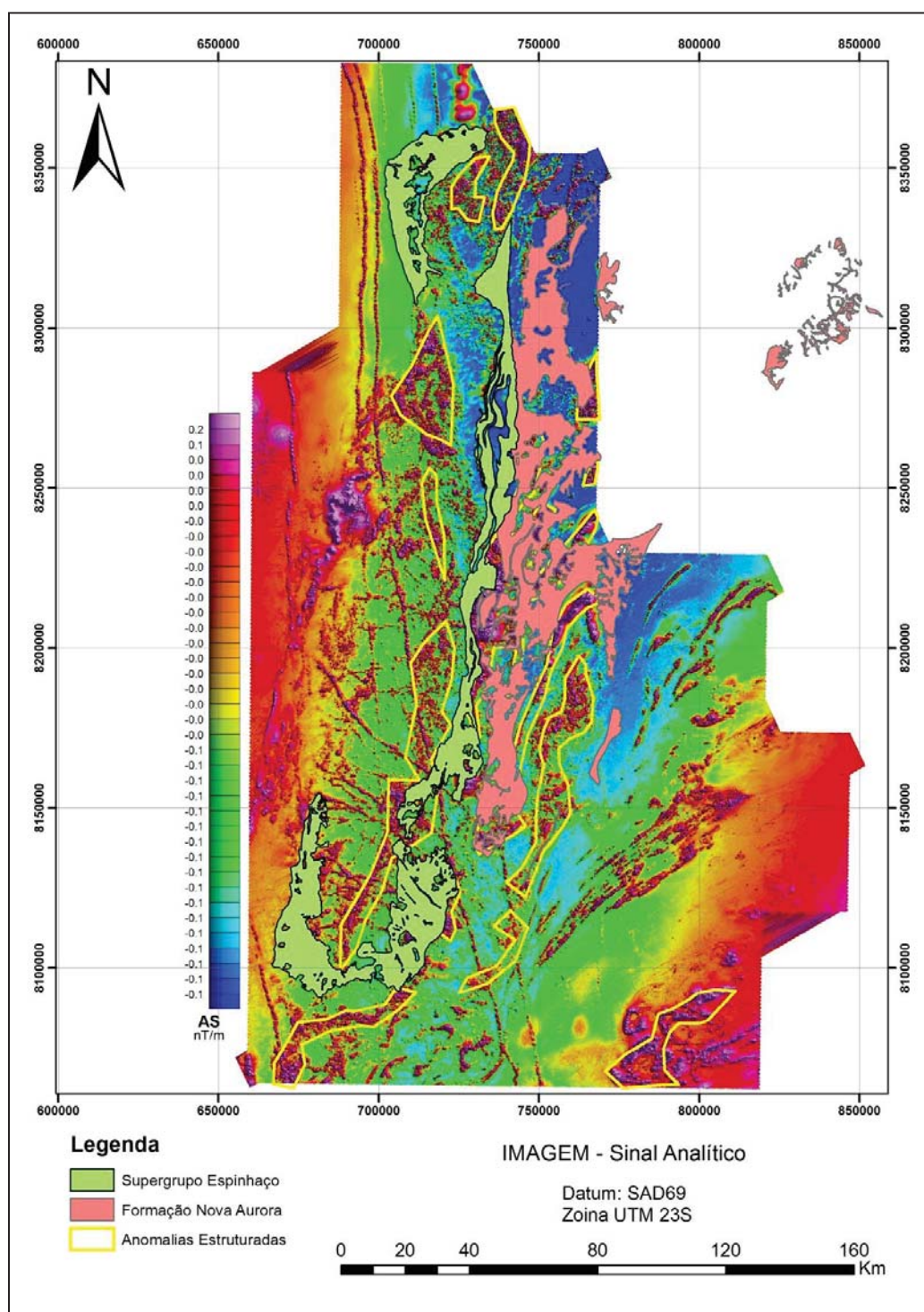


Figura 6.2_3 – Imagem do sinal analítico (AS – magnetometria) mostrando que as anomalias magnéticas modeladas a leste do Supergrupo Espinhaço estão relacionadas com as áreas de ocorrência das Formações Ferríferas da Formação Nova Aurora, Membro Riacho Poções

Fonte: Elaborada pelo autor

As anomalias relacionadas às possíveis ocorrências ferríferas verificadas no setor leste da área de estudo foram analisadas separadamente, podendo-se dar destaque para as anomalias que ocorrem na região central e sul.

6.3 Anomalias Setor Central

Na região central da área de estudo, ocorrem as anomalias magnéticas mais expressivas e com maiores amplitudes no filtro do sinal analítico. Essas anomalias estão relacionadas às ocorrências ferríferas da Formação Nova Aurora, Membro Riacho Poções. Elas se mostram fortemente como estruturas na área de estudo com direção NE e com uma tendência de mergulho para SE, formando dobras isoclinais com eixos mergulhando para NE e seus flancos para SE, essas dobras possuem escala regional, na ordem de alguns quilômetros. As formações ferríferas estão restritas as áreas onde há coincidência de ocorrência de uma baixa contagem de potássio associada a uma anomalia positiva do filtro do sinal analítico, sendo possível observar nas imagens, lineamentos geofísicos de direção NW-SE, que interrompem o *trend* anômalo, descontinuando o mesmo (Figura 6.3_1).

O espalhamento destas anomalias é menor na direção perpendicular ao *trend*, sendo que as mesmas possuem espessura aparente variando de 500 a 2000 metros. As regiões com menores espessuras de anomalia coincidem com as regiões onde é possível observar, na imagem de satélite, a ocorrência de óxidos de ferro na superfície, indicando que a concentração de ferro nessas regiões é mais alta (Figura 6.3_2).

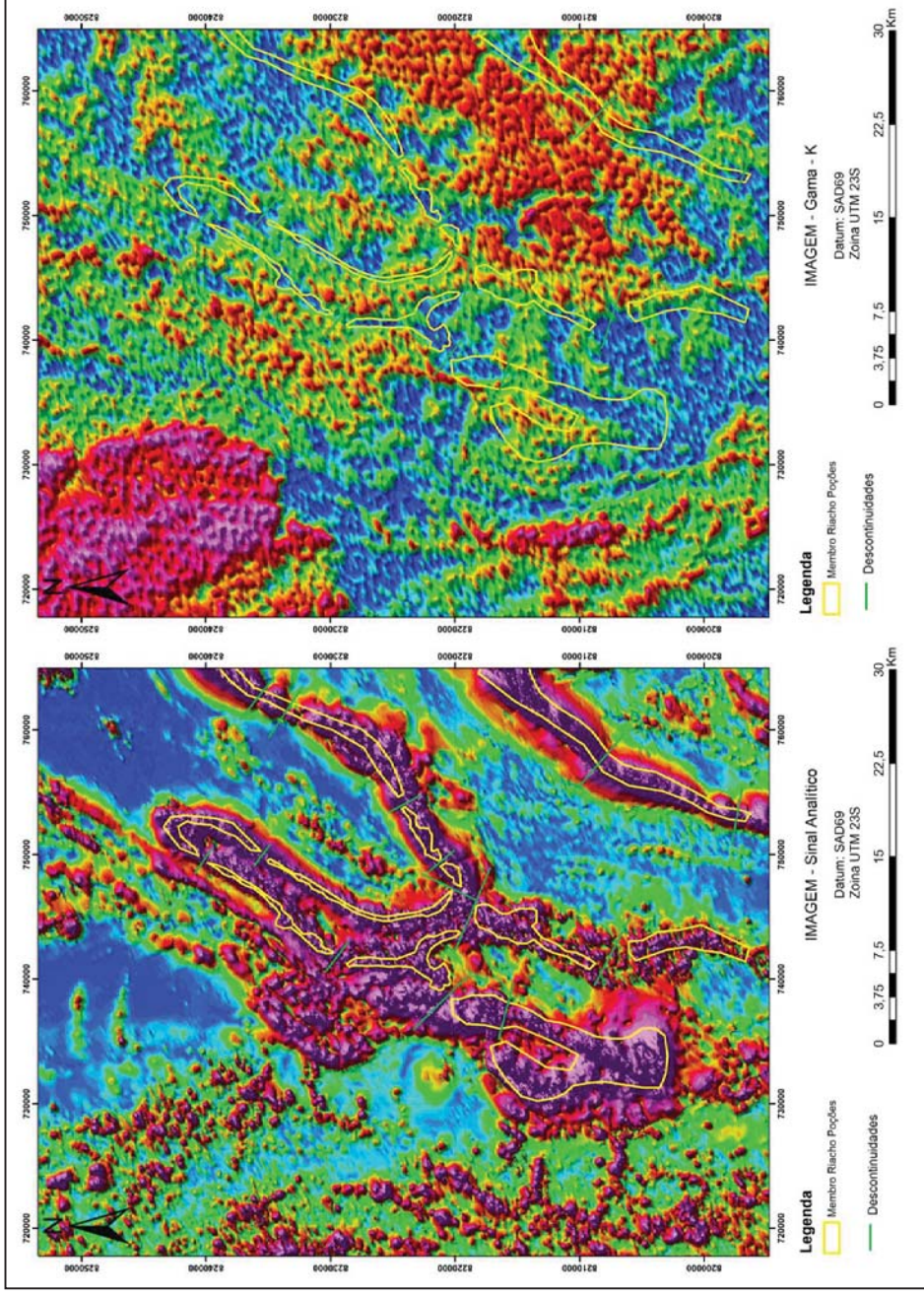


Figura 6.3_1 – Imagem do sinal analítico (esquerda) e contagem total de potássio (direita) mostrando a relação de ocorrências das formações ferríferas nas regiões onde ocorrem anomalias positivas do filtro do sinal analítico associadas a baixos de contagem de potássio. Essa associação marca a assinatura geofísica das formações ferríferas do Membro Riacho Poções

Fonte: Elaborada pelo autor

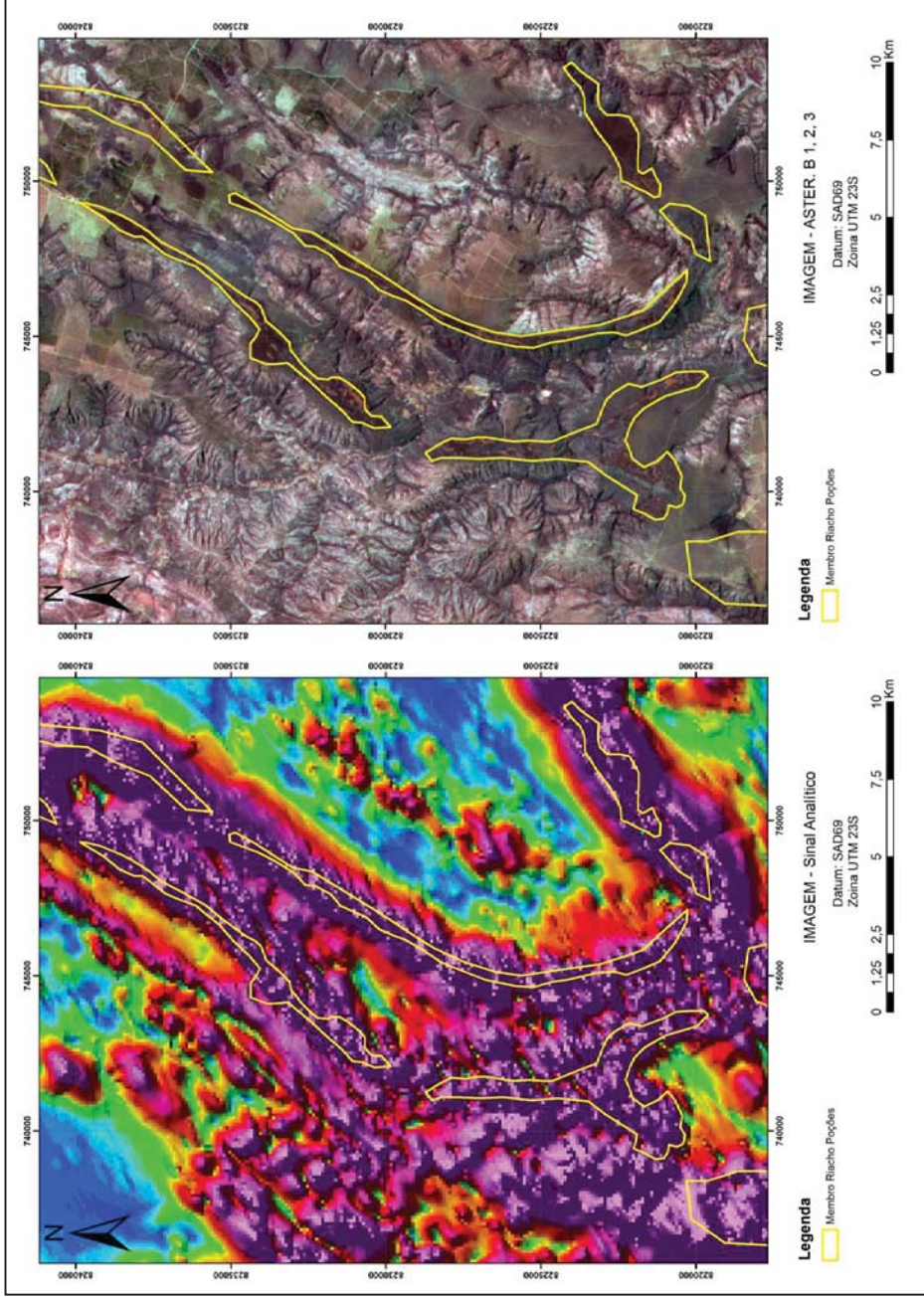


Figura 6.3_2 – Imagem do sinal analítico (esquerda) e imagem de satélite do sensor ASTER (direita) mostrando que, nas regiões onde se tem a associação de menor espessura aparente da anomalia com alta amplitude do sinal analítico ocorrem óxidos de ferro visíveis na imagem de satélite, indicando a ocorrência de formações ferríferas com maiores concentrações de ferro no Membro Riacho Poções da Formação Nova Aurora

Fonte: Elaborada pelo autor

6.4 Anomalias Setor Norte

As anomalias que ocorrem no setor norte do levantamento geofísico possuem um *trend* de direção NE-SW com um mergulho mais suave para NE e uma menor intensidade no filtro do sinal analítico se comparadas com as anomalias do setor central (Figura 6.4_1). Estas anomalias estão relacionadas às rochas ferríferas da Formação Nova Aurora, Membro Riacho Poções. Essas ocorrências não são perceptíveis em imagem de satélite (Figura 6.4_2), pois as anomalias geradas pelas mesmas possuem menor intensidade e maior espalhamento, indicando que a sua orientação por esforços tectônicos foi menos intensa.

Pode-se dizer que essas ocorrências estão relacionadas a rochas menos magnéticas ou com menor quantidade de ferro, pelo fato de as mesmas não alterarem a vegetação local devido à formação de carapaças ferruginosas (cangas). Tal fato foi confirmado posteriormente em campo, sendo que, na região, foi mapeada somente a ocorrência de quartzitos, solo magnético vermelho, e outras ocorrências restritas de lateritas e cangas pouco ferruginosas, evidenciando o menor enriquecimento em ferro nas rochas dessa região.

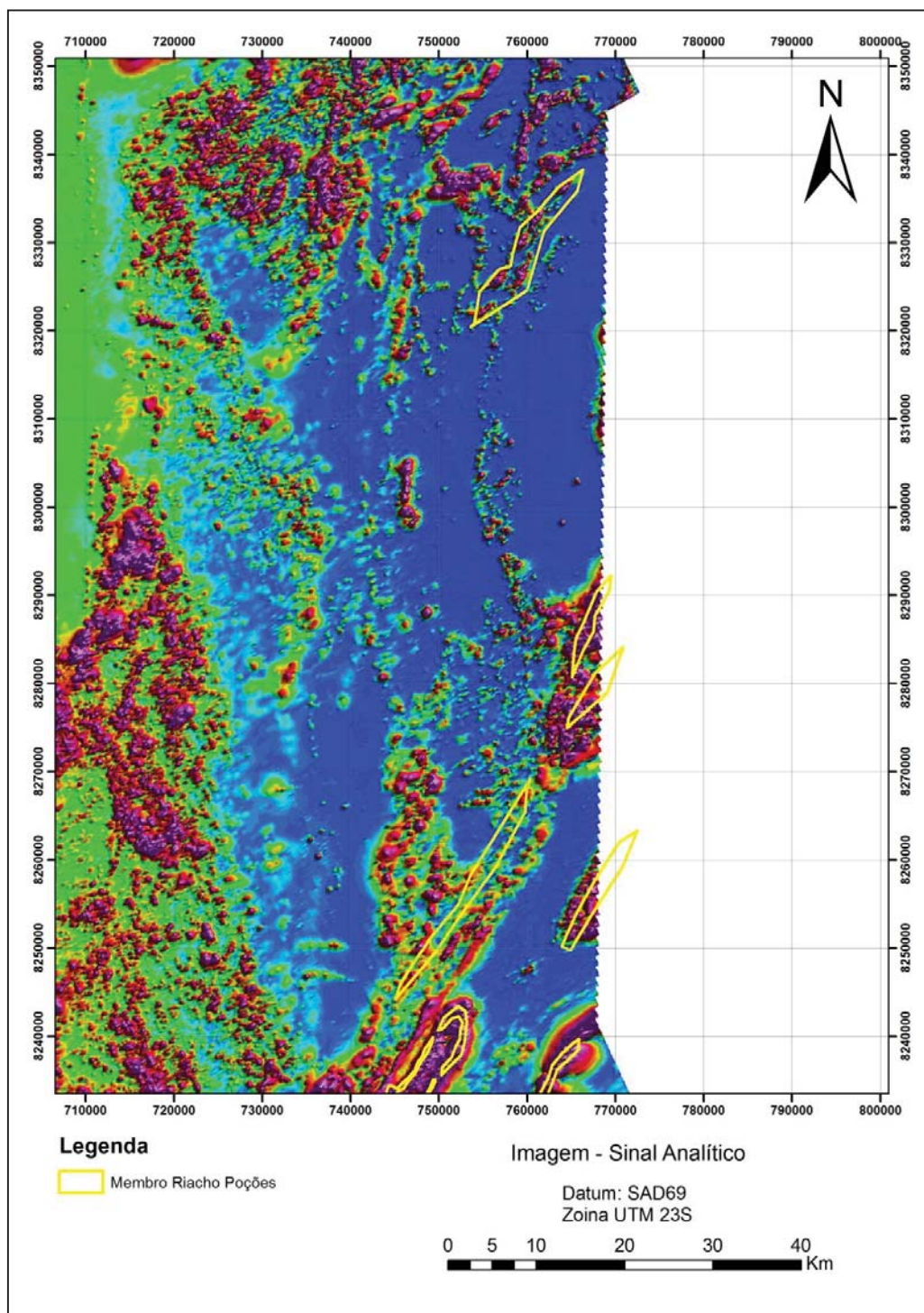


Figura 6.4_1 – Imagem do sinal analítico das anomalias interpretadas como pertencentes ao membro Riacho Poções, na porção norte da Província. Essas anomalias são coincidentes com as baixas de contagem de potássio, mas possuem menor intensidade magnética que as anomalias do setor central da Província

Fonte: Elaborada pelo autor

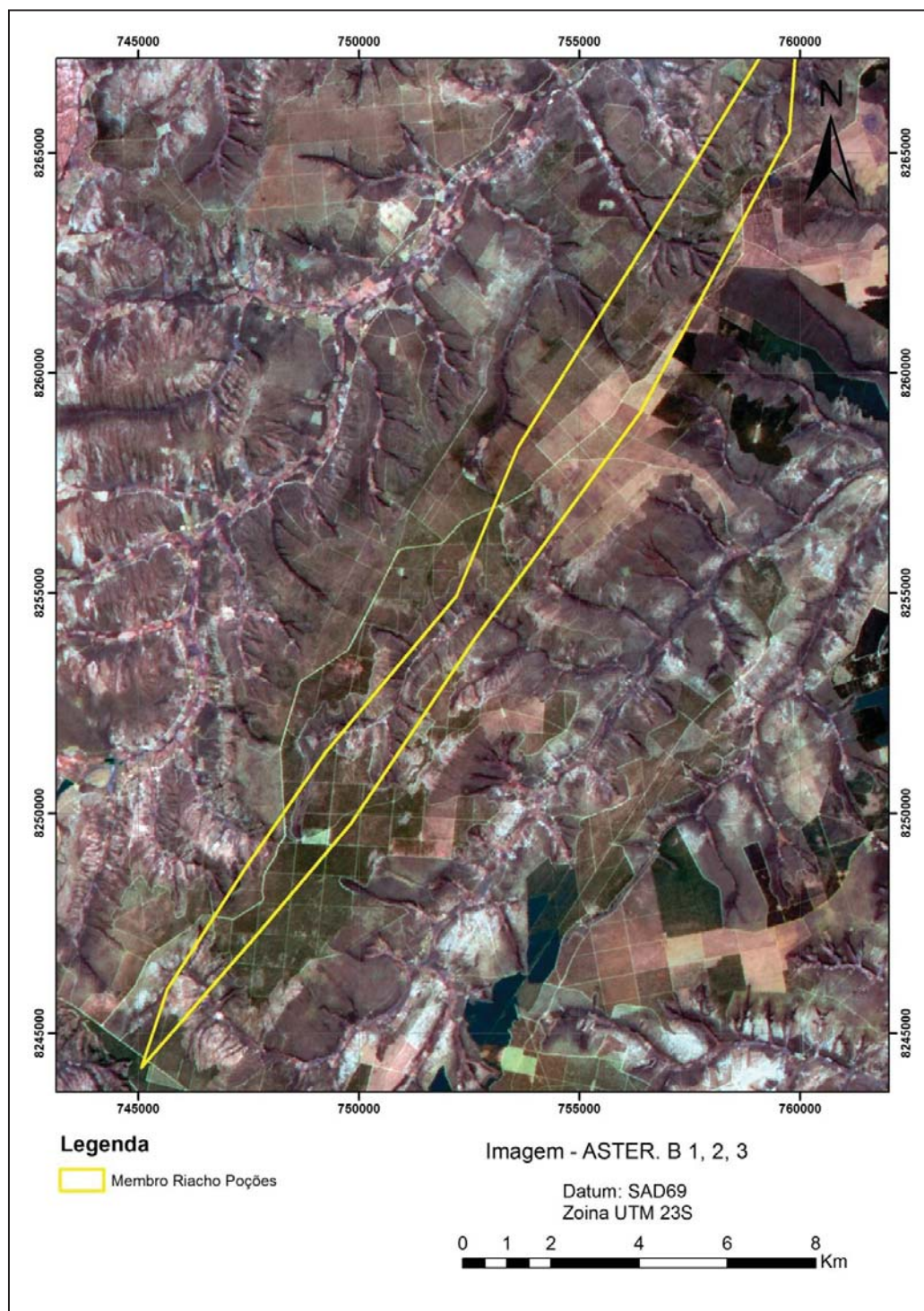


Figura 6.4_2 – Imagem de satélite do sensor *ASTER*, mostrando em detalhe uma das anomalias interpretadas como pertencente ao Membro Riacho Poções. Na imagem de satélite, não é possível perceber alterações causadas pela concentração de ferro na superfície do platô

Fonte: Elaborada pelo autor

6.5 Anomalias Setor Sul

As anomalias interpretadas como formação ferrífera do setor sul da província foram cruzadas com os dados de geologia, sendo as mesmas relacionadas a três unidades diferentes do Grupo Macaúbas:

- 1- As anomalias localizadas no extremo sul do levantamento geofísico são relacionadas às formações ferríferas do Membro Superior da Formação Capelinha (Figura 6.5_1);
- 2- Aquelas localizadas a norte da Formação Capelinha estão em uma região onde foram mapeadas as Formações Chapada Acauã e Nova Aurora, no mesmo *trend*, evidenciando alguma discordância de interpretação das mesmas em relação à sua unidade de origem e gênese (Figura 6.5_2);
- 3- Já as mais próximas do setor central estão associadas ao Membro Riacho Poções da Formação Nova Aurora, sendo que estas possuem características parecidas com as anomalias do setor Norte (Figura 6.5_2).

As anomalias interpretadas como formação ferrífera na porção sul da província apresentam um *trend* de direção NE-SW mergulhando em baixo ângulo para SE, com exceção das anomalias relacionadas às ocorrências da formação Capelinha, que possuem um mergulho interpretado pelo decaimento do sinal analítico para NW.

As anomalias classificadas como potenciais para ferro extraídas nesta etapa de trabalho foram extraídas e classificadas de acordo com o contexto geológico da sua região de ocorrência (Figura 6.5_3). Tais anomalias foram cruzadas com os pontos geológicos levantados e foram utilizadas para o fechamento do mapa geológico de detalhe das regiões de interesse.

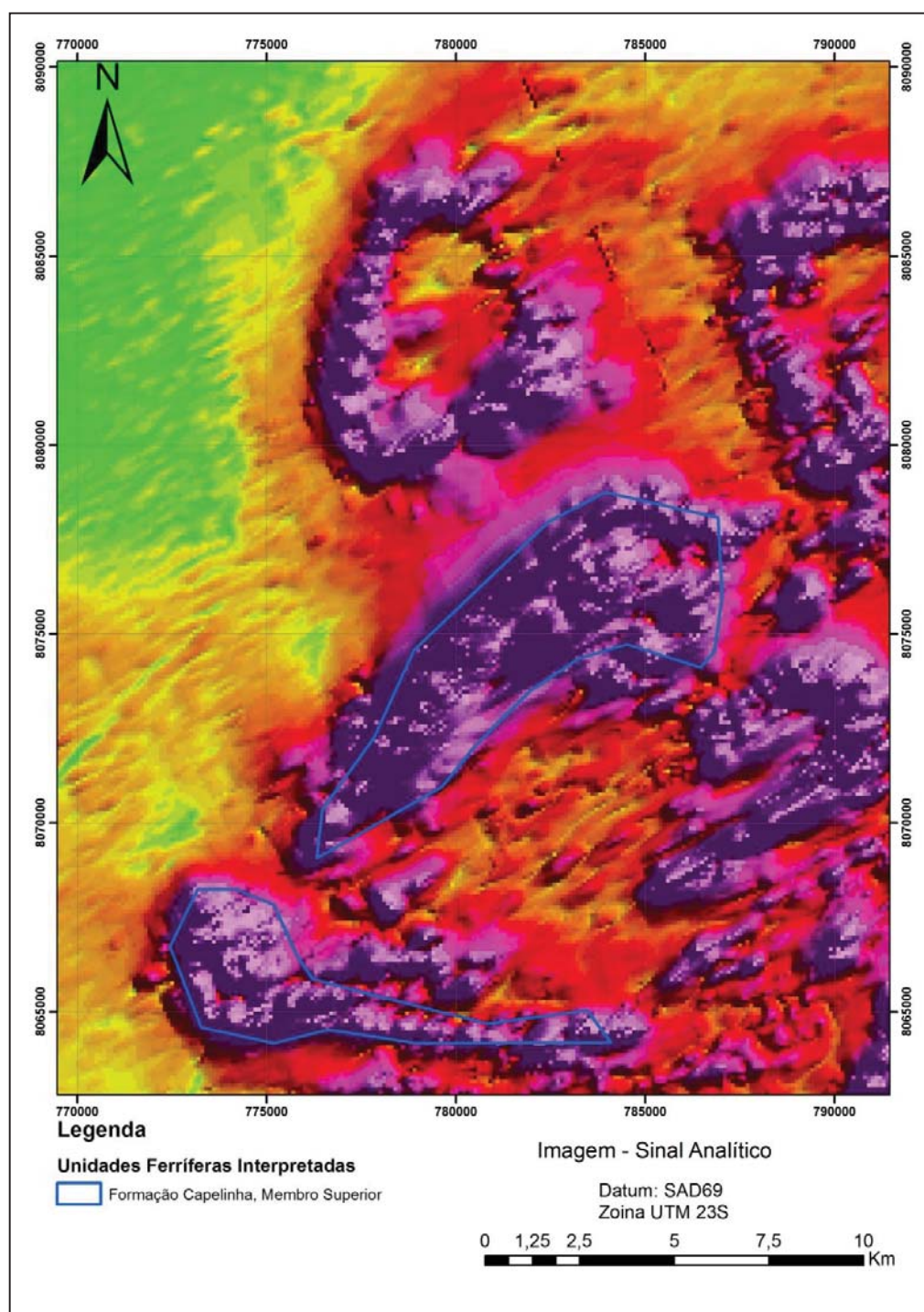


Figura 6.5_1 – Imagem do Sinal Analítico mostrando as anomalias interpretadas como formação ferrífera na região de ocorrência da Formação Capelinha. Estas apresentam um mergulho para NW de acordo com o decaimento da intensidade do filtro do sinal analítico que modela o topo e base da camada magnética

Fonte: Elaborada pelo autor

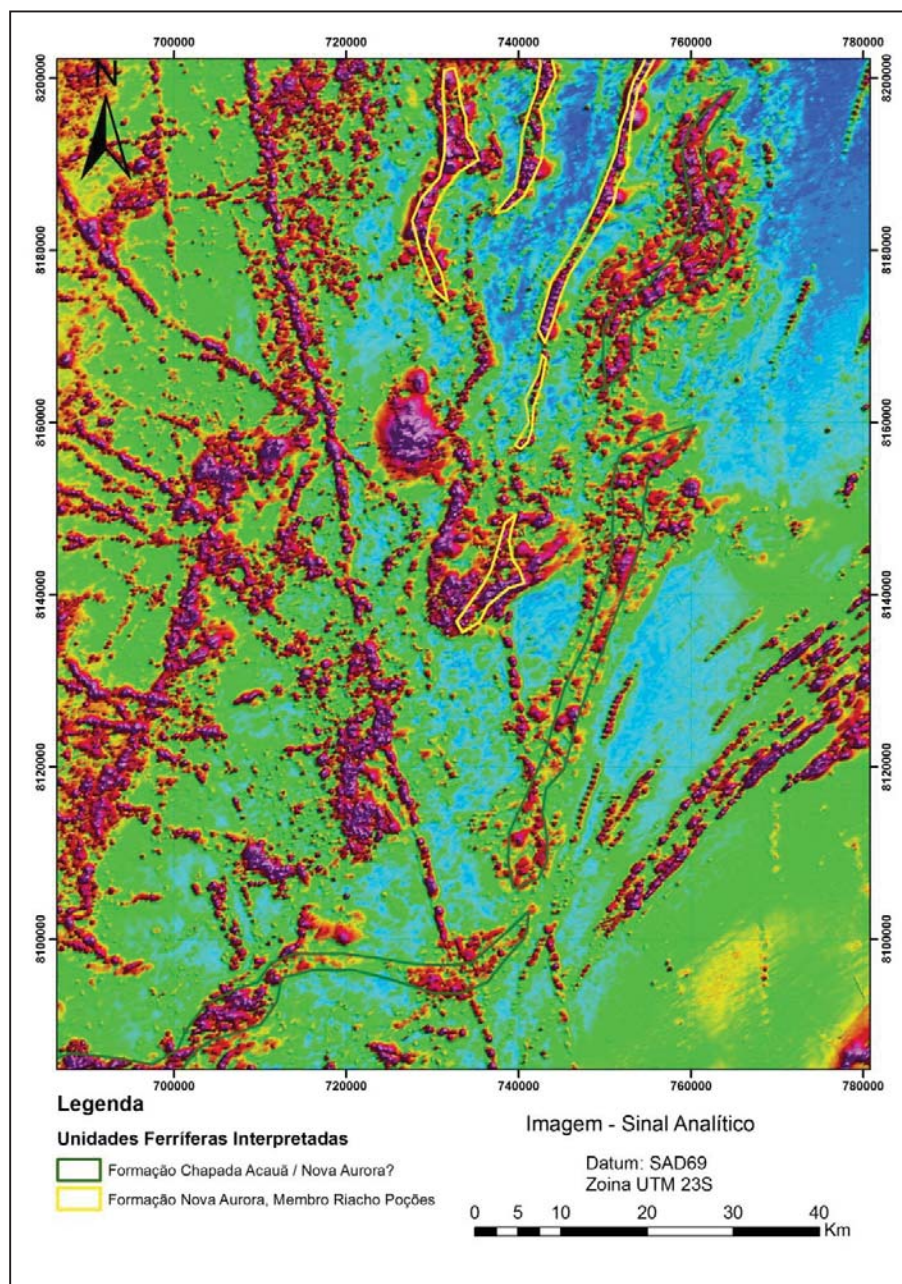


Figura 6.5_2 – Imagem do Sinal Analítico mostrando as anomalias interpretadas como formação ferrífera na região sul, sendo que o grupo de anomalia com maior intensidade na porção centro norte da imagem estão relacionadas com as ocorrências do membro Riacho Poções e as anomalias a leste e sul cruzam regiões mapeadas como Formações Chapada Acauã e Nova Aurora, apesar de estarem no mesmo *trend* magnético. Tal fato pode indicar conflito na classificação destas anomalias, que se apresentam com menor intensidade e maior espalhamento magnético se comparadas com as anomalias interpretadas como da Formação Nova Aurora

Fonte: Elaborada pelo autor

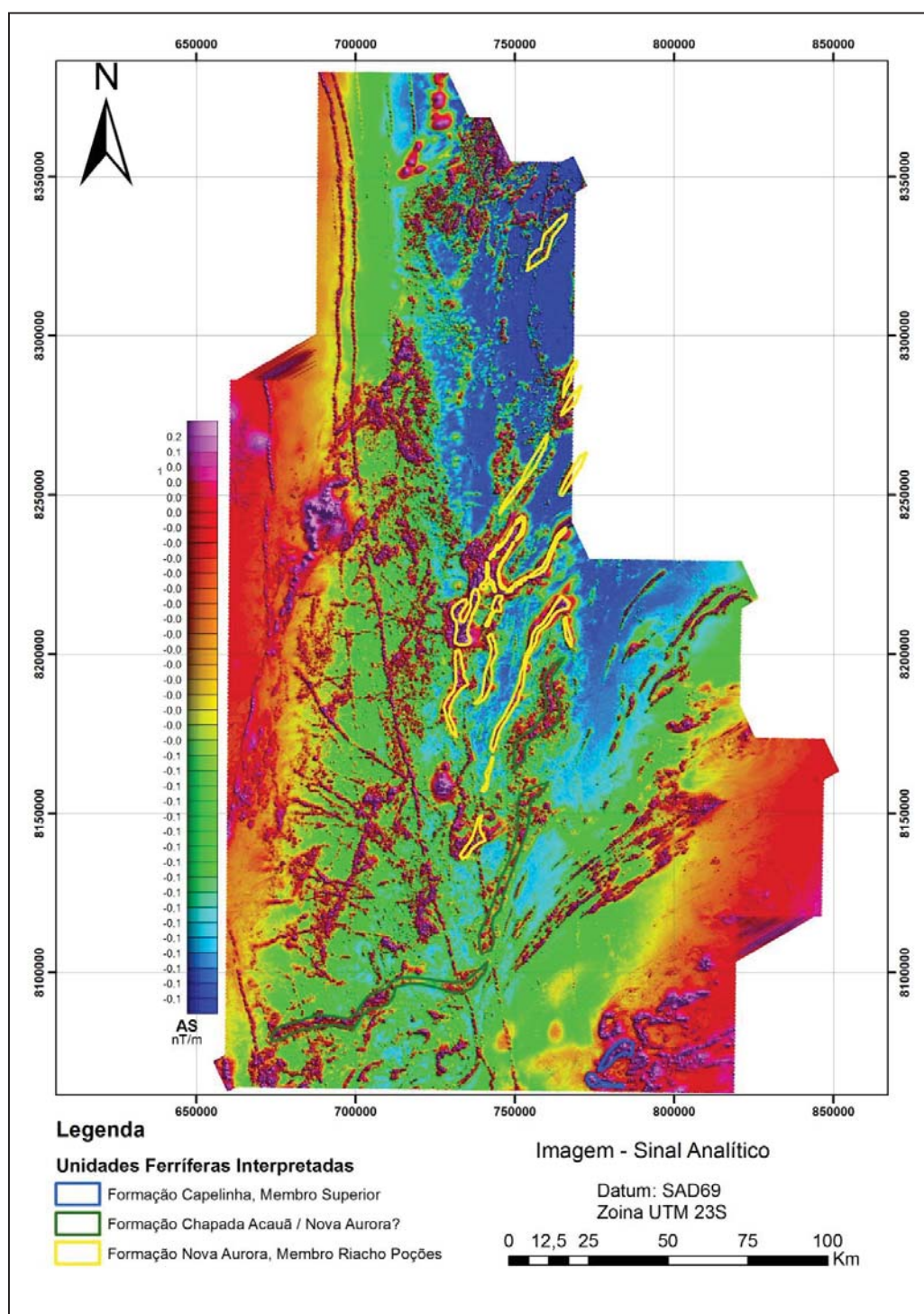


Figura 6.5_3 - Imagem do Sinal Analítico mostrando as anomalias interpretadas como formação ferrífera e relacionadas com a unidade geológica de sua região de ocorrência

Fonte: Elaborada pelo autor

7 Geologia Local

Durante a realização dos trabalhos de pesquisa, foram estudadas as regiões de ocorrência das formações Nova Aurora, Chapada Acauã e Capelinha com foco no detalhamento e no entendimento das ocorrências de formações ferríferas nelas identificadas. Este trabalho resultou em uma proposta de revisão e detalhamento da coluna estratigráfica do Grupo Macaúbas para essas unidades.

A nova proposta de coluna estratigráfica para o Grupo Macaúbas é apresentada pelo autor na Figura 7_1, sendo que essa revisão consiste basicamente nas seguintes alterações e/ou detalhamentos:

- Criação da Formação Catutiba na região de ocorrência de anomalias magnéticas e óxidos férricos em meio a filitos de ferruginosos a grafitosos, em uma região classificada originalmente como Formação Nova Aurora nas porções de ocorrência de óxidos férricos, e Chapada Acauã, nas regiões de platô, com ocorrência de solo magnético e poucos afloramentos de filito grafitoso;
- Detalhamento do Membro Superior da Formação Capelinha, inserindo as ocorrências de formações ferríferas mapeadas que eram citadas anteriormente como intercalações nos quartzitos;
- Revisão e detalhamento da litoestratigrafia do Membro Riacho Poções da Formação Nova Aurora, detalhando a relação das formações ferríferas com as rochas encaixantes, classificando e detalhando os litotipos ferríferos existentes.

A seguir, na Figura 7_1, apresenta-se a coluna litoestratigráfica proposta para o Grupo Macaúbas, sendo que a mesma foi revisada e adaptada a partir de Pedrosa-Soares et al., 2007.

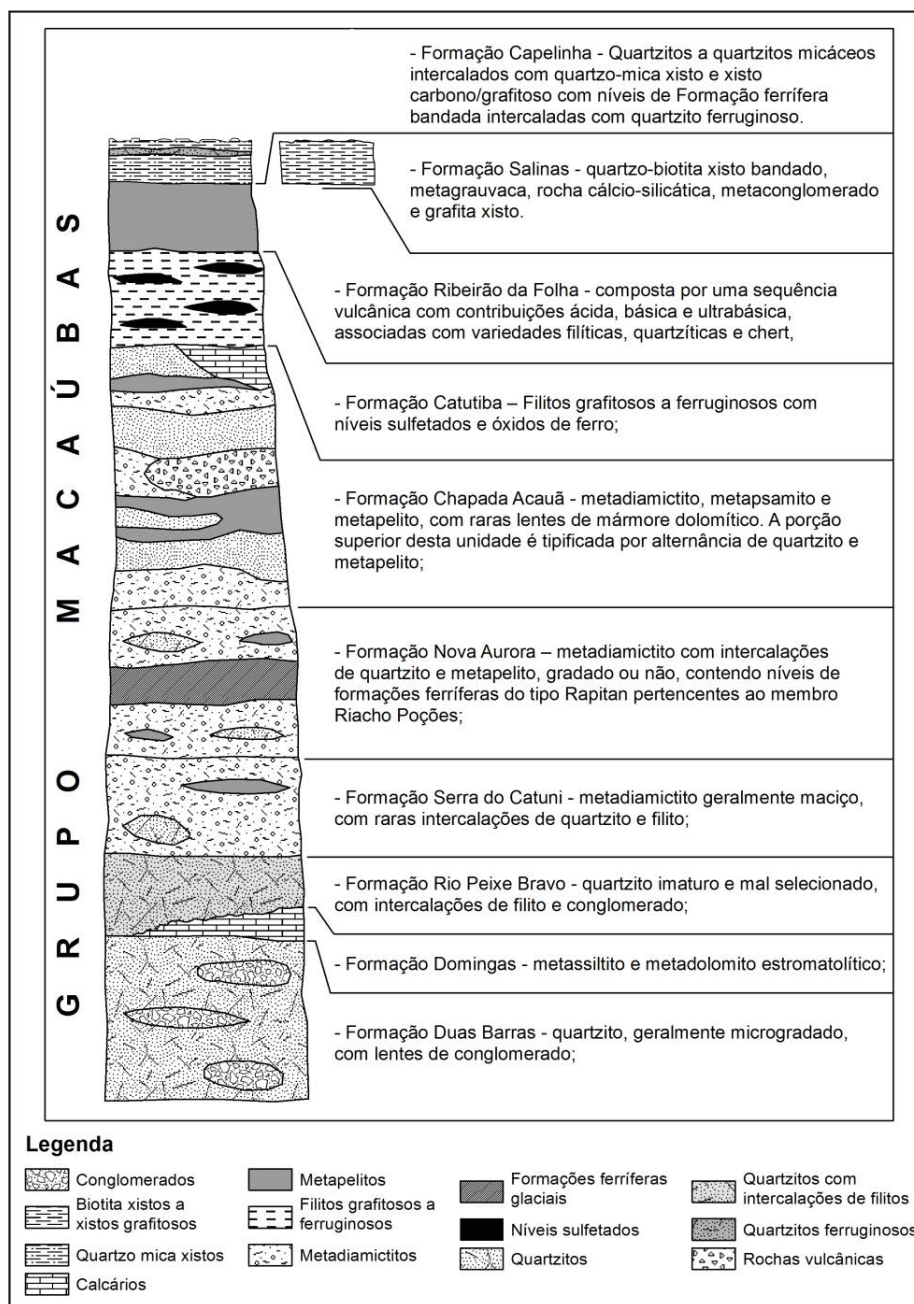


Figura 7_1 – Coluna estratigráfica proposta para o Grupo Macaúbas (Modificada de PEDROSA-SOARES et al., 2007)

Fonte: Elaborada pelo autor

A seguir, tem-se a descrição detalhada das unidades litológicas estudadas durante este trabalho, partindo-se da base para o topo da coluna estratigráfica proposta.

7.1 Formação Nova Aurora

A Formação Nova Aurora é uma sequência composta predominantemente por metadiamicctito intercalado com lentes e/ou camadas de quartzito, filito, metaconglomerado, metarritmito e níveis de formação ferrífera. O metadiamicctito contém clastos de quartzito, granito, filito e calcário, alongados pela ação tectônica e suportados por matriz silto-argilosa ou areno-argilosa. Economicamente, a ocorrência de maior importância desta unidade trata-se das formações ferríferas que foram descritas e individualizadas por Viveiros et. al., 1978, com a criação do Membro Riacho Poções.

Durante os trabalhos de prospecção geológica das formações ferríferas do Membro Riacho Poções, constatou-se que as formações ferríferas concentram-se em um nível estratigráfico intercalado com o metadiamicctito não ferrífero, ocorrendo, tanto no topo como na base da camada e, por vezes, separando dois níveis ferríferos, com os teores de ferro enriquecendo para o centro destas camadas, como halos de enriquecimento (Figura 7.1_1). Tal fato motivou o detalhamento da coluna estratigráfica do Membro Riacho Poções, buscando representar as ocorrências ferríferas existentes e sua relação com os litotipos não ferríferos, de acordo com a coluna estratigráfica proposta e apresentada na Figura 8.1_2, que inclui os seguintes litotipos ferríferos:

- Metadiamicctito Hematítico;
- Metadiamicctito Ferruginoso;
- Filito Hematítico; e
- Quartzito Ferruginoso.

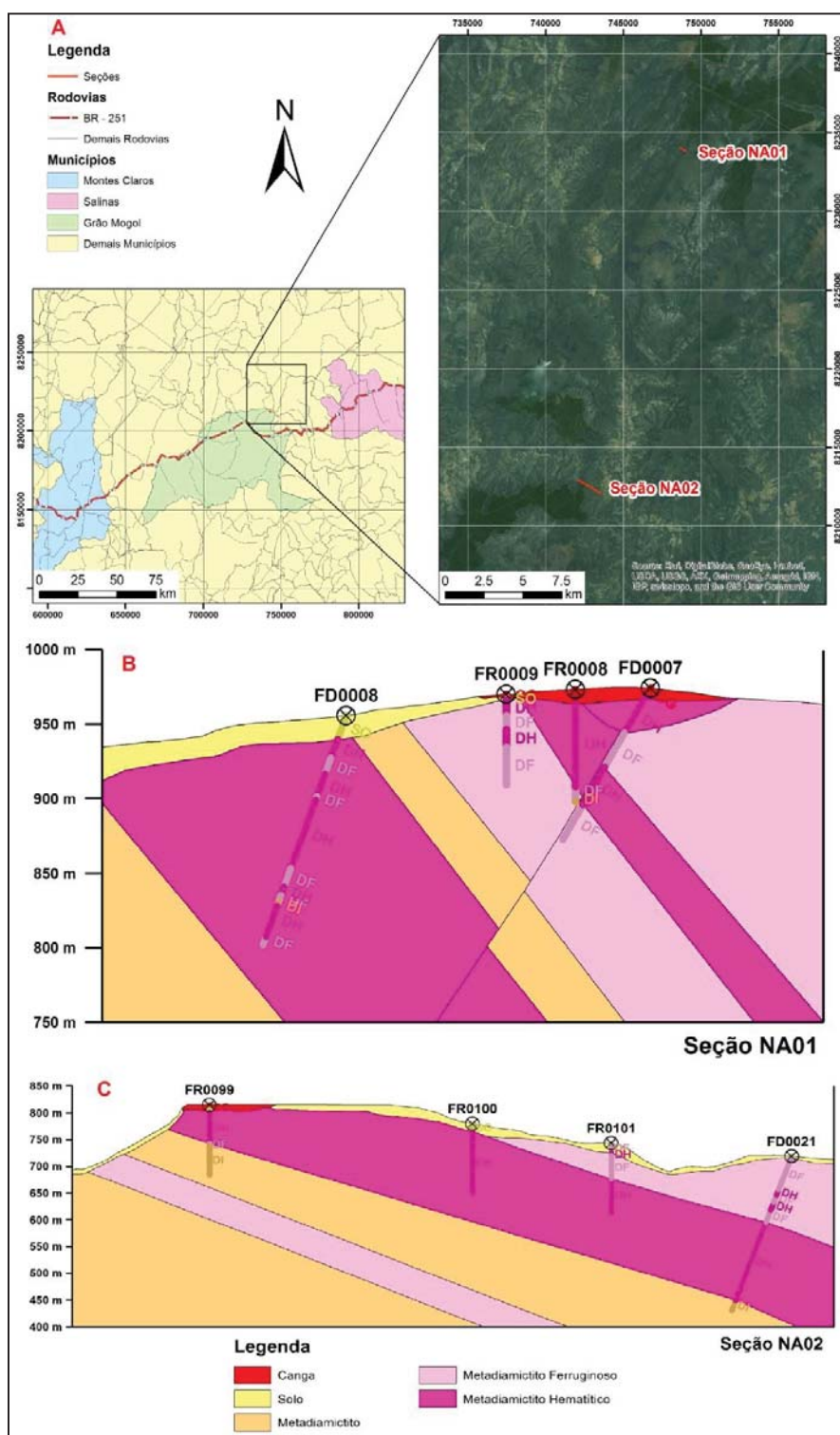


Figura 7.1_1 – Seções geológicas de sondagem realizadas em regiões distintas de ocorrência da Formação Nova Aurora (A), mostrando a ocorrência dos metadiamicritos no topo e base da camada (B) e, por vezes, intercalado com os metadiamicritos ferríferos (C)

Fonte: Elaborada pelo autor

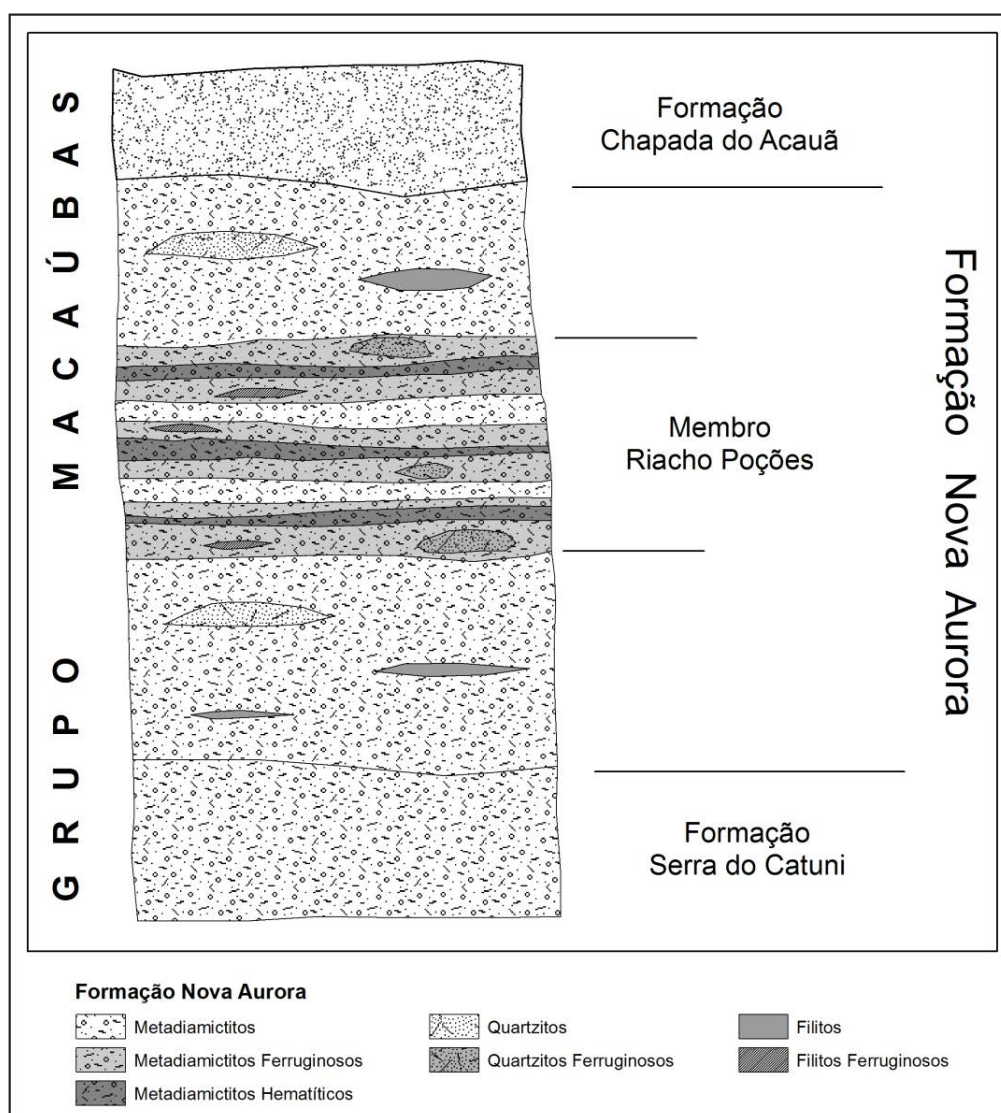


Figura 7.1_2 – Coluna estratigráfica proposta pelo autor para a Formação Nova Aurora, detalhando o Membro Riacho Poções e sua relação estratigráfica com os metadiamicritos não ferríferos

Fonte: Elaborada pelo autor

A seguir, serão apresentados as coberturas recentes e os litotipos da formação Nova Aurora, iniciando-se com o metadiamicrito não ferrífero, que ocorre na base e no topo da sequência, e constituem o principal litotipo em volume.

7.2 Depósitos Recentes

7.2.1 Colúvio

A unidade coluvionar ocorre com grande expressão na área de estudo e está localizada nas bordas dos platôs, recobrando as ocorrências de metadiamicritos nas encostas. Esses colúvios são compostos de fragmentos de tamanhos diversos, desde blocos a matações, sendo que sua composição depende da litologia ocorrente no platô. Na região, de ocorrência do metadiamicrito estéril e quartzito, eles possuem normalmente coloração clara e são constituídos por fragmentos de quartzo e laterita pobre em ferro (Figura 7.2.1_1).



Figura 7.2.1_1 – Colúvio constituído de fragmentos de quartzo, metadiamicrito e laterita. Essas ocorrências são encontradas normalmente nas regiões dissecadas por vales

Fonte: Elaborada pelo autor

7.2.2 Solo

Esta unidade recobre boa parte das áreas de ocorrência dos metadiamicritos nas regiões de platô, cujo solo é predominantemente de coloração alaranjada com tons de marrom escuro a marrom claro (figura 7.2.2_1). Sua composição é argilo-arenosa e pode apresentar perfis muito desenvolvidos com algumas dezenas de metros.

A resposta magnética desse tipo de solo é de baixa a inexistente, sendo a coloração e o grau magnético do solo bons indicadores para o nível não ferrífero dentro da Formação Nova Aurora.



Figura 7.2.2_1 – Solo laranja silte-argiloso, não magnético, típico das regiões de ocorrência de metadiamicrito

Fonte: Elaborada pelo autor

7.2.3 Laterita

A laterita ocorre principalmente sobre ocorrências de metadiamicritos de matriz quartzo micácea. Não possuem expressão na área de estudo, aparecendo apenas em pequenas ocorrências restritas e geralmente com extensão inferior a 500m. Sendo composta por quartzo, argilo minerais e um pouco de ferro (figura 7.2.3_1), porém, às vezes, pode ser confundida com a canga ferruginosa na paisagem.

Sua principal distinção em relação à canga ferruginosa é através da densidade, que é muito menor, e também pelo fato de não possuir nenhum fragmento de qualquer tipo ferrífero.



Figura 7.2.3_1 – Laterita mapeada na região de platô onde ocorrem metadiamicritos de matriz quartzo micácea

Fonte: Elaborada pelo autor

7.3 Formação Nova Aurora

A seguir serão descritos os litotipos identificados nas regiões não ferríferas da Formação Nova Aurora, partindo-se das formações mais recentes que são os produtos de alteração supergênica até os litotipos que constituem esta unidade.

7.3.1 Metadiamicctito

Identificado nos flancos leste e oeste do *trend* ferrífero, seus afloramentos ocorrem principalmente nas regiões de quebra dos platôs, em grotas e nas drenagens e rios (Figura 7.3.1_1).

O metadiamicctito de matriz quartzo-micácea foi considerado nesse trabalho como sendo os “limites” do pacote ferrífero representado em sua maioria pelo metadiamicctito com matriz ferruginosa (magnetita e um pouco de hematita). Os afloramentos de matriz quartzo-micácea encontram-se, em sua maioria, muito intemperizados e, em virtude disso, apresentam cores variando em tons de vermelho-alaranjados, por vezes de coloração bege, gerando normalmente solos dessas cores respectivamente. Nas figuras 7.3.1_2 e 7.3.1_3, é possível exemplificar bem esse fato quando o metadiamicctito apresenta coloração vermelha e bege no mesmo afloramento. A foliação acompanha o padrão regional, com direção N30E, e mergulho de baixo a médio ângulo para SE. Sua composição é basicamente de quartzo e mica (muscovita/sericita), podendo conter clastos de granitoide (Figura 7.3.1_4), carbonato e, principalmente, quartzito e quartzo branco cristalizado em veios.



Figura 7.3.1_1 – Afloramento de metadiamicito com matriz quartzo-micácea

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.3.1_2 – Afloramento do metadiamicito com matriz quartzo-micácea, de coloração avermelhada, e pequeno clasto estirado segundo a foliação. A linha amarela marca a foliação

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.3.1_3 – Afloramento do metadiamiclito com matriz quartzo-micácea, no mesmo ponto da figura 7.3.1_2, mostrando a diferenciação de cor, neste caso, bege. Nota-se um pequeno fragmento na ponta do martelo, de coloração avermelhado, do mesmo afloramento

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.3.1_4 – Afloramento do metadiamiclito com matriz quartzo-micácea com clastos de granitoides em sua matriz, marcados com círculos tracejados em amarelo

Fonte: Elaborada pelo autor

7.3.2 Quartzito

Esse litotipo aflora normalmente nas regiões de platôs, sendo que essas ocorrências podem variar de lentes métricas a algumas dezenas de metros, podendo ocorrer por alguns quilômetros alinhados na direção do *trend* estrutural da área. O quartzito apresenta, na maioria das vezes, coloração branca, mas, devido ao seu grau de intemperismo em alguns locais, pode-se observar que essa cor varia facilmente em tons róseos, amarelos e acinzentados, tom este que aparece quando a rocha possui óxido de ferro. O quartzito apresenta-se quase sempre de semicompacto à friável (Figura 7.3.2_1 e Figura 7.3.2_2), sendo raros afloramentos em que o mesmo é compacto. A direção de foliação segue o padrão local, variando de N20E a N40E com mergulhos variando de 20 a 60 graus para SE. Essa unidade ocorre como lentes ou pequenas camadas dentro do metadiamicrito de matriz quartzo-micácea.



Figura 7.3.2_1 – Afloramento do quartzito branco, intemperizado, com coloração variando de amarela a bege, com forte foliação (130/54) e grau de compactidade moderado

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.3.2_2 – Quartzito de coloração amarela, friável e com granulometria média. Ele é composto por quartzo e um pouco de mica (buscar fotos melhores que mostram mais os aspectos da rocha)

Fonte: Elaborada pelo autor

7.4 Membro Riacho Poções

A mineralização em ferro da Formação Nova Aurora – Membro Riacho Poções está contida na matriz do metadiamicrito, sendo que as ocorrências variam entre si no seu grau de enriquecimento em ferro. Dessa maneira, adotou-se para este trabalho uma classificação das rochas ferríferas levando-se em consideração o tipo de óxido de ferro (hematita granular, especularita – hematita laminar – e magnetita) contidos na matriz dos metadiamicritos, dividindo-os em 3 classes:

1 – Metadiamicrito: essa rocha apresenta teores de ferro de 10%, sendo consideradas estéreis, o principal óxido de ferro contido na matriz dessa rocha é a

magnetita. Estão presentes em toda área de estudo e marcam os limites de topo e base da formação ferrífera na área do projeto;

2 – Metadiamictito Ferruginoso: normalmente essas rochas apresentam teores de ferro variando de 10 a 25%, sendo que os principais óxidos de ferro contidos na matriz destes são hematita e magnetita. Estes ocorrem em maior expressão na área de estudo e totalizam grande parte das ocorrências mapeada;

3 – Metadiamictito Hematítico: esta unidade ocorre em regiões mais restritas, como camadas ou lentes na unidade de metadiamictito ferruginoso. Tais ocorrências são encontradas de forma mais expressiva nas áreas da Mineração Vale S/A. e Mtransminas Minerações Ltda. A matriz dos metadiamictitos nessas rochas possui a predominância de hematita e especularita fina (com teores acima de 30% de Fe), sendo que a magnetita ocorre como acessório e representa normalmente cerca de 1% dos minerais presentes na matriz.

Para a validação das classes mineralizadas definidas com base nas características mineralógicas das rochas, utilizou-se a análise dos dados pela abordagem multivariável. Essa abordagem aplica conceitos básicos da geomatemática e sua interação com as técnicas de geoestatística, estatística clássica e estatística operacional, objetivando conhecer melhor o minério amostrado e analisado quimicamente, contemplando potencialidades, características mineralógicas e quimismos semelhantes.

Para tal validação, realizou-se a análise discriminante dos resultados de análises globais das amostras de sondagem e da litologia prévia descrita em campo, elaborando-se uma chave de classificação para determinação dos litotipos dos metadiamictitos, utilizando-se os elementos Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO, P e LOI. A análise desses elementos resultou em sete agrupamentos relacionáveis, que podem ser vistos no dendograma da Figura 7.4_1.

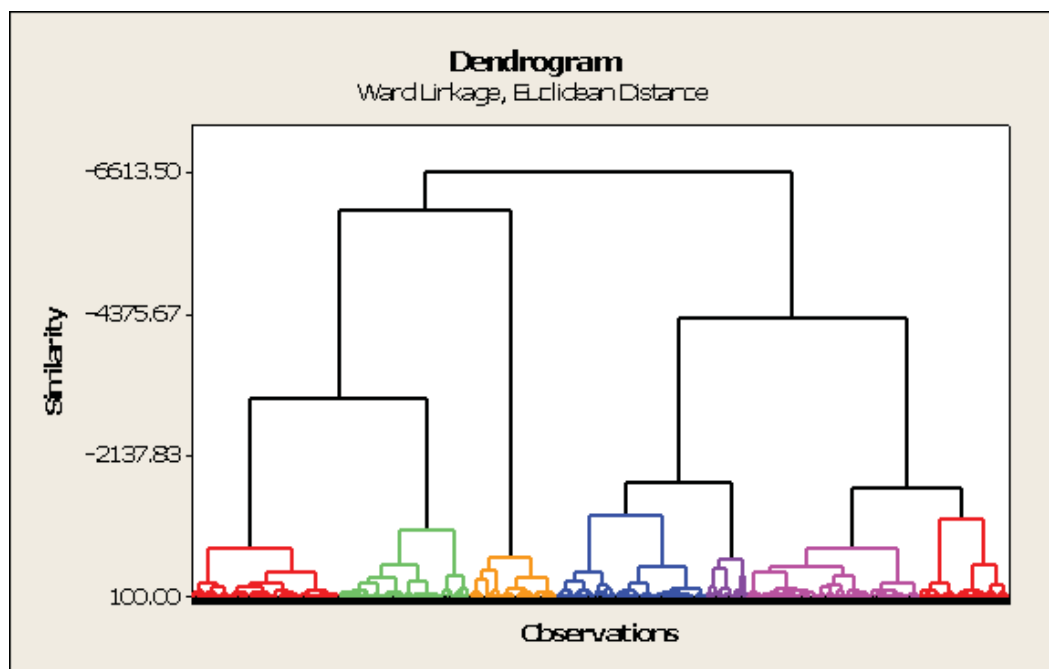


Figura 7.4_1 – Dendrograma das amostras analisadas com os elementos Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO, P e LOI

Fonte: Elaborada pelo autor

O dendrograma consiste em um diagrama em que, no eixo das ordenadas, são colocadas as diversas amostras e, no das abscissas, os valores de similaridade. Os elementos são agrupados por barras verticais, e o mesmo é feito para os grupos formados.

Para o agrupamento dos litotipos, utilizaram-se os agrupamentos obtidos para o Fe (%) total, que marcou 3 patamares de corte para os 7 grupos relacionados, mostrando os diferentes grupos de metadiamiccitos (Figura 7.4_2).

O *boxplot* mostra claramente a divisão dos grupos de correlação matemática definido pelo dendrograma. Existindo na população analisada, uma clara divisão do tipo 2 no teor de ferro acima de 30%. Este tipo corresponde com as amostras de metadiamiccito hematítico.

Na faixa entre 10 e 30% de Fe, foi possível agrupar os tipos 1, 4, 5, 6 e 7, em que, no tipo 4, existem amostras com teores de ferro maiores que 30%, mas que

apresentam maior correlação com as amostras de metadiamicictito ferruginoso. O restante das amostras, o tipo 3, possui teores abaixo de 10% de Ferro e representa o metadiamicictito estéril em ferro.

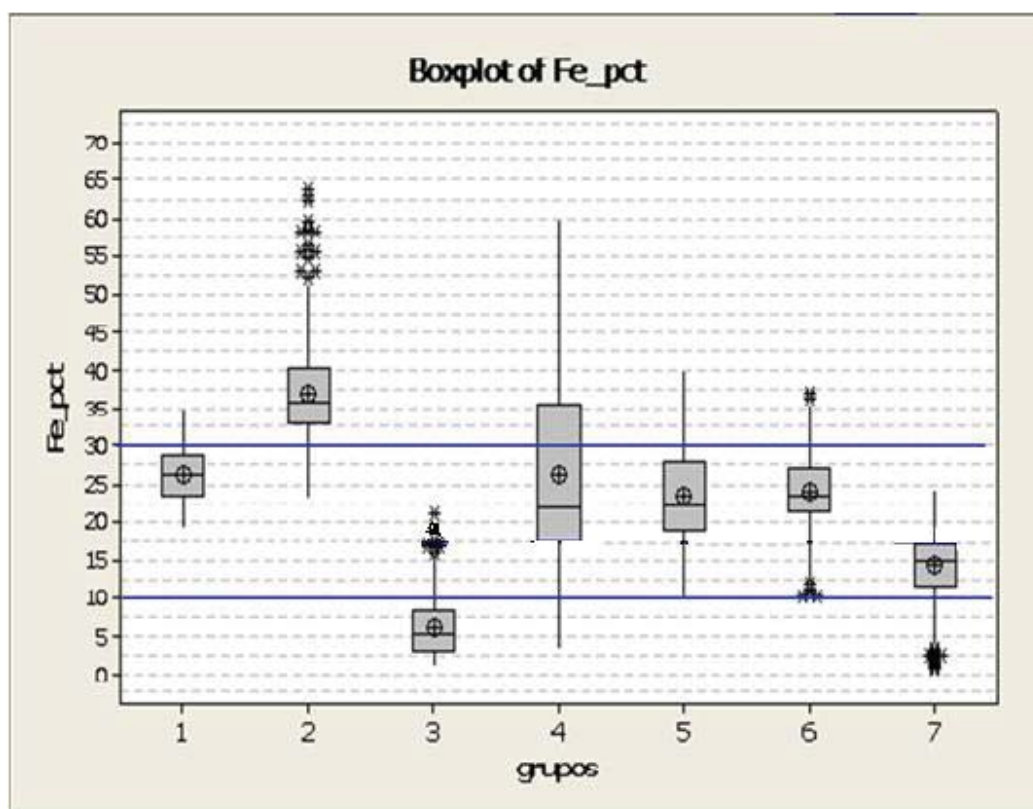


Figura 7.4_2 – *Boxplot* para o elemento Fe com os patamares marcados em azul

Fonte: Elaborada pelo autor

O estudo geoestatístico multivariado mostrou que a divisão regional adotada para os litotipos enriquecidos em ferro foi adequada quimicamente, pois ela agrupou litotipos de metadiamicictito com teores similares de ferro e separou as classes de metadiamicictitos em escala mapeável.

Há também, em menor expressão, ocorrências de ferro em quartzito que foram classificados como quartzito ferruginoso, sendo que, normalmente, a magnetita ocorre como principal mineral de ferro nessas rochas.

Ao longo dos trabalhos de mapeamento geológico e sondagem, foram mapeados e perfurados níveis com intercalação de rochas ferríferas e não ferríferas, que foram interpretados como níveis distintos de formação ferrífera devido à estrutura verificada não permitir a interpretação destes como únicos e dobrados (interpretação sugerida em outros trabalhos publicados sobre essa área). A complexidade estrutural da área pode ser classificada como alta e marcada por falhas transcorrentes e de empurrão, que dificultam a reconstituição da posição original das camadas ferríferas, que podem ser consideradas como horizonte guia em meio aos tipos de metadiamicctitos.

A seguir, serão descritos os litotipos ferríferos prospectados no membro Riacho Poções, partindo das coberturas recentes, produtos de alteração supergênica, até os litotipos que constituem essa unidade.

7.4.1 Canga

As cangas ferruginosas ocorrem nas regiões de platô de ocorrência do metadiamicctito hematítico, formando extensas carapaças que se destacam nas imagens de satélite pela inexistência de vegetação no local de sua ocorrência. A canga ferruginosa apresenta-se formando um capeamento muito plano sobre a superfície. Observando seus afloramentos, percebe-se que ela se desenvolveu em cima das ocorrências de metadiamicctito com matriz hematítica. Tal fato é evidenciado pela ocorrência de uma foliação preservada em meio à massa ferruginosa (Figura 7.4.1_1).



Figura 7.4.1_1 – Formação ferrífera hematítica foliada, preservada em meio à canga
Fonte: Elaborada pelo autor

Essa ganga ferruginosa, em alguns locais, possui matriz areno-argilosa, com fragmentos de quartzo e hematita (Figura 7.4.1_2), sendo que, nas regiões mais pobres em ferro, percebe-se que sua matriz é gerada a partir do elúvio de formação ferrífera, gerando uma canga de matriz ferrosa, com fragmentos basicamente de hematita, quartzo e, por vezes, da própria canga ferruginosa. Na Figura 7.4.1_3, observa-se a grande extensão dos afloramentos de canga ferruginosa, formando um grande descampado. Na figura 7.4.1_4, pode-se ver, em detalhe, os fragmentos de hematita capeados por processos de goethitização e limonitização, que promoveram a lixiviação da sílica.



Figura 7.4.1_2 – Bloco de canga ferruginosa com matriz areno-argilosa, com fragmentos de hematita

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.4.1_3 – Afloramento em um “platô” de Canga ferruginosa próxima à vila de Nova Aurora

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.4.1_4 – Bloco da canga hematítica com capeamento de alteração gerado a partir de processos de goethitização e/ou limonitização

Fonte: Elaborada pelo autor

As ocorrências de canga apresentaram espessuras variando de 2 a 15 metros, podendo-se inferir uma profundidade média de 5 metros para essa unidade. Os trabalhos de amostragem apontaram para altos teores de ferro dessas cangas, variando de 20 a 60% de Fe com teor médio na ordem de 45% de Ferro total na rocha (Tabela 7.4.1_1). Os teores de ferro são mais elevados nessa unidade devido aos processos supergênicos, sendo esta característica por baixos teores de sílica e elevados teores de ferro, alumínio e fósforo, dois contaminantes que inviabilizam a exploração deste litotipo sem a realização de uma blendagem com minérios de baixo teor de contaminantes (fósforo, alumínio e sílica).

Tabela 7.4.1_1 – Teores médios das cangas amostradas e analisadas quimicamente a partir de testemunhos de sondagem na área de estudo para o elemento ferro e seus contaminantes. O método de análise utilizado foi o de fluorescência de raios-X

XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	PHY01E
SiO2	Al2O3	Fe	P	Mn	LOI
%	%	%	%	%	%
22.73	5.87	44.77	0.20	0.08	5.86

Fonte: Elaborada pelo autor

7.4.2 Quartzito Ferruginoso

Esta unidade foi mapeada no flanco oeste de dois platôs, na base da camada de metadiamiccito ferruginoso, sendo vista em campo normalmente na forma de blocos e afloramentos com a preservação da foliação regional e dobras. O quartzito ferruginoso apresenta coloração predominantemente cinza, e sua matriz é composta basicamente de quartzo e magnetita (Figura 7.4.2_1 e Figura 7.4.2_2). Esta, quando em níveis mais concentrados, denota à rocha um médio a alto grau de magnetismo. Os afloramentos de quartzito ferruginoso foram os únicos locais onde se constataram algumas microdobras capazes de fornecerem estruturas para uma interpretação inicial do evento metamórfico/estrutural da região. Na Figura 7.4.2_3, observa-se um possível dobramento em “M”, considerando a exposição como *in situ*.



Figura 7.4.2_1 - Afloramento de quartzito ferruginoso a oeste das ocorrências de metadiamicrito ferrífero na região da vila de Nova Aurora

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.4.2_2 – Bloco de quartzito ferruginoso, com textura média a grossa, composta basicamente de quartzo e magnetita

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.4.2_3 – Afloramento de quartzito ferruginoso, com dobras em “M”, com plano axial 075/30, eixo 035/40 e flancos 120/30 e 000/30. Direção da foto: N55

Fonte: Elaborada pelo autor

O quartzito ferruginoso ocorre como lentes ou pequenas camadas em superfície, concordantes com o *trend* principal, mas possuem pequena continuidade em subsuperfície. Com teores que variaram de 10 a 40% de ferro, o quartzito ferruginoso não representa uma unidade de importância volumétrica e muitas vezes ocorrem em escala não modelável, sendo normalmente englobado nas unidades de metadiamicrito ferrífero. Os teores medidos verificados nas amostras analisadas foram na ordem de 23% de Fe total (Tabela 7.4.2_1).

Tabela 7.4.2_1 - Teores médios do quartzito ferruginoso amostrados nos testemunhos de sondagem e analisados quimicamente na área de estudo para o elemento ferro e seus contaminantes. O método de análise utilizado foi o de fluorescência de raios-X

XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	PHY01E
SiO₂	Al₂O₃	Fe	P	Mn	LOI
%	%	%	%	%	%
55.04	6.09	22.95	0.18	0.36	2.89

Fonte: Elaborada pelo autor

7.4.3 Filito Hematítico

O filito hematítico foi interceptado somente em furos de sondagem realizados pela Mtransminas Minerações Ltda, sendo que eles se caracterizaram como pequenas lentes com espessura variando de 2 a 10 metros e sem continuidade lateral. Essa rocha ocorre normalmente foliada, com coloração variando de amarelo a tons de cinza, escuro quando rica em ferro, com alternância de níveis com hematita com bandas pelítica (Figura 7.4.3_1).

Essas ocorrências são concordantes ao *trend* ferrífero e não possui volume expressão volumétrica significativa na área de estudo, sendo que muitas vezes ocorrem em escala não modelável. Seus teores de ferro variam de 10 a 30%.



Figura 7.4.3_1 – Filito hematítico de coloração cinza, contendo hematita, amostrado no furo de sondagem FD001 da Mtransminas Minerações Ltda

Fonte: Elaborada pelo autor

7.4.4 Metadiamiccito Hematítico

O metadiamiccito hematítico apresenta uma grande quantidade de lâminas de hematita, com espessura variando de submilimétricas (<1mm) a centimétricas (2cm a 3cm). A concentração de hematita granular e especularita estimada visualmente ultrapassam 50% da composição mineralógica da rocha, que apresenta coloração de cinza a preta e brilho metálico.

Há poucos afloramentos com essas ocorrências e, normalmente, a espessura dessas camadas não ultrapassa 40 metros. Os principais afloramentos

ocorrem normalmente como lentes ou camadas em meio aos metadiamicritos ferruginosos, sendo que essas ocorrências são vistas mais comumente nas margens do Rio Vacarias e nas proximidades da vila de Nova Aurora, região central da área de ocorrência da Formação Nova Aurora (Figura 7.4.4_1).



Figura 7.4.4_1– Afloramento de metadiamicrito hematítico no alto do platô de canga ferruginosa, com detalhe a preservação da foliação

Fonte: Elaborada pelo autor

Regionalmente, observa-se, na região central da área de ocorrência da Formação Nova Aurora, uma diminuição do espessamento da camada ferrífera e a presença das principais ocorrências de metadiamicrito hematítico, podendo-se classificar essa região como o principal domínio de ocorrência dessa unidade (Figura 7.4.4_2). Essa região destaca-se por possuir as mais intensas anomalias magnéticas da província e, por apresentar forte orientação das camadas na direção NE-SW, com mergulho variando de 50 a 70 graus para SE, ângulo este

mais alto que os verificados nas regiões norte e sul da Bacia Macaúbas, que apresenta mergulhos variando de 30 a 40 graus para SE.

As principais ocorrências de cangas vistas nas imagens de satélite estão relacionadas às ocorrências de metadiamicritos hematíticos, coincidentes com as principais anomalias magnéticas. Nessa região, as camadas são menos espessas e com maior ângulo de mergulho, indicando uma deformação mais dúctil nesse setor (Figura 7.4.4_3).

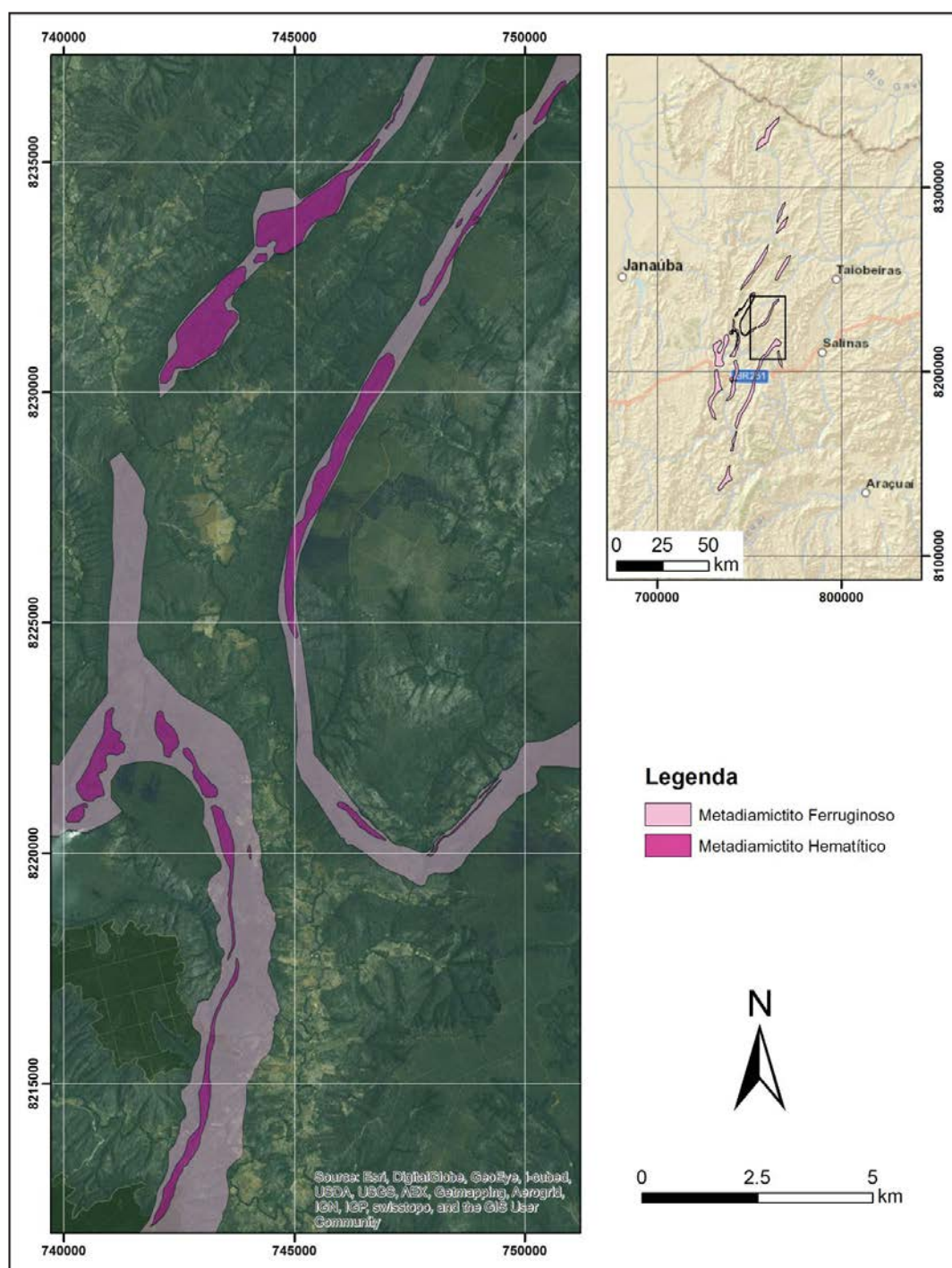


Figura 7.4.4_2 – Domínio central de ocorrência da Formação Nova Aurora, Membro Riacho Poções. Nessa região, ocorrem as principais e mais significativas ocorrências de metadiamicrito hematítico

Fonte: Elaborada pelo autor

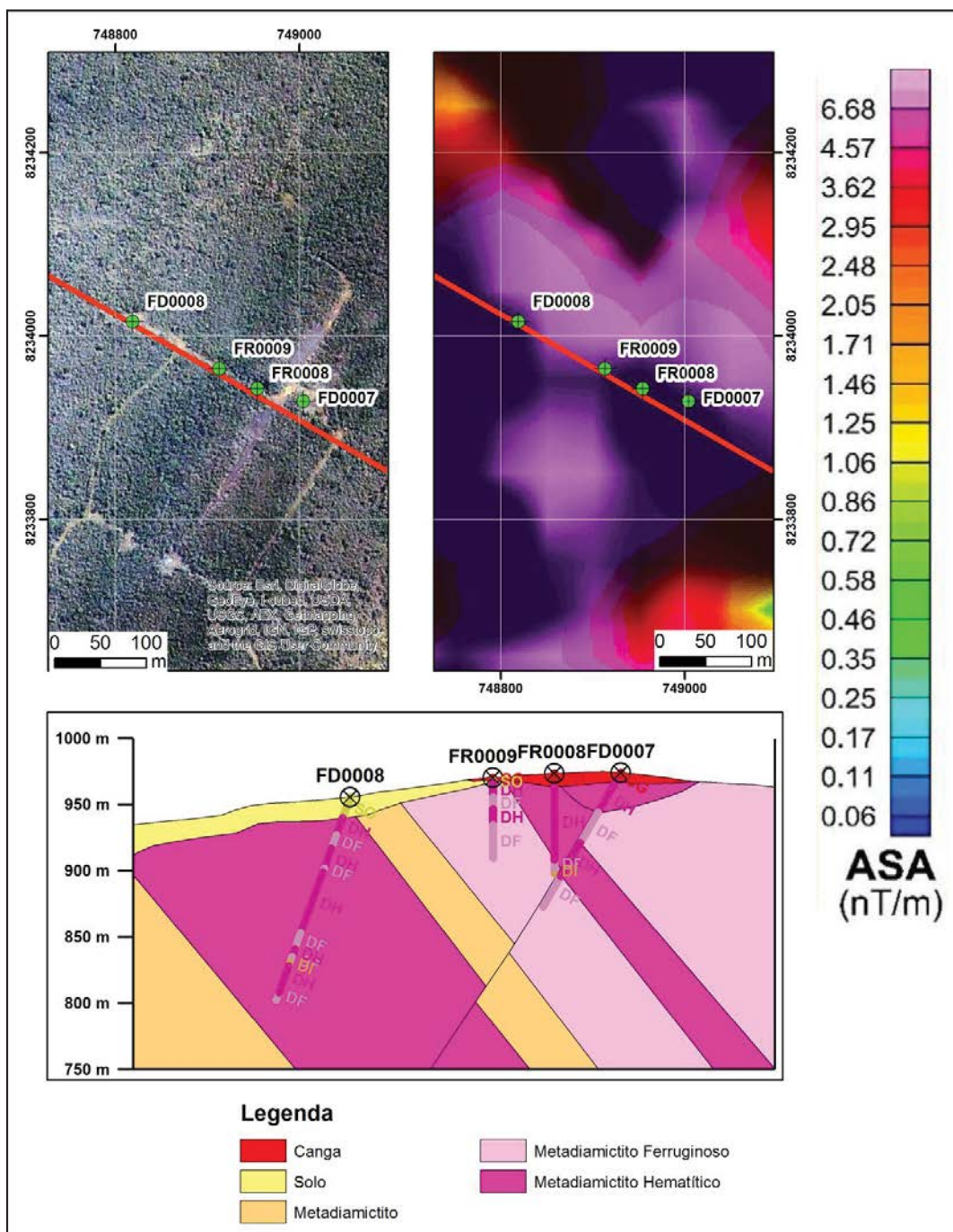


Figura 7.4.4_3 – Ocorrência de metadiamiccito hematítico pesquisada em uma área de forte intensidade magnética e com a ocorrência de um platô de canga, à esquerda. Abaixo, apresenta-se a seção de sondagem que verificou, nessa região, a ocorrência de um chapéu de ferro associada a uma camada de metadiamiccito hematítico com alto ângulo de mergulho, 70 graus para SE

Fonte: Elaborada pelo autor

Em afloramentos descritos, a rocha apresenta matriz de granulação fina, textura predominantemente lepidoblástica, constituída por mais de 50% de hematita e specularita, com grãos de cantos arredondados no caso da hematita (martita) e tabulares para specularita. A ocorrência de clastos nesse tipo metadiamicrito é menos expressiva e possui tamanhos entre 2 e 5cm. Predomina o magnetismo de moderado a baixo, mas ocorrem níveis em que não há sinal magnético devido à alteração da magnetita para martita/hematita. Raramente observam-se magnetitas em lupa (Figura 7.4.4_4 a Figura 7.4.4_6).



Figura 7.4.4_4 – Afloramento de metadiamicrito specularítico em detalhe. O grau de magnetismo nessas ocorrências é baixo e a presença de clastos é praticamente inexistente

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.4.4_5 – Metadiamicrito hematítico friável, sem a presença de clastos

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.4.4_6 – Metadiamicrito hematítico com textura brechada (Furo FD0003, alvo Nova Aurora)

Fonte: Elaborada pelo autor

Os grãos de quartzo formam, em poucos casos, níveis centimétricos dando um aspecto de itabirito à rocha (Figura 7.4.4_7), essas ocorrências aparecem de forma muito restrita em escala não mapeável e podem representar também clastos de formação ferrífera bandada em meio à matriz dos metadiamicritos.



Figura 7.4.4_7 – Bloco de “BIF”, com dobras parasíticas e alternância de bandas ferríferas com níveis quartzosos

Fonte: Elaborada pelo autor

As descrições de lâminas delgadas indicam uma estimativa visual da ordem de 60% de especularita (lamina PT-0018), \pm 33% de quartzo, \pm 4% de sericita/muscovita, \pm 2% de apatita e \pm 1% de carbonato.

A especularita ocorre como plaquetas de até 1mm de comprimento. Nos septos da clivagem de crenulação, os cristais de especularita apresentam microfraturas extensionais, com orientação perpendicular ao comprimento, cuja

abertura é inferior a 25 μm . Nos micrólitos, esse micro fraturamento não ocorre. Os cristais de magnetita hematizados (martita) são raros e normalmente pequenos, menores que 400 μm e estão nos micrólitos.

O quartzo é anedral, de lentiforme a ovalado, com até 1,0mm de comprimento ou diâmetro; os maiores são arredondados e ocorrem em disposição aleatória, e ainda ostentam estrutura primária sedimentar. Nos micrólitos, o quartzo apresenta-se estirado, sendo que nas zonas de charneira ocorre sob a forma de mobilizados de sílica, sendo poucos, os cristais que preservam a estrutura sedimentar indicando bom arredondamento e esfericidade. Os grãos detríticos são monos e policristalinos, sendo alguns grãos ricos em acículas de rutilo. Os filossilicatos são representados predominantemente por sericita e/ou muscovita fina e ocorrem como palhetas isoladas e concentrações micrométricas, sugerindo tratar-se de fragmentos líticos de argilito ou produto de alteração de grãos detríticos de feldspato.

Carbonatos formam raros cristais isolados, enquanto a apatita ocorre sob a forma de cristais normalmente menores que 50 μm , isolados, dispersos ou como pequenos aglomerados de cristais mal definidos (massa microcristalina) de dimensões micrométricas, angulosas a lenticulares.

A rocha apresenta um paleobandamento composicional sedimentar difuso, o qual foi tectonizado em condições de temperatura entre 350 e 400°C, dando origem à clivagem de crenulação, concentração da hematita nos septos, e à mobilização e à precipitação de sílica no sistema, aspecto deduzido a partir das microestruturas e texturas do quartzo (Figura 7.4.4_8).

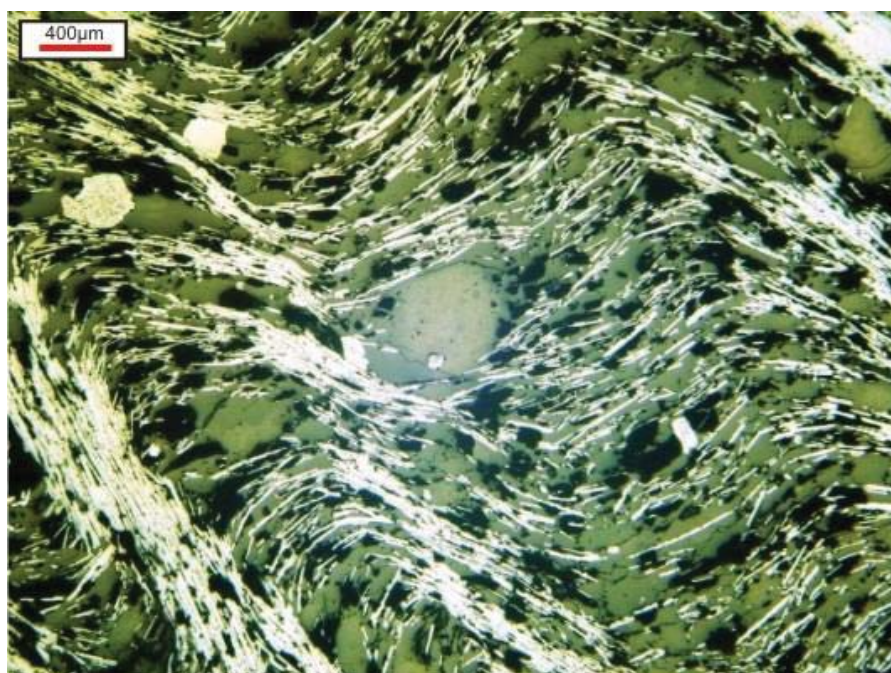


Figura 7.4.4_8 - Fotomicrografia de um metadiamicctito hematítico que mostra clivagem de crenulação dada pela orientação de plaquetas de especularita, aparecendo alguns grãos de magnetita martitizada nos micrólitos. Nicóis paralelos. Luz refletida

Fonte: Elaborada pelo autor

O metadiamicctito hematítico constitui uma importante unidade ferrífera com teores que variam de 30 a 59% de ferro, tendo como contaminante principal a sílica e, em alguns casos, o fósforo, devido à presença de cristais de apatita na matriz dos metadiamicctitos.

Tabela 7.4.4_1 – Teores médios dos metadiamicctitos hematíticos amostrados em testemunhos de sondagem e analisados quimicamente na região central de ocorrência do Membro Riacho Poções. O método de análise utilizado foi o de fluorescência de raios-X

XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	PHY01E
SiO2	Al2O3	Fe	P	Mn	LOI
%	%	%	%	%	%
39.11	2.37	38.81	0.30	0.03	1.13

Fonte: Elaborada pelo autor

7.4.5 Metadiamicrito Ferruginoso

O metadiamicrito ferruginoso forma pacotes que variam de algumas centenas de metros a cerca de 1 km de espessura aparente em superfície. Os minerais de ferro contido na matriz destes litotipos são comumente a hematita e magnetita. A hematita ocorre formando desde lâminas em níveis de 5 mm a 2 cm de espessura, servindo, junto com a sericita, como matriz para grãos finos, grânulos de quartzo e clastos polimíticos (Figura 7.4.5_1).

Uma característica desse pacote é a alternância entre níveis e lâminas de hematita/especularita com níveis pobres, decimétricos, ocasionalmente métricos, nos quais se observa maior quantidade de clastos, grãos de carbonato, etc. Tal fato foi constatado em lâmina delgada, cujas amostras retiradas de intervalos moderados apresentaram teores de hematita semelhantes aos pobres, em geral, com média de 20% (amostra de petrografia PT-0017, Figura 7.4.5_2).



Figura 7.4.5_1 – Metadiamicrito ferruginoso com clastos e fragmentos de quartzo indicando rotação por cisalhamento e constituindo formas sigmoidais

Fonte: Elaborada pelo autor

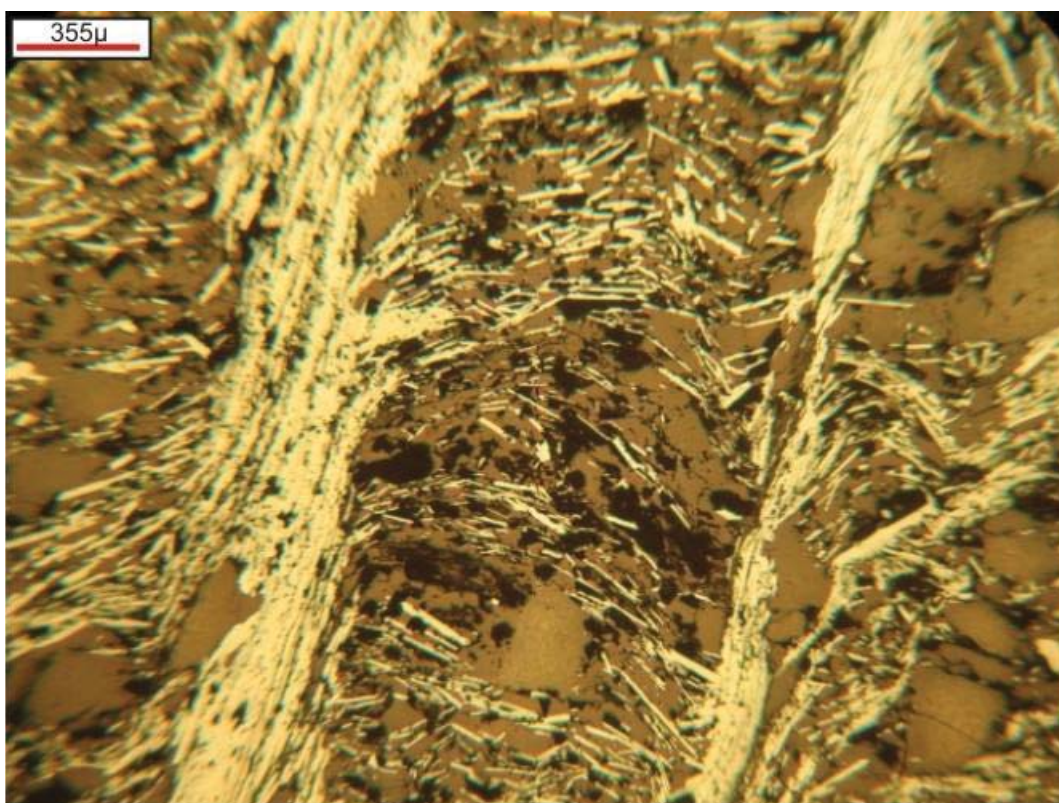


Figura 7.4.5_2 – Fotomicrografia obtida por luz refletida e polarizadores descruzados do metadiamicrito ferruginoso, mostrando clivagem de crenulação diferenciada com concentração de hematita especular nos septos

Fonte: Elaborada pelo autor

As passagens de enriquecimento em ferro neste pacote são gradacionais, não existindo contatos nítidos entre os tipos com mais hematita, com teores próximos a 30% de ferro em relação aos níveis com pouca hematita, passando muitas vezes despercebidos em campo.

A resposta magnética pode ser alta, com grãos de magnetita de até 1mm de tamanho, preservando parcialmente seu hábito cristalino. No entanto, essa alta resposta magnética se concentra nos níveis mais inferiores do pacote, predominando respostas baixas e moderadas onde pouco se observam magnetitas.

Em campo, são raros os afloramentos em que se encontram metadiamicritos ferruginosos que não estejam em grau avançado de intemperismo. Apresentam-

se, na maioria das vezes, em grau médio de alteração intempérica, o que oblitera sua coloração, tornando-a cinza clara a amarelada. Onde há rocha sã, observa-se coloração cinza (Figura 7.4.5_3). Sua constituição mineralógica destaca-se pela matriz sericítica suportando grãos e grânulos de quartzo subarredondados, com frações que variam de fina a grossa (1mm a 2cm). São comuns grânulos e seixos de carbonatos, com tamanhos variando entre 0,5 e 1cm, de coloração ocre devido ao intemperismo. Clastos (seixos pingados) de quartzito, de quartzo de veios e carbonatos, com tamanhos que variam de 2 a 20cm, são observados em afloramentos com grande expressão longitudinal. Tais clastos possuem a direção de maior estiramento respeitando a direção das camadas, ou seja, acompanhando a foliação principal.



Figura 7.4.5_3 – Afloramento de metadiamicrito ferruginoso friável de coloração cinza médio, indicando a presença de hematita na matriz da rocha

Fonte: Elaborada pelo autor

Os contatos de base e topo com o metadiamicictito hematítico são geralmente gradacionais, sendo pouco perceptíveis em campo, a não ser pela relação das formas de relevo. Nas sondagens, observou-se, no contato do metadiamicictito ferruginoso com o metadiamicictito passagem brusca com magnetitas e veios de quartzo na zona de contato, associadas à grande quantidade de clorita, e sulfetos (pirita, Figura 7.4.5_5 e Figura 7.4.5_6). Indicando a ocorrência de hidrotermalismo e/ou a concentração de fluido de origem tectono-metamórfica ao longo de contatos litológicos em zonas de empurrões com vergência para Oeste.



Figura 7.4.5_4 – Afloramento de metadiamicictito pobre próximo ao contato com o quartzito, apresentando bandas centimétricas de quartzo e magnetita

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.4.5_5 – Furo de sondagem com a ocorrência de zona cloritizada com magnetita e quartzo, e ocorrência de cerca de 3% de pirita na matriz da rocha

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.4.5_6 – Detalhe da pirita disseminada na matriz do metadiamicrito

Fonte: Elaborada pelo autor

A análise petrográfica para as amostras de metadiamiccito ferruginoso mostram a rocha com cerca de 40% a 55% de quartzo; de 20% a 40% de óxidos de ferro; \pm 20% a 30% de biotita/muscovita e/ou sericita; até 5% de carbonatos e clorita. Apatita chega a representar cerca de 2% na assembleia mineralógica. Observam-se ainda, minerais traços como turmalina, zircão e goethita.

Os minerais de minério encontrados em seções delgadas são hematita granular (martita) e/ou especularita e magnetita. Os grãos de magnetita encontrados em lâminas, para o Metadiamiccito Ferruginoso, não ultrapassam 4%, ao passo que a concentração de hematita mais magnetita podem representar até 30%. Em escala de afloramento, observa-se que as hematitas e magnetitas ocorrem disseminadas na matriz e entre os grãos de quartzo, com textura lepidoblástica, o que é reforçado pela petrografia.

Os cristais de magnetita ocorrem com formas euédricas (octaédricos), com até 0,6mm de diâmetro, martitizados, com micro e criptoporos (Figura 7.4.5_7). No geral, a apatita aparece sob a forma de pequenos cristais euedrais a anedrais isolados e dispersos, ou como agregados associados ao quartzo e carbonato, sugerindo tratar-se de microssexos de fosforitas impuras, e como microinclusões em alguns domínios carbonáticos de aspecto turvo (possíveis microssexos) com recristalização (Figura 7.4.5_8), estando por vezes dispersos na matriz carbonática que está associada ao quartzo e representa, em média, 5% da composição mineralógica do metadiamiccito em geral.

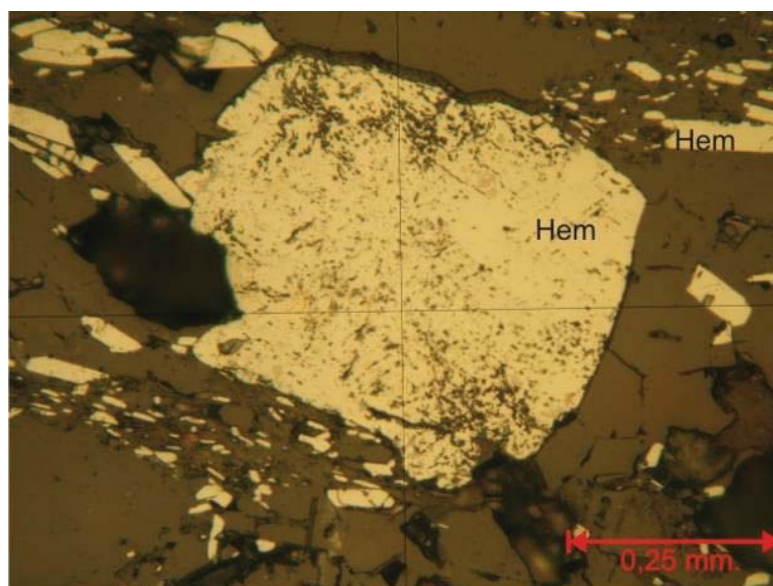


Figura 7.4.5_7 – Fotomicrografia da seção polida, sob luz refletida, aumento de 20x e polarizadores paralelos, mostrando cristal de magnetita martitizada apresentando intensa porosidade e 1% de inclusões sendo principalmente de quartzo

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.4.5_8 – Fotomicrografia da seção polida, obtida com luz transmitida com nicóis cruzados, mostra um metadiamicrito ferruginoso com apatita. A elipse em vermelho mostra seixo de fosforito lenticular. Seção delgada muito espessa (espessura superior a 70μm)

Fonte: Elaborada pelo autor

Os corpos de metadiamiccito ferruginoso possui grande expressão regional na formação Nova Aurora, sendo mapeados ao longo do *trend* por algumas dezenas de quilômetros, representando a maior massa ferrífera existente na Província Norte de Minas em termos de continuidade e volume. Os teores de ferro dessa unidade variam de 10% a 30% de ferro total na matriz dos metadiamicritos, sendo que as amostras analisadas apresentaram um teor médio na ordem de 22% de Ferro, tendo como contaminantes a sílica, o alumínio e o fósforo (Tabela 7.4.5_1).

Tabela 7.4.5_1 – Teores médios para o metadiamiccito ferruginoso amostrado em testemunhos de sondagem e analisados quimicamente na região central de ocorrência do Membro Riacho Poções. O método de análise utilizado foi o de fluorescência de raios-X

XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	PHY01E
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	P	Mn	LOI
%	%	%	%	%	%
57.10	4.47	22.78	0.34	0.07	1.87

Fonte: Elaborada pelo autor

7.5 Formação Catutiba

Durante os trabalhos de pesquisa, verificou-se no extremo sul da bacia Macaúbas, na região do município de Leme do Prado (Figura 7.5_1), anomalias aeromagnéticas com assinatura geofísica positiva para o canal magnético e negativa para o canal de potássio, mas de certa maneira similares às identificadas nas ocorrências ferríferas da Formação Nova Aurora, em uma região mapeada pela CPRM como pertencente à Formação Nova Aurora. Tal fato motivou o início das pesquisas na região com o intuito de avaliar a existência de ocorrências ferríferas e seu respectivo potencial de exploração para minério de ferro.

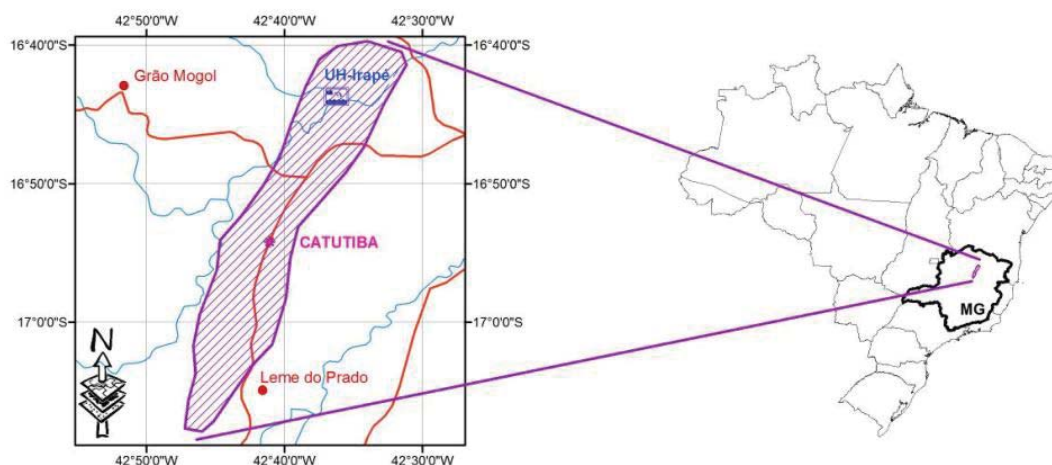


Figura 7.5_1 – Localização aproximada das ocorrências da Formação Catutiba (Fonte Geográfica – IBGE)

A área de interesse é marcada pela ocorrência de um platô de direção NNE/SSW, coberto por um solo laterítico de coloração vermelha e magnetismo moderado com presença de cangas restritas espalhadas ao longo de sua extensão (aproximadamente 20 km). A geomorfologia local desfavorece a ocorrência de bons afloramentos, sendo que as primeiras ocorrências ferríferas foram mapeadas na região da vila de Catutiba e são marcadas por lentes de hematita/goethita compacta de direção NE/SW, aflorantes em meio a uma unidade de filito grafitoso, que se torna ferrífera próxima a zona de contato com as lentes ricas em ferro.

O filito grafitoso foi descrito com maior nível de detalhe durante os trabalhos de construção da Usina Hidrelétrica de Irapé, no Rio Jequitinhonha, (LIMA, 2009), sendo, na ocasião, relatada a presença de sulfato e de níveis sulfetados nessa unidade. Tal fato foi confirmado durante os trabalhos de campo, sendo descrito nas cotas mais baixas, nas margens do rio Jequitinhonha, filito grafitoso sulfetado a ferruginoso, formando níveis métricos com presença de pirita, calcopirita e magnetita.

Diante dos fatos descritos é possível dizer que as ocorrências mapeadas não pertencem à Formação Nova Aurora, pois possuem características bem distintas e distribuem-se por uma área expressiva. Dessa forma, elas estão sendo individualizadas pelo autor, que propõe a criação de uma nova unidade, chamada de Formação Catutiba, que, devido a suas características mineralógicas e a área de abrangência regional, tornou-se relevante a sua individualização.

A seguir, na Figura 7.5_2, apresenta-se a coluna litoestratigráfica proposta para a Formação Catutiba e, na Figura 7.5_3, o mapa geológico regional, com sua área de abrangência e os litotipos mapeados. No Anexo 3, é apresentado o mapa geológico regional, com a integração da Formação Catutiba e seus contatos com as outras unidades geológicas.

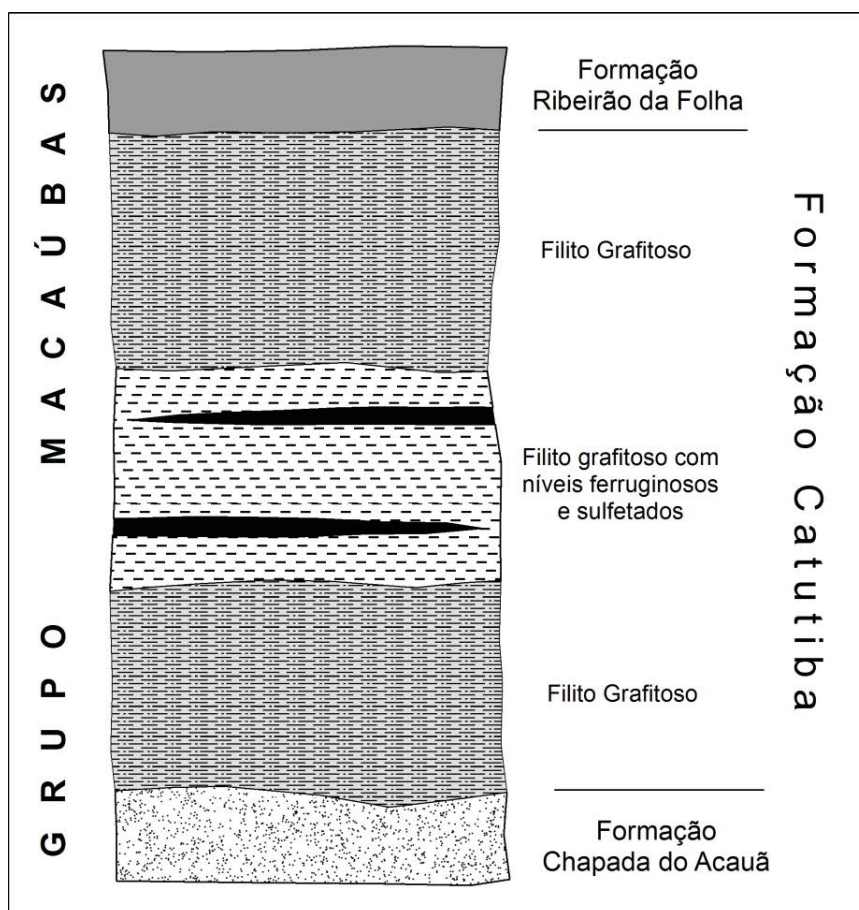


Figura 7.5_2 – Coluna litoestratigráfica elaborada para a Formação Catutiba

Fonte: Elaborada pelo autor

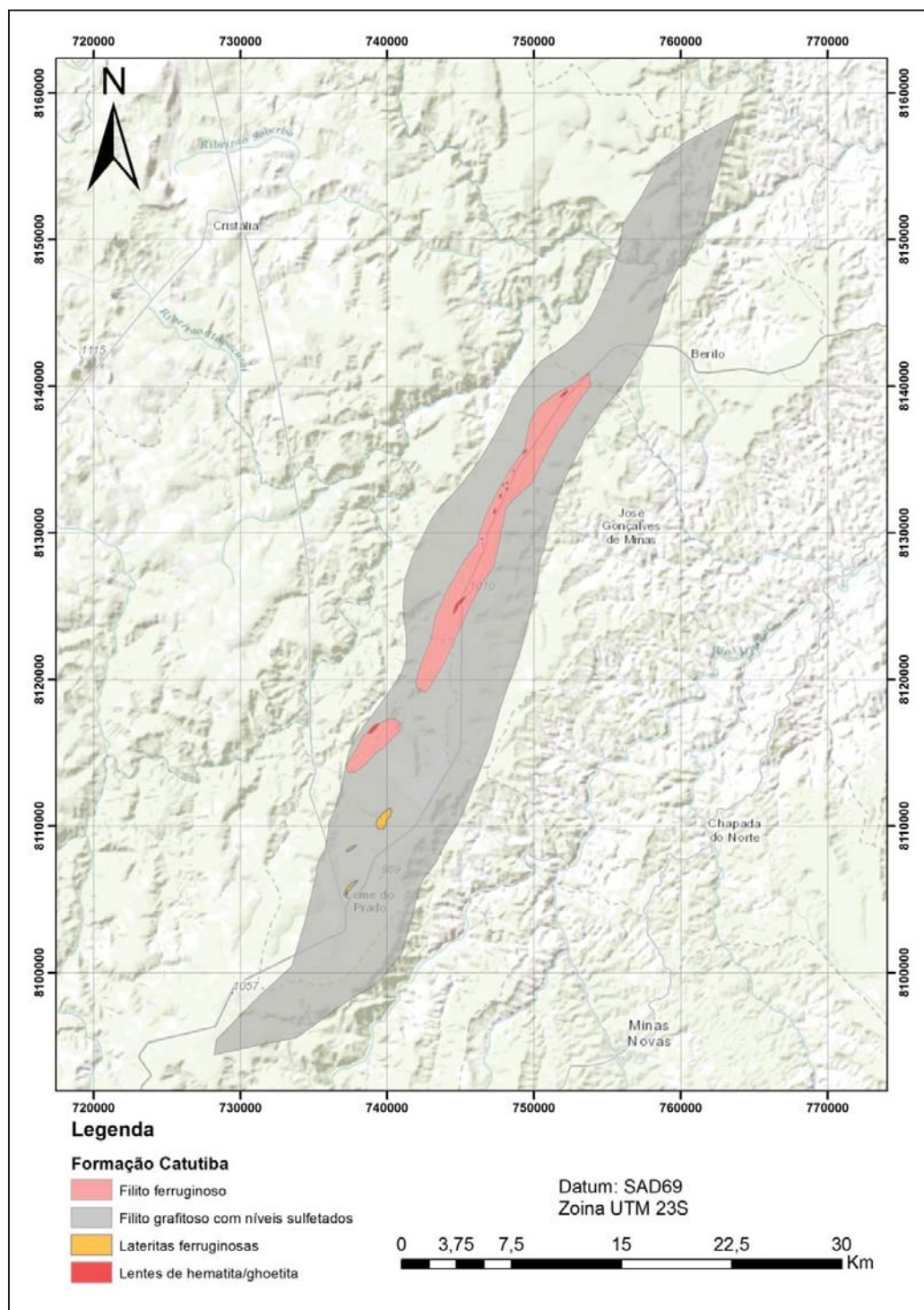


Figura 7.5_3 – Mapa geológico regional elaborado para a área mapeada como pertencente à Formação Catutiba

Fonte: Elaborada pelo autor

7.5.1 Filito Grafitoso

Esta unidade está inserida entre os quartzitos da Formação Chapa Acauã com direção aproximada NNE-SSW, concordante com a geologia regional da Bacia do Grupo Macaúbas. Essa unidade de filitos foi mapeada por uma extensão de aproximadamente 40 km no eixo NNE-SSW e sua melhor exposição ocorre na região da barragem de Irapé, sendo que a mesma pode chegar a 1 km de espessura em superfície (espessura aparente da camada).

Os pacotes de filito apresentam, no geral, baixo ângulo de mergulho na sua foliação principal, variando de 20 a 30 graus para SE, uma granulometria fina, contendo sericita, quartzo e grafita (Figura 7.5.1_1). A magnetita é comumente vista como mineral acessório nessa unidade (Figura 7.5.1_2).

Na região central do platô, o filitoso grafitoso se torna ferruginoso, com teores de ferro total na matriz, superiores a 30%, essas ocorrências ferruginosas foram mapeadas somente na região do platô da vila de Catutiba.

Em meio às ocorrências de filito grafitoso, mapearam-se nas cotas mais próximas ao rio Jequitinhonha, nos arredores da barragem de Irapé, níveis sulfetados, marcada pela presença de pirita e sulfatos. A seguir, as ocorrências sulfetadas serão descritas com maior nível de detalhe.



Figura 7.5.1_1 – Afloramento de filito grafítico de coloração cinza médio

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.5.1_2 – Detalhe do filito grafítico mostrando a ocorrência de cristais de magnetita

Fonte: Elaborada pelo autor

7.5.2 Filito Grafítico Sulfetado

Na área da barragem da Usina de Irapé, afloram, em meio ao filito grafítico, camadas decimétricas de filito grafítico sulfetado, marcadas em superfície pela grande formação de sulfatos a partir do intemperismo dos sulfetos que libera enxofre (Figura 7.5.2_1), sendo que o principal sulfeto ocorrente nessa rocha é a pirita (Figura 7.5.2_2), com traços de calcopirita e pirrotita (Figura 7.5.2_3).



Figura 7.5.2_1 – Afloramento com a ocorrência de sulfatos na região da barragem da Usina de Irapé, indicando o intemperismo dos sulfetos e a liberação de enxofre da rocha

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.5.2_2 – Detalhe da ocorrência de filito com pirita em amostra coletada na região da Barragem da Usina de Irapé

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.5.2_3 – Detalhe do filito grafitoso com pirita e traços de calcopirita

Fonte: Elaborada pelo autor

Durante os estudos de implantação da Usina Hidroelétrica de Irapé, foi realizada uma campanha de sondagem, sendo que, em lâminas realizadas pela

Arbórea Recuperação de Áreas Degradadas Ltda, foram descritas uma textura caracterizadas pela disposição rítmica e orientada dos minerais lamelares (micas e grafita) numa matriz granoblástica, constituída predominantemente por cristais de quartzo (Figura 7.5.2_4).

Também foram identificados cristais de grafita, granada, clorita, cianita, turmalina e carbonato, comumente próximos a massas de pirita (Figura 7.5.2_5), em percentuais variáveis, Os cristais de carbonato foram identificados como ankerita - $\text{Ca (Mg,Fe)(CO}_3)_2$, devido ao alto índice de refração das amostras analisadas e à ausência de efervescência pelo ataque com HCl a frio, bem como à sua ocorrência comumente associada a rochas metamórficas ricas em ferro (LIMA, 2009).



Figura 7.5.2_4 – Aspectos texturais do filito grafitoso vista em lâmina com nicóis cruzados; aumento 25X (ARBÓREA, 1996)

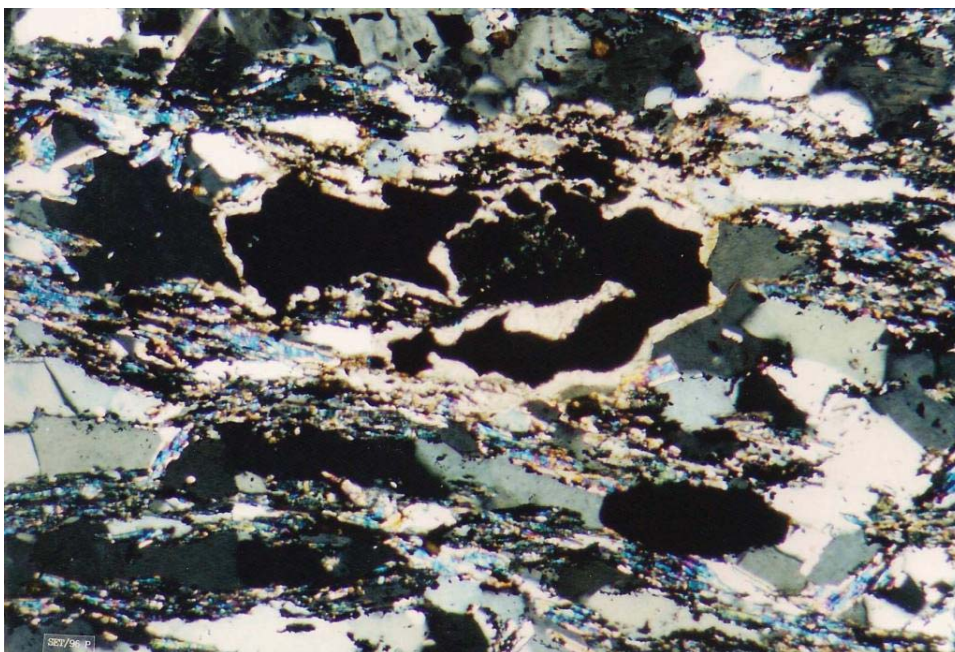


Figura 7.5.2_5 – Lâmina com cristais de pirita em preto ao centro, com massa carbonática ao seu redor, imagem vista com nicóis cruzados; aumento de 100x (ARBÓREA, 1996)

7.5.3 Filito Ferruginoso

Durante o mapeamento de detalhe do platô da Formação Catutiba, foi individualizada uma camada de filito ferruginoso com teores de ferro que variaram de 10 a 30% de Fe total na rocha. Nessas porções ferruginosas, foi possível notar um aumento do grau de deformação e metamorfismo dessas ocorrências, formando rochas com uma xistosidade proeminente e com a mesma orientação do filito grafitoso, mas ocorrendo também uma diminuição na quantidade de grafita e um aumento na quantidade de ferro, sendo possível identificar a ocorrência de hematita na rocha (Figura 7.5.3_1).



Figura 7.5.3_1 – Afloramento de filito a xisto ferruginoso, com detalhe da rocha no lado inferior esquerdo da imagem

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.5.3_2 – Amostras de filito ferruginoso cinza, crenulado, apresentando oxidações de coloração vermelha e branca a amarelada, que marcam a alternância de quartzo e óxidos de ferro na foliação

Fonte: Elaborada pelo autor

Em meio à unidade de filito ferruginoso que ocorre na porção central do platô, ocorrem bolsões de hematita/goethita compacta, que aparecem na forma de lentes no meio dessa unidade, que possui direção concordante com as ocorrências sulfetadas aflorantes na barragem de Irapé.

7.5.4 Lentes de Hematita/Goethita

Esta unidade ocorre como lentes ou bolsões que se destacam na paisagem dos platôs onde aparecem os filitos ferruginosos, sendo que sua expressão regional é de cerca de 15 km, com ocorrências restritas que possuem, em média, cerca de 50 a 150 metros na direção de maior continuidade (NE), com uma espessura aparente variando de 10 a 30 metros.

Essas ocorrências são marcadas geomorfologicamente por constituírem pequenas cristas ou morrotes com blocos de formação ferrífera alinhados na direção da foliação principal (Figura 7.5.4_1). Tais ocorrências possuem textura compacta a levemente brechada, com presença de veios de quartzo, caracterizadas pelo alto teor de ferro (acima de 50%) e elevada resistência mecânica (Figura 7.5.4_2).



Figura 7.5.4_1 – Morrote de hematita/goethita compacta visto em campo

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.5.4_2 – Bloco de hematita/goethita compacta amostrado em um dos morrotes de ocorrência de blocos ferríferos. São vistas na rocha algumas venulações de quartzo e provável carbonato alterado

Fonte: Elaborada pelo autor

Foram abertas 14 trincheiras e 2 poços de pesquisa nas regiões de ocorrência dessas lentes ferríferas, com o intuito de analisar a sua continuidade em subsuperfície e observar sua relação estratigráfica com os filitos grafitosos e ferruginosos (Tabela 7.5.4_1). As trincheiras foram abertas perpendicularmente à direção de maior continuidade, com uma profundidade média variando de 1,5 a 2,5 metros.

Tabela 7.5.4_1 – Coordenadas de início e fim das trincheiras e poços abertos no município de Leme do Prado e Gonçalves Dias - MG

Coordenadas Trincheiras e Poços Abertos com Maquina						
Trincheira	X inicial	Y Inicial	X Final	Y Final	Datum	Zona
TTG001	748178,56	8133381,10	748186,34	8133375,38	SAD-69	23k
TTG002	748099,77	8133009,51	748114,11	8133001,70	SAD-69	23k
TTG003	748083,54	8132991,84	748096,52	8132978,73	SAD-69	23k
TTG004	747832,89	8132492,84	747850,80	8132480,80	SAD-69	23k
CTB001	746547,09	8129361,74	746571,63	8129348,84	SAD-69	23k
CTB002	746537,56	8129264,08	746565,23	8129273,56	SAD-69	23k
CTB003	746541,99	8129246,38	746566,05	8129239,74	SAD-69	23k
CTB004	746543,86	8129222,85	746556,84	8129225,95	SAD-69	23k
CTB005	746585,02	8129314,01	746586,58	8129325,31	SAD-69	23k
CTB006	746502,15	8129067,44	746534,05	8129090,34	SAD-69	23k
CTB007	746515,20	8129060,27	746536,18	8129063,55	SAD-69	23k
CTB008	746496,60	8129087,81	746531,56	8129091,21	SAD-69	23k
CTB009	746402,40	8129584,41	746438,35	8129609,36	SAD-69	23k
CTB010	745273,77	8131425,93	745281,62	8131416,09	SAD-69	23k
Poço 01	744556,14	8131748,17			SAD-69	23k
Poço 02	745459,00	8133896,68			SAD-69	23k

Fonte: Elaborada pelo autor

As análises químicas realizadas nas amostras coletadas indicaram um alto teor de ferro, acima de 50%, podendo atingir até 60%, com baixa sílica, tendo como contaminantes do minério de ferro o alumínio e o fósforo (Tabela 7.5.4_2). Outra característica que chamou a atenção nas análises dessas rochas foi a alta perda ao fogo, que variou de 4 a 9%, indicando a presença de minerais de ferro

hidratados (hidróxido de ferro) – neste caso, os mais prováveis são goethita e limonita.

Tabela 7.5.4_2 – Resultado da análise química realizada nos blocos de hematita/goethita amostrados nas trincheiras abertas

Trincheira	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	PHY01E
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CTB002	10,8	6,61	74,4	0,04	<0,1	0,42	0,404	0,55	0,6	0,16	6,7
CTB003	13	4,79	70,2	0,02	<0,1	0,33	0,345	<0,1	0,4	0,09	10,16
CTB007	3,48	1,44	88,5	0,06	<0,1	0,03	0,228	<0,1	0,03	0,16	6,39

Fonte: Elaborada pelo autor

Analisando as trincheiras abertas nos arredores da vila de Catutiba, onde as ocorrências de rochas ferríferas afloram com maior persistência e com teores de ferro mais elevados (Figura 7.5.4_3), foi possível verificar os seguintes aspectos:

- Essas ocorrências não possuem continuidade em subsuperfície, estando as mesmas depositadas sobre o filito grafitoso (Figura 7.5.4_4);
- Traços de sulfeto foram verificados em amostras coletadas na zona de colúvio (Figura 7.5.4_5);
- Filito ferruginoso ocorre imediatamente abaixo dos blocos de formação ferrífera (Figura 7.5.4_6), com teores variando de 15 a 30 % de Ferro (Tabela 7.5.4_3).

A partir da verificação de que os blocos de hematita/goethita compacta não representam uma camada estruturada e estão depositados acima do filito ferruginoso, o qual se encontra alterado imediatamente abaixo da linha de blocos, pode-se supor que os teores de ferro verificados nessas ocorrências podem ser oriundos de níveis sulfetados oxidados, fato este reforçado pelos seguintes aspectos:

- Presença de traços de calcopirita em alguns blocos ferríferos amostrados;

- Ocorrência de níveis de filito grafitoso sulfetado aflorantes na barragem de Irapé, no mesmo *trend* do platô de ocorrência desses bolsões ferríferos,
- A assinatura geofísica é a mesma na região de ocorrência dos sulfetos e dos blocos de formação ferrífera;
- As amostras com teores de ferro mais elevados apresentam alta perda ao fogo, indicando que as mesmas sofreram processos supergênicos.

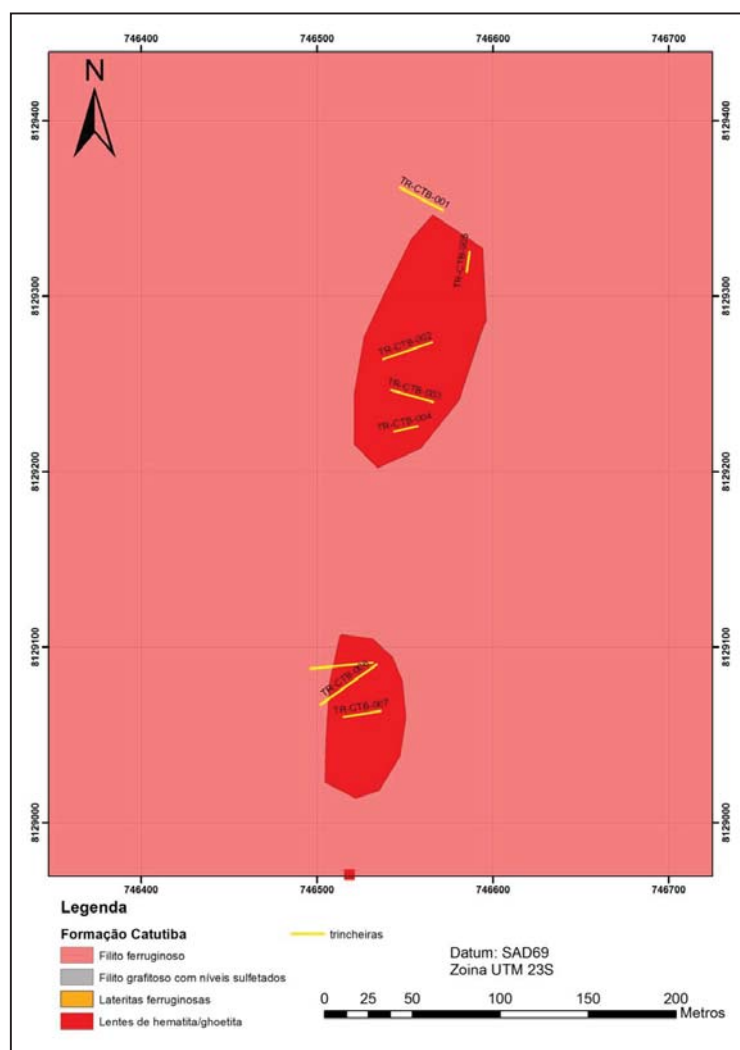


Figura 7.5.4_3 – Mapa geológico de detalhe da região de ocorrência dos blocos ferríferos nos arredores da vila de Catutiba e a localização das trincheiras abertas para estudar essas ocorrências

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.5.4_4 – Blocos de formação ferrífera espalhados sobre o filito ferruginoso. Esses blocos não apresentaram continuidade em subsuperfície, possuindo uma espessura média de 0,5 metros

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.5.4_5 – Bloco de hematita/goethita coletado no nível de colúvio das trincheiras com traço de calcopirita, circulado em amarelo na foto

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.5.4_6 – Filito ferruginoso descrito na trincheira CTB003, abaixo da linha de blocos de colúvios ferríferos compactos.

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 7.5.4_3 – Resultado das análises químicas realizadas nas ocorrências de filito ferruginoso amostradas nas trincheiras abertas

Trincheira	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	PHY01E
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CTB002	34,7	5,88	53,2	0,01	<0,1	0,34	0,237	0,19	0,88	0,09	4,44
CTB002	53,8	10,2	28,4	0,05	0,16	0,61	0,283	0,35	1,52	0,05	4,57
CTB003	38,1	11,8	40,2	0,07	<0,1	0,75	0,119	<0,1	0,3	0,03	7,65
CTB007	36,3	16,2	38,7	0,03	<0,1	0,87	0,08	<0,1	0,28	0,04	6,92
CTB007	34,7	17	37,9	0,03	<0,1	0,93	0,087	<0,1	0,26	0,03	7,67

Fonte: Elaborada pelo autor

7.6 Formação Capelinha

Caracterizada pela ocorrência de espessas camadas de quartzitos, constituídas de quartzito laminado micáceo, intercalado com quartzo-muscovita xistos com níveis localizados de formação ferrífera bandada (FFB) e quartzitos ferruginosos, os quais sustentam o relevo da maior parte das chapadas. Em trabalho mais abrangente, Grossi-Sad et al. (1993) designaram a Formação Capelinha como unidade superior do Grupo Macaúbas e a subdividiram em dois membros: (i) o membro inferior, composto por proto-quartzito micáceo, ferruginoso, feldspático e/ou grafitoso, intercalado com quartzo-mica xisto rico em plagioclásio e xisto carbono-grafitoso; (ii) o membro superior, constituído predominantemente por orto-quartzito laminado e localmente, por quartzito ferruginoso e/ou micáceo e/ou feldspático.

As ocorrências de formações ferríferas da Formação Capelinha são relacionadas a anomalias positivas do sinal analítico, que também podem representar, na região, corpos ultramáficos relacionados a ofiólitos e intrusões graníticas. Devido ao contexto geológico mais complexo, as anomalias interpretadas com assinatura de formação ferrífera foram reconhecidas em campo com o intuito de validar as suas regiões de ocorrência (Figura 7.6_1).

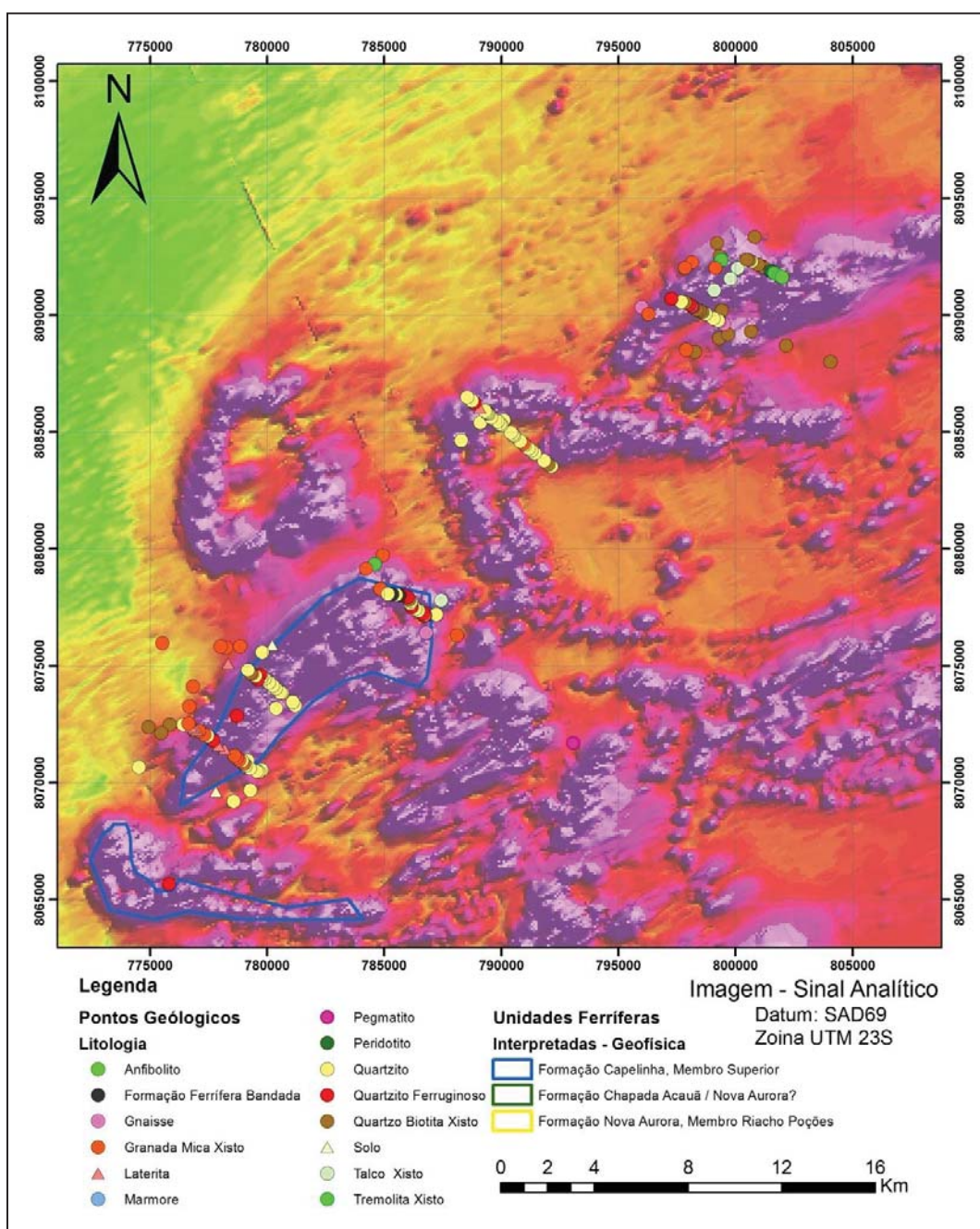


Figura 7.6_1 – Imagem do sinal analítico com os pontos geológicos descritos na região de Capelinha – MG. Nas anomalias a Oeste, constatou-se a presença de formação ferrífera, sendo que as anomalias a Leste estão relacionadas à presença de rocha máfica a ultramáfica

Fonte: Elaborada pelo autor

O trabalho de campo mostrou que as formações ferríferas mais significativas estão localizadas geomorfologicamente abaixo das quebras positivas dos platôs, na porção Superior da Formação Capelinha, marcando, nesses casos, a transição do Membro inferior para o Superior, conforme a coluna estratigráfica detalhada e proposta pelo autor na Figura 7.6_2, e de acordo com o mapa geológico elaborado (Figura 7.6_3). Em anexo é apresentado o mapa geológico regional integrado para a área de ocorrência das formações ferríferas mapeadas.

Essas formações são representadas em superfície pela ocorrência de quartzito ferruginoso, intercalado com níveis de formação ferrífera bandada de composição mineralógica simples, contendo hematita, magnetita e quartzo (Figura 7.6_4 e Figura 7.6_5).

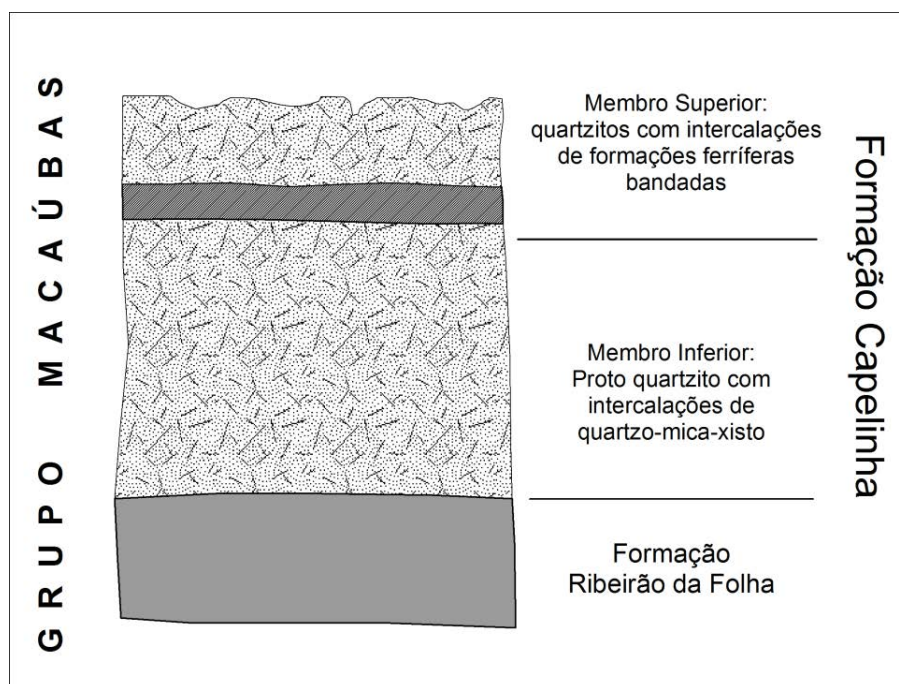


Figura 7.6_2 – Coluna estratigráfica da Formação Capelinha, com a inclusão do nível de formação ferrífera visto nos platôs na região de transição do membro inferior para o superior

Fonte: Elaborada pelo autor

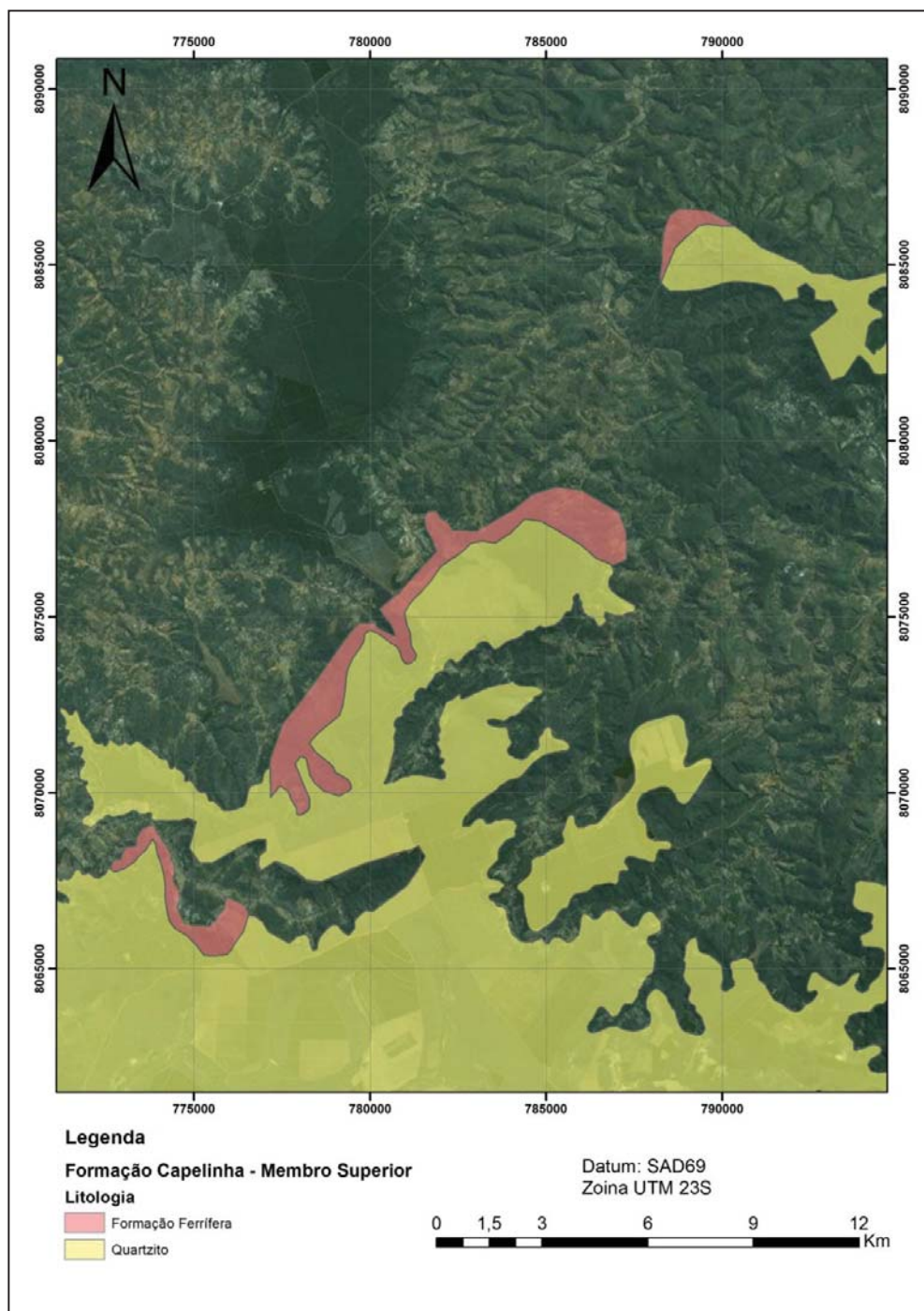


Figura 7.6_3 – Mapa geológico do Membro Superior da Formação Capelinha, sobre a imagem de satélite *LANDSAT 7*, para a região de ocorrência das formações ferríferas, detalhando o nível de ocorrência das mesmas sobre a imagem de satélite que mostra a geomorfologia da região e a proximidade dessas ocorrências com as quebras positivas do terreno

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.6_4 – Trincheira visitada na região de ocorrência das formações ferríferas, mostrando um solo de alteração vermelho magnético, seguido por um nível de saprólito e por uma formação ferrífera bandada na base

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 7.6_5 – Formação Ferrífera bandada composta por hematita, magnetita e quartzo, com cristais de magnetita preservados em meio ao bandamento

Fonte: Elaborada pelo autor

Nas porções saprolíticas da rocha, é possível observar um enriquecimento em ferro desta (Figura 8.5_6), caracterizado por um nível oxidado com “empastilhamento” das bandas ferríferas, provocado pela lixiviação da sílica na porção laterizada do perfil, processo comum de ocorrer em regiões de platô e alto de serras aplainadas, como em Corumbá-MS, por exemplo.



Figura 7.6_6 – Formação ferrífera alterada apresentando enriquecimento em ferro devido a processos supergênicos que causaram a lixiviação da sílica, conferindo uma textura de pastilhas para os minerais de ferro orientados conforme o bandamento original que não foram remobilizados do perfil

Fonte: Elaborada pelo autor

Nas regiões mapeadas, verificou-se que as formações ferríferas possuem uma continuidade ao longo do *trend*, que variou de 2 a 12 km, na maior ocorrência, com a espessura da camada que pode atingir cerca de 140 metros, de acordo com os dados de sondagem divulgados pela Cleveland Mining da Austrália em seu *site* (Figura 7.6_7 e Figura 7.6_8).

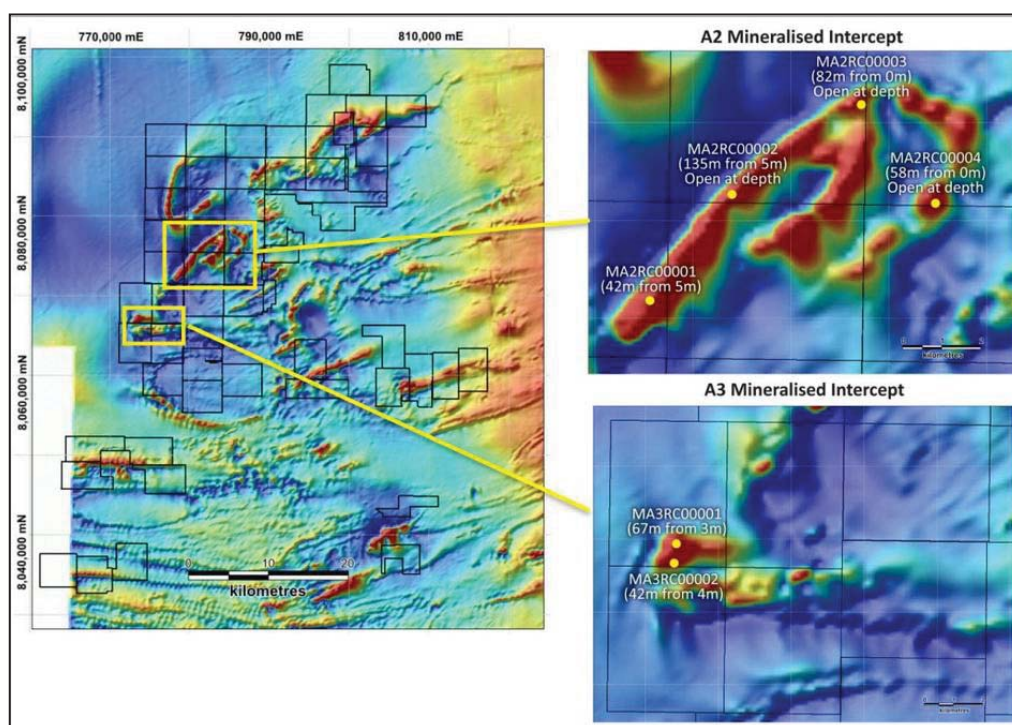


Figura 7.6_7 – Imagem geofísica do filtro do sinal analítico mostrando os processos de pesquisa junto ao DNPM e os furos de sondagem realizados pela empresa Cleveland Mining no projeto Minas Novas, para prospecção de minério de ferro divulgada em seu *site* (Retirada de <http://clevelandmining.com.au/minas-novas-projects>)

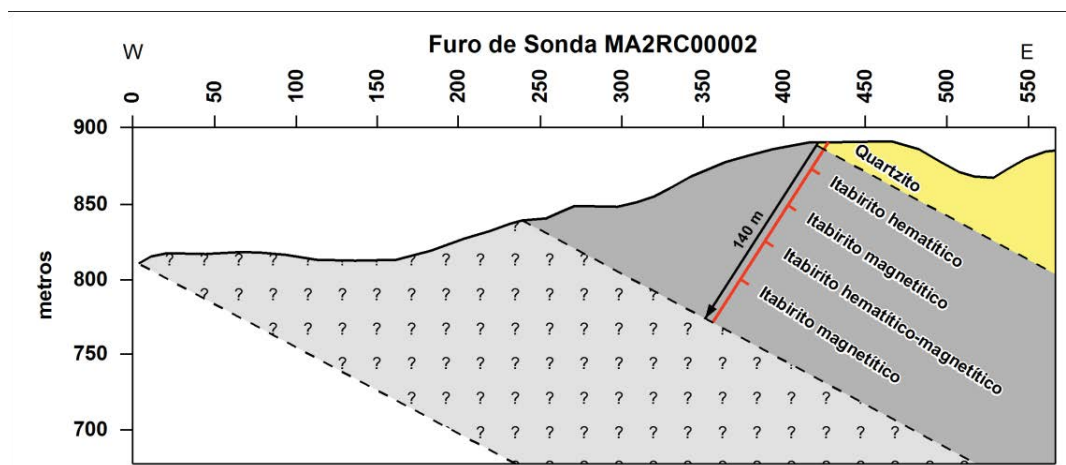


Figura 7.6_8 – Seção geológica esquemática do furo de sondagem MA2RC00002 realizado pela empresa Cleveland Mining e divulgada em seu *site* (Modificada de <http://clevelandmining.com.au/minas-novas-projects>)

8 Geologia Estrutural

8.1 Aspectos Gerais

O Grupo Macaúbas é uma sequência de rochas metassedimentares depositada em uma bacia do tipo *rift* que atualmente possui orientação principal NNE-SSW, marcada pela foliação regional e por grandes lineamentos que apontam falhas do tipo transcorrestes e de empurrão.

Esses lineamentos de falha são visíveis claramente nas imagens de satélite e no levantamento geofísico, sendo que os mesmos são cortados por uma estruturação mais recente de direção WNW-ESE, caracterizadas pelos rompimentos de cristas de serras e pelas falhas transcorrentes que deslocaram o *trend* nesta direção, cortando a foliação principal. Na figura a seguir, apresentam-se os principais lineamentos e discontinuidades interpretados a partir do levantamento geofísico e de imagem de satélite (Figura 8.1_1).

Os lineamentos estruturais, marcados pelas cristas de serra e bordas de platôs de direção NNE-SSW, apontam a estruturação principal da área de estudo, estando os mesmos concordantes com as foliações medidas em campo durante os trabalhos de mapeamento geológico. Em relação aos lineamentos de direção NNW, observou-se que os mesmos estão relacionados a anomalias positivas do filtro do sinal analítico, interpretadas como diques que cortaram a sequência do Grupo Macaúbas e do Supergrupo Espinhaço, estando os mesmos relacionados a eventos mais recentes.

A foliação principal, chamada neste trabalho de S_1 , marca a direção de orientação principal do “trend” NNE-SSW e representa a direção de acamamento das sequências depositadas, fato visto em filito e quartzito e representada no metadiamiclito pela direção das camadas de formação ferrífera quando estruturada e pela orientação dos clastos da rocha.

As principais fraturas extraídas das imagens de satélite e lineamentos geofísicos possuem direção WNW-ESE e são relacionadas a fraturas e a falhas que interrompem o *trend* estrutural, cortando as estruturas relacionadas à foliação S_1 . Subordinadamente a essas discontinuidades ocorrem estruturas de direção NE-SE, concordantes ao *trend* estrutural principal. Essas estruturas estão relacionadas a zonas de falhas de empurrão, relacionadas à primeira fase de deformação, responsável pela geração das estruturas S_1 , onde, hoje, estão encaixados os principais rios da bacia Macaúbas, que coletam os fluxos de água das estruturas perpendiculares, que são representadas por fraturas e falhas geradas a partir da continuidade dessa deformação, gerando essas estruturas na fase final de deformação.

A deformação na área de estudo foi progressiva, sendo que a continuidade do esforço levou a formação de uma segunda foliação, S_2 , cuja direção corta S_1 em cerca de 20 graus, com direção aproximada N10E/20SW.

Uma terceira foliação S_3 é vista no metatiamictito hematítico e nas lâminas confeccionadas para o mesmo, sendo que se trata de uma foliação plana axial ao eixo das dobras, onde houve a remobilização de especularita.

Para a interpretação dos dados estruturais das áreas de interesse a este estudo utilizou-se um método de análise das estruturas que partiu de uma escala macroscópica (interpretação de imagem de satélite), caminhando para uma escala mesoscópica, onde foram cruzados os dados de imagem com os de campo (mapeamento e geofísica) para a identificação das principais estruturas e elaboração do modelo geológico/estrutural que será utilizado na compilação do mapa geológico e modelo evolutivo para a área de estudo.

A seguir, serão apresentados os dados coletados a respeito das formações ferríferas correlacionadas às formações Nova Aurora, Catutiba e Capelinha.

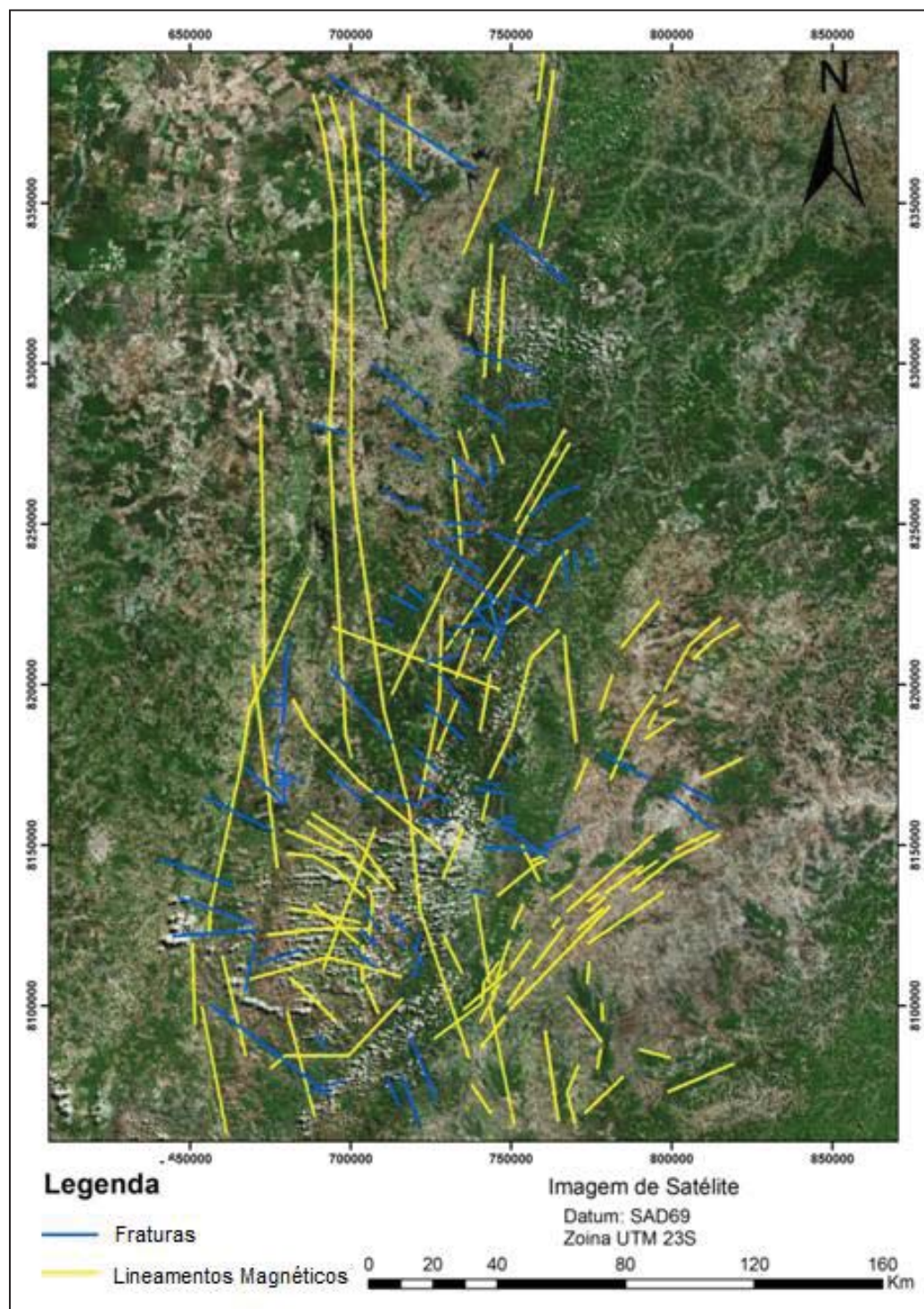


Figura 8.1_1 – Lineamentos magnéticos e fraturas interpretadas a partir da imagem de satélite e aerogeofísica visualizadas sobre a imagem de satélite *LANDSAT 7*

Fonte: Elaborada pelo autor

8.2 Formação Nova Aurora

8.2.1 Estruturas Macroscópicas

As estruturas macroscópicas observadas na área de ocorrência da formação Nova Aurora foram interpretadas por meio de imagens de satélites (*ASTER* e *LANDSAT 7*), sendo possível identificar o *trend* principal dos litotipos e dobras maiores, bem como, localizar os lineamentos mais marcantes e distinguir diferentes litotipos.

Analisando a imagem *ASTER* que cobre a região Centro-Norte de ocorrência da formação Nova Aurora, é possível observar que os lineamentos NNE são concordantes com o *trend* das camadas, estendendo-se por vários quilômetros, marcando tanto a ocorrência dos platôs de canga como os níveis de metadiamicictito ferruginoso. Outro padrão NE, com direção de aproximadamente N45E, aproveita outro sistema de fraturas que, a princípio, forma pares conjugados com as famílias de direção NW (Figura 8.2.1_1).

Uma grande dobra é vista na imagem de satélite e foi estudada em campo nas áreas da Mtransminas, sendo 3km em cada flanco, com sua zona de charneira marcada por uma fratura, onde corre uma drenagem indicando que a mesma foi rompida. Em campo, foi possível identificar essa mesma dobra, porém, o reconhecimento se os flancos seriam normais ou invertidos é dificultado pela obliteração dos planos pela foliação S_1 , e também pela falta de um maior número de afloramentos de grande porte, onde pudesse ser feita uma análise mais detalhada das estruturas.

Os principais lineamentos identificados em imagem *ASTER* mostram *trends* N45W e N25E, sendo que os *trends* NW estão relacionados com os padrões de juntas e fraturas fechadas. Veios de quartzo de direção NNE marcam em campo o plano de empurrão de algumas sequências alóctones de metadiamicictito ferruginoso a hematítico que cavalgaram sobre o metadiamicictito estéril na região

de encontro do rio vacarias com o rio peixe bravo. Nos furos de sondagem foi possível restituir a geometria desses empurrões e perceber outras pequenas falhas, sendo:

- 1- Nas proximidades da Vila de Nova Aurora, as camadas possuem um ângulo mais elevado de mergulho e mostram concentrações mais elevadas de ferro devido ao encurtamento volumétrico da camada, que deve ter sido causado pela inflexão das zonas de empurrão, gerando concentração de hematita por processos tectônicos metamórficos, sendo que falhas posteriores, paralelas ao plano de foliação S_1 (Figura 8.2.1_2), foram geradas, provavelmente, pelo alívio de pressão, causando brechações localizadas que remobilização a hematita localmente (Figura 8.2.1_3), o rejeito de falha nessa região é de 20 metros;
- 2- A região Centro-Sul da Formação Nova Aurora é marcada pela presença de Metadiamicrito Ferruginoso de espessura aparente em superfície de 500 a 1500 metros, delimitadas normalmente no topo e na base por ocorrências de veios de quartzo, indicando limites descontínuos. O mergulho das camadas nessas regiões é inferior a 30^0 e, quando se analisa a geometria da mineralização, ela indica geometrias relacionáveis a falha de empurrão, gerados por um fluxo de massa de E para W, com zonas de cisalhamento na base do pacote, estruturas essas, relacionadas à primeira e principal fase de deformação que controla a mineralização na região (Figura 8.2.1_4).

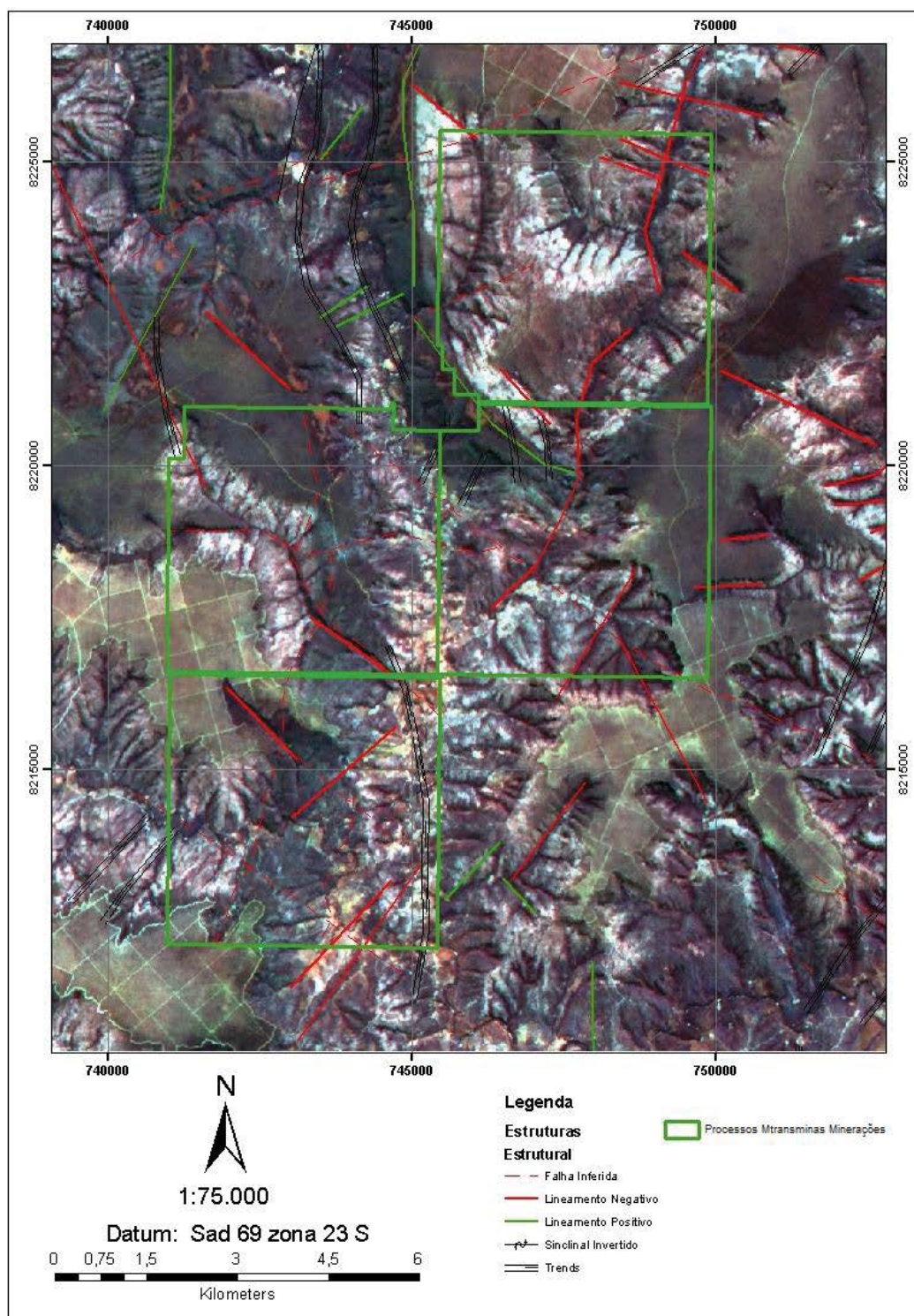


Figura 8.2.1_1 – Imagem do sensor *ASTER* ilustrando os principais lineamentos regionais

Fonte: Elaborada pelo autor

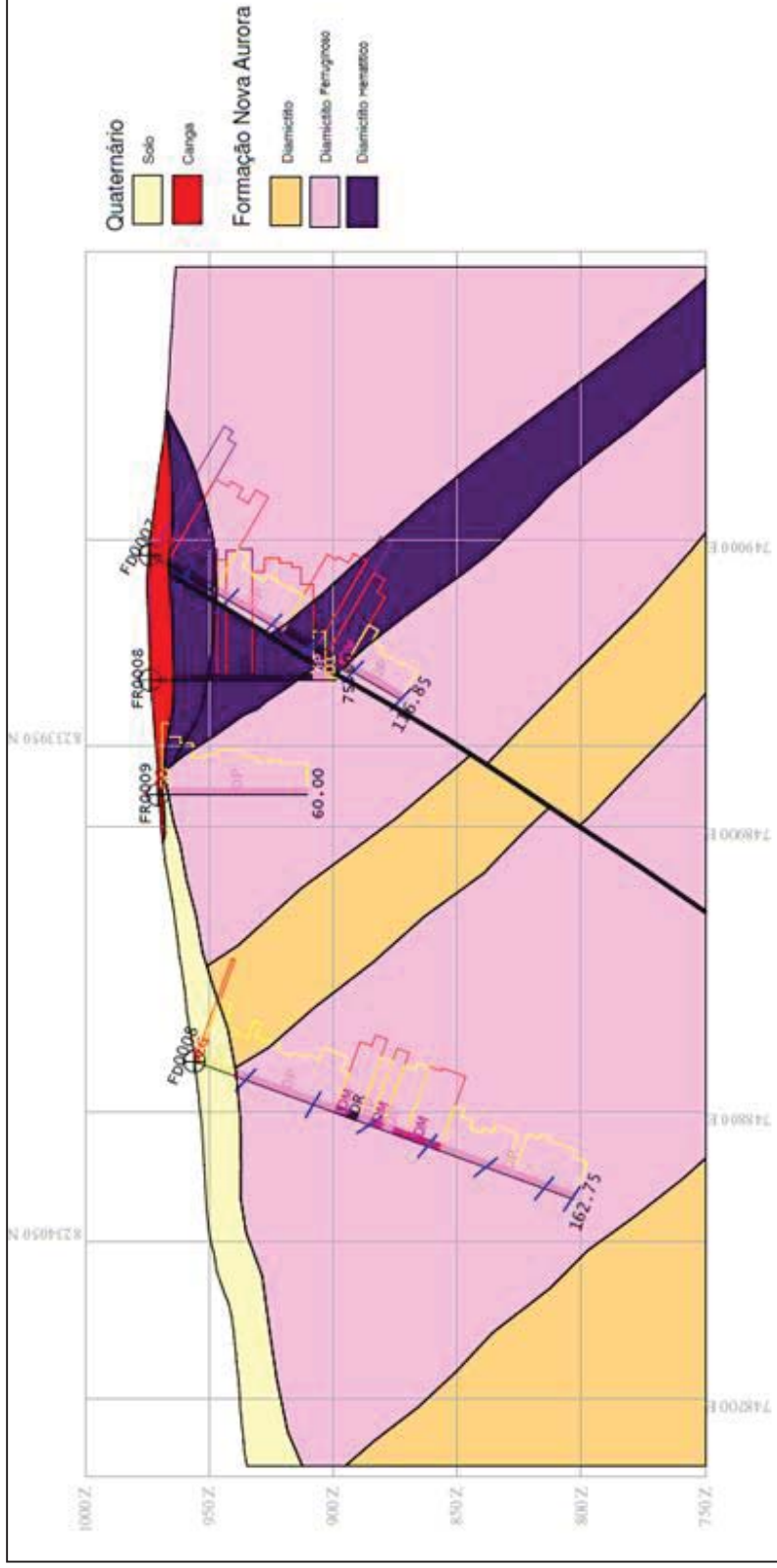


Figura 8.2.1_2 – Seção de sondagem mostrando o deslocamento das camadas, tendo como guia o horizonte mineralizado em ferro, que mostra um deslocamento de aproximadamente 20 metros paralelo à foliação principal S₁ (direção de visada N30)

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 8.2.1_3 – Intervalos brechados, fraturados e com especularita friável descritos no furo FD007, primeiro furo a leste na seção da figura 9.2_2

Fonte: Elaborada pelo autor

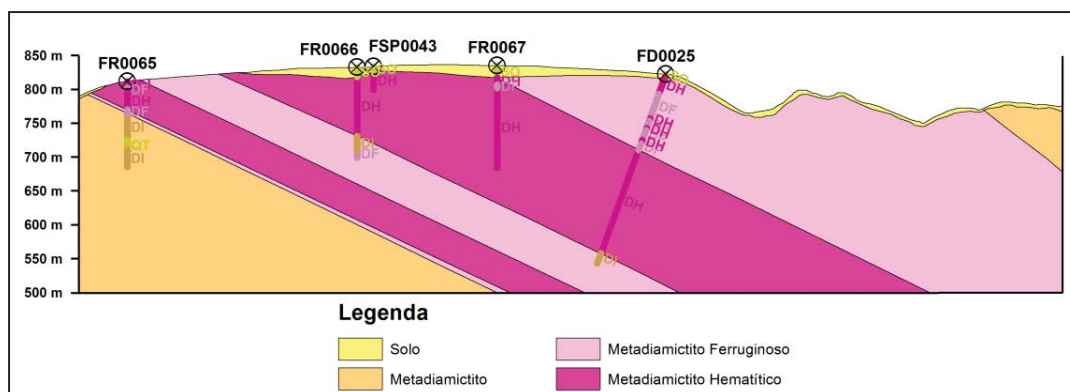


Figura 8.2.1_4 – Seção de sondagem na região sul da Formação Nova Aurora, nas proximidades do Rio Peixe Bravo, o contato oeste é marcado pela presença de uma falha (Direção de visada N30)

Fonte: Elaborada pelo autor

8.2.2 Estruturas Mesoscópicas

A principal estrutura mapeada em escala de afloramento na área de ocorrência das formações ferríferas do Membro Riacho Poções é a foliação S_1 , que foi gerada pelo evento de fechamento da bacia *rift* Macaúbas, sendo essa a principal fase de deformação, responsável pela orientação das principais estruturas e pelo controle das mineralizações ferríferas. Em litologias mais competentes, foram geradas dobras cujos flancos são paralelos ou levemente oblíquos à foliação S_1 (Figura 8.2.2_1).

Na região próxima à vila de Nova Aurora, as rochas estão estruturadas de acordo com o *trend* regional que possui direção aproximada N30E com mergulhos variando de 30 a 70 graus, como pode ser visto no diagrama polar da Figura 8.2.2_2. Essa fase principal de estruturação foi chamada de S_1 por estar paralela ao bandamento/acamamento original da rocha no caso dos BIF, filitos e quartzitos, podendo-se considerar, nesse caso, que S_0 é paralelo a S_1 . Nessas situações, é percebido em campo um encurtamento da espessura da camada acompanhada de um enriquecimento em ferro, possível resultado de um maior esforço que provocou o paralelismo das foliações e o rompimento dos flancos das dobras, resultando na remobilização do minério, responsável pelo enriquecimento no grau de ferro observado na sondagem e em campo durante o mapeamento geológico.

A direção preferencial, calculada estatisticamente, resultou em uma atitude $\pm N17E/38SE$ para S_1 , mas há inflexões para E, NE e SE, ocorrendo principalmente na região centro sul da área de estudo, sendo possível observar essas variações também na imagem ASTER da figura 8.2.2_3 e no diagrama polar da figura 8.2.2_4. As mudanças de direção não são bem marcadas no diagrama polar devido às poucas medidas existentes nas regiões de platô, decorrentes da grande quantidade de cobertura existente.



Figura 8.2.2_1 - Foliação S_1 dobrada (Direção da foto N20), vista em um afloramento de metadiamic tite

Fonte: Elaborada pelo autor

Nas margens do Rio Peixe Bravo, as atitudes de S_1 exibem inflexões cujos mergulhos apontam para E no centro da área, e algumas medidas chegam a ter mergulhos para direção NE no norte da área, enquanto na porção sul do platô as atitudes indicam mergulhos SE. As atitudes coletadas sobre o metadiamic tite e quartzito, a oeste das formações ferríferas, mostram ângulos de mergulho maiores, em relação aos medidos sobre o metadiamic tite ferruginoso. Podendo indicar que essas dobras são tardias a foliação S_1 .

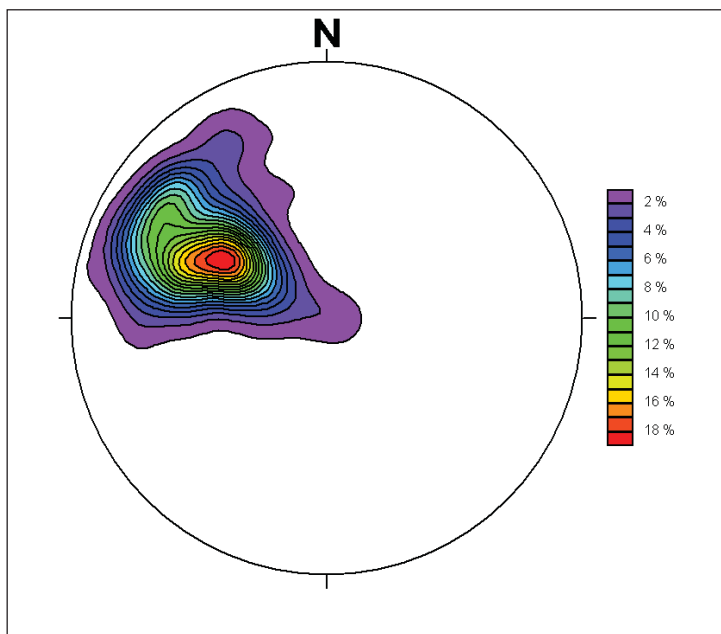


Figura 8.2.2_2 – Diagrama polar para as medidas da foliação S_1 , Região Norte da área de estudo

Fonte: Elaborada pelo autor

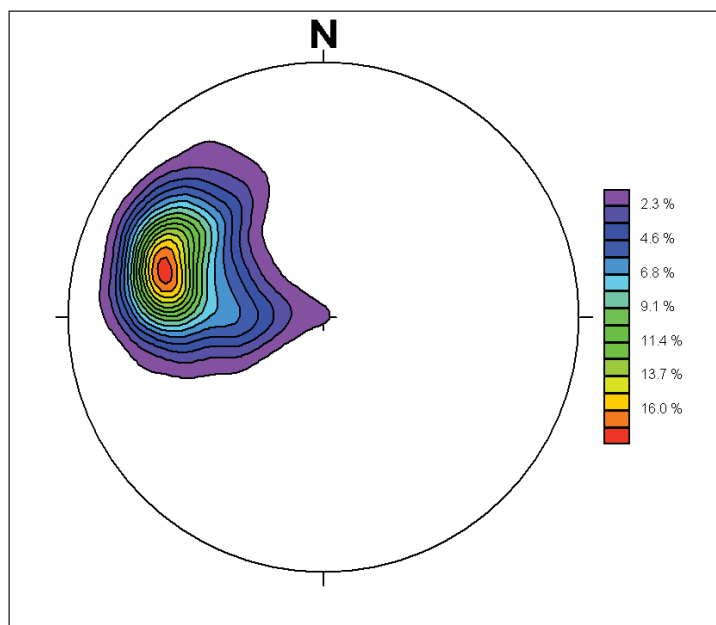


Figura 8.2.2_3 – Diagrama polar para as medidas da foliação S_1 , Região Centro Sul da área de estudo

Fonte: Elaborada pelo autor

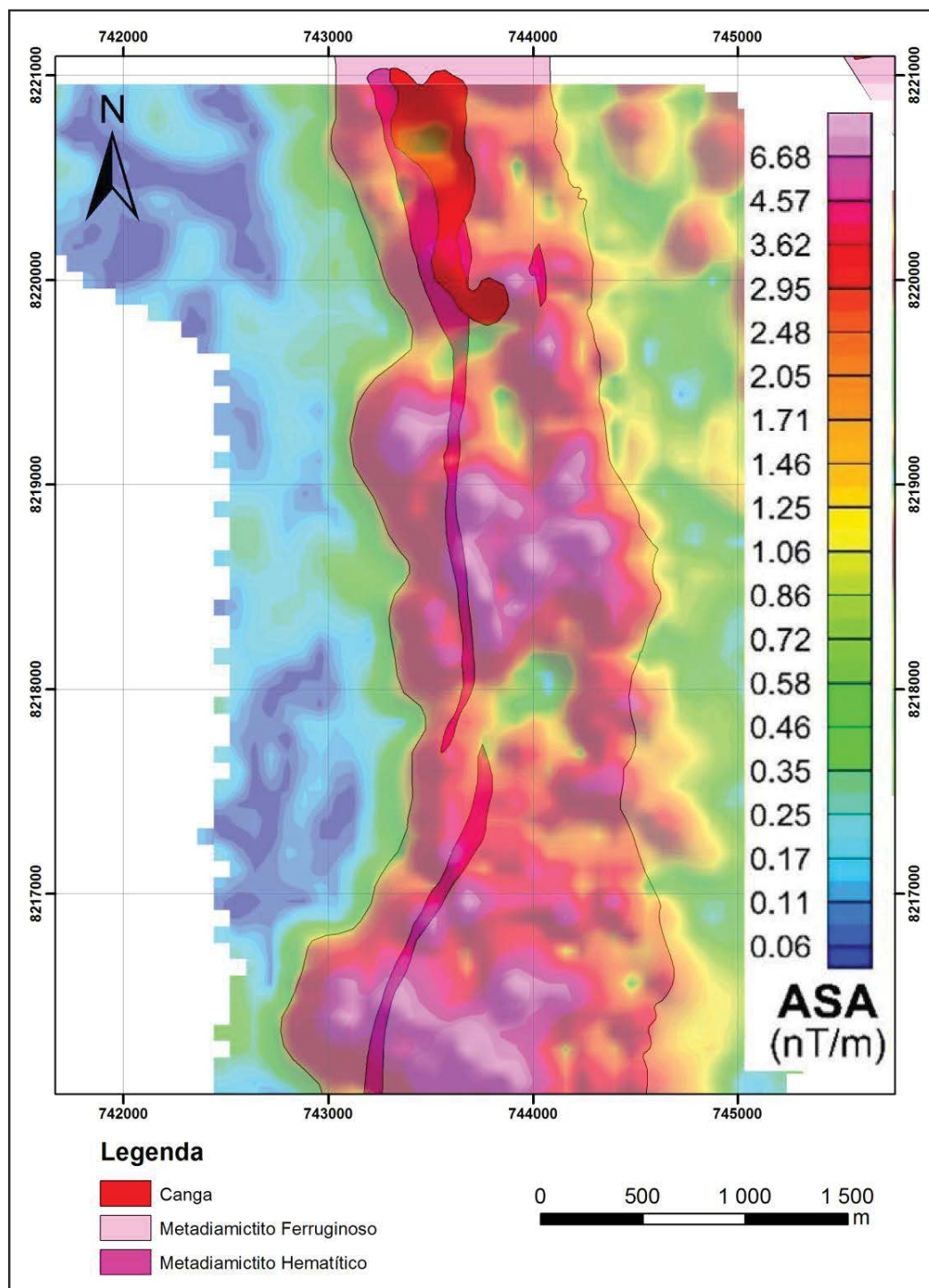


Figura 8.2.2_4 – Mapa do sinal analítico a oeste do Rio Peixe Bravo mostrando a inflexão para oeste da direção da camada na região norte do platô, adquirindo direção N-S

Fonte: Elaborada pelo autor

A foliação S_3 ocorre em uma direção perpendicular a foliação S_1 , podendo ser chamada de uma foliação plano axial marcada principalmente pela remobilização de especularita, ela foi vista em alguns testemunhos de sondagem e nas lâminas confeccionadas para o metadiamicrito hematítico cujos septos são formados pela concentração e orientação de lâminas de especularia e os micrólitos constituídos basicamente de quartzo e especularita que formam bandas dobradas na direção da foliação S_1 (figura 8.2.2_4).

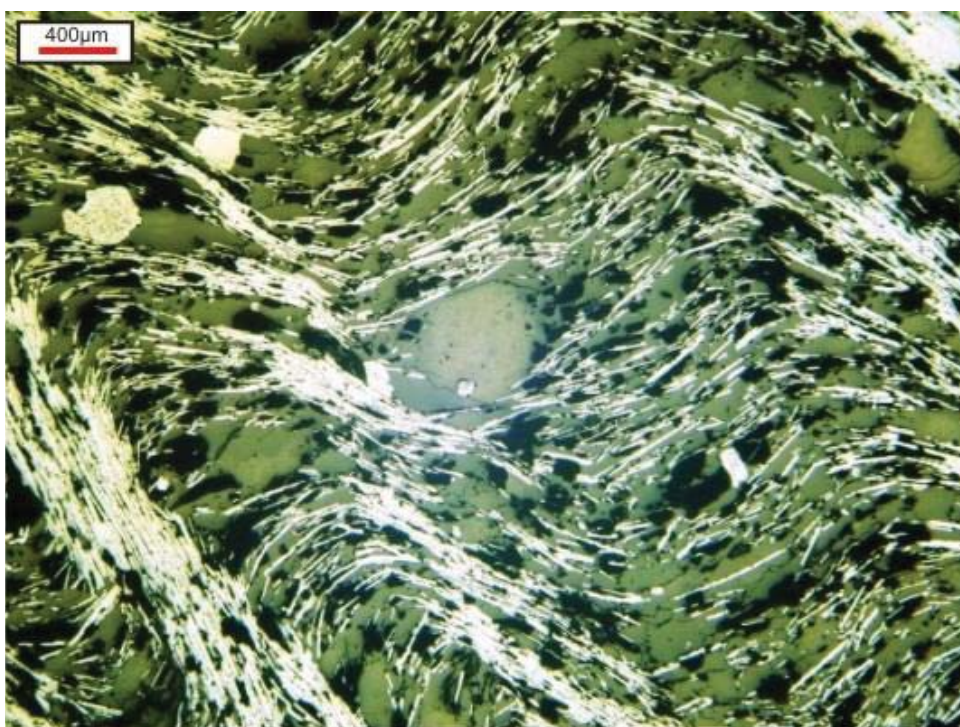


Figura 8.2.2_4 – Fotomicrografia de metadiamicrito hematítico que mostra clivagem de crenulação dada pela orientação de plaquetas de especularita. Nicóis paralelos. Luz refletida

Fonte: Elaborada pelo autor

8.2.2.1 Dobras

O filtro do sinal analítico realizou a modelagem de duas grandes dobras na região de ocorrência das formações ferríferas (Figura 8.2.2.1_1). A dobra

localizada na região norte está em uma área de platô, marcada pela escassez de afloramentos; sendo essas dobras isoclinais com direção N30E e mergulho para SE, entretanto, a dobra sul foi mapeada e descrita como uma dobra isoclinal com eixo de direção aproximada N40E com mergulho para SE. O flanco leste dessa dobra possui direção média N20E/30SE e seu flanco oeste EW/30S como pode ser visto no diagrama polar da Figura 8.2.2.1_2.

A mineralização em ferro na dobra sul também está condicionada à foliação S_1 , sendo que seu contato basal é marcado por uma zona de cisalhamento preenchida por veio de quartzo, concordante à direção de S_1 (Figura 8.2.2.1_3).

No flanco oeste da dobra sul, ocorre uma zona de transição, que é marcada por uma grande perturbação na foliação, onde são verificadas medidas para S_1 tanto de direção E-W como de direção NE. Esta zona está localizada onde se inicia a inflexão da dobra (Figura 8.2.2.1_4), não sendo verificada uma inflexão progressiva de S_1 . Tal fato indica uma sobreposição de fases nessa região.

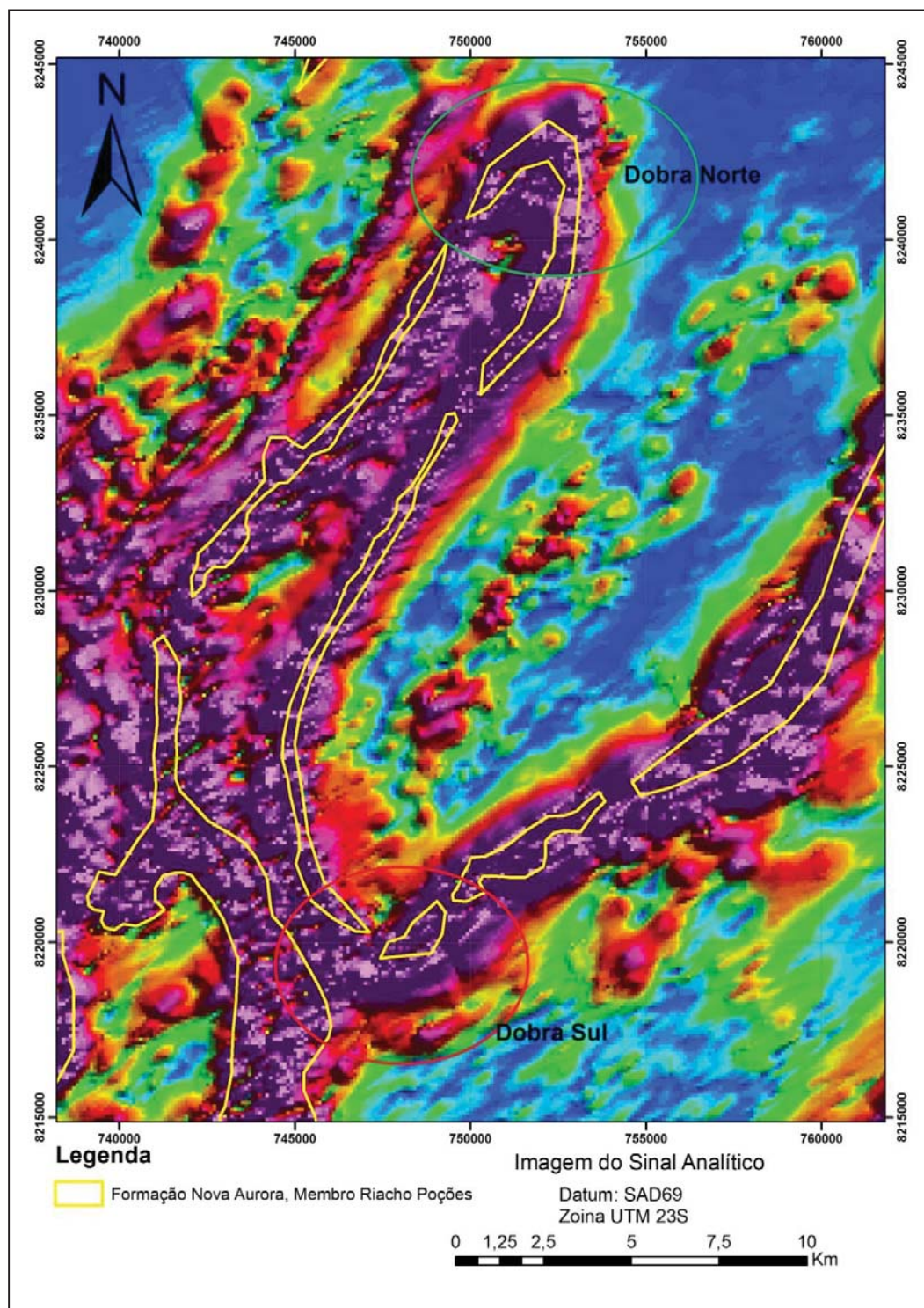


Figura 8.2.2.1_1 – Dobras modeladas pelo filtro do sinal analítico na região central de ocorrência do Membro Riacho Poções, Formação Nova Aurora

Fonte: Elaborada pelo autor

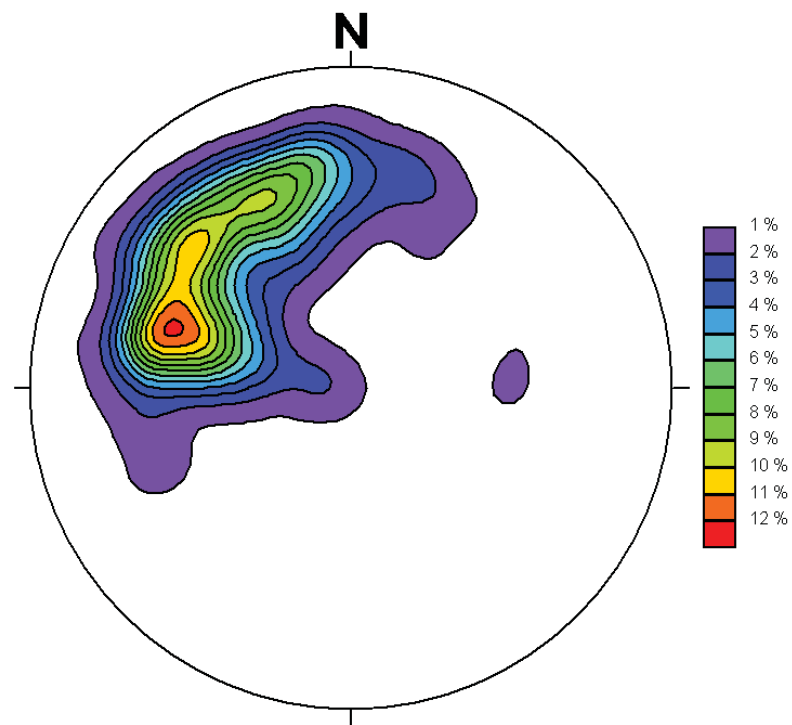


Figura 8.2.2.1_2 – Diagrama polar para as medidas de foliação S₁ (N=346), dobra sul

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 8.2.2.1_3 – Testemunho de sondagem mostrando o contato de base da formação ferrífera (metadiamicrito ferruginoso) com o metadiamicrito. Detalhe para a ocorrência de veios de quartzo amostrados em todos os furos que interceptaram o contato basal da dobra sul

Fonte: Elaborada pelo autor

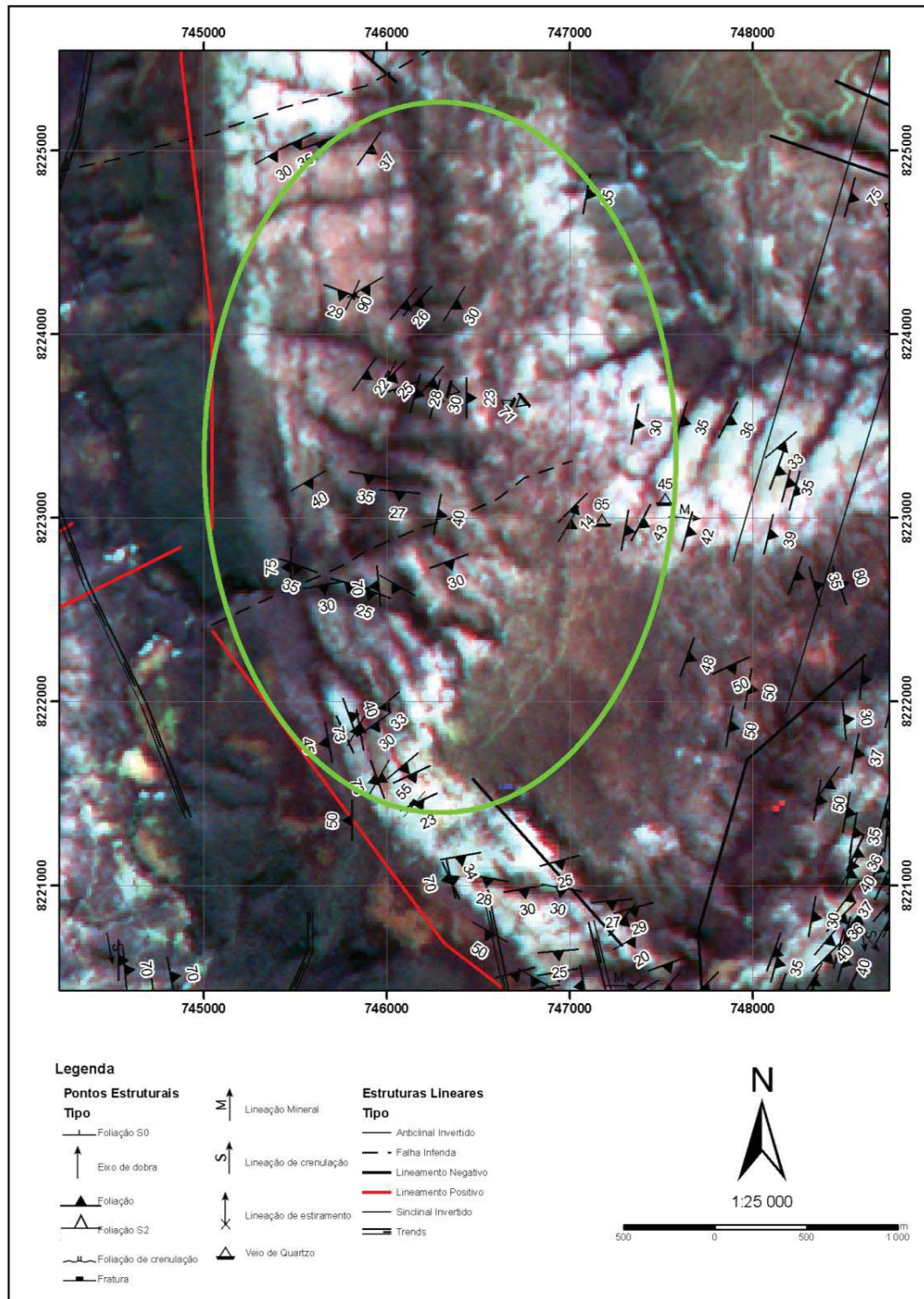


Figura 8.2.2.1_4 – Foliações medidas na região de junção da dobra com a serra de direção NE-SE com mergulho para SE a norte, com destaque para a mudança de direção das foliações ao sul da fratura em que ocorre o ponto de inflexão das serras

Fonte: Elaborada pelo autor

8.2.2.2 Clivagem de Crenulação

A clivagem de crenulação (S_3) é penetrativa na formação Nova Aurora e desenvolveu-se na fase final de deformação. Predominam as atitudes médias, obtidas por análise estatística, demonstram estruturas $\pm N04W/46SW$, mas ocorrem outras direções opostas e oblíquas, como resposta direta ao desenvolvimento de uma fase rúptil. O espaçamento entre os planos de S_3 apresentam distâncias milimétricas em lâmina e por vezes perceptível em escala centimétrica nos testemunhos de sondagem.

A foliação S_2 é facilmente observada em passagens ferríferas à metapelíticas, onde a competência em absorver as tensões gerou microdobras, cujos planos axiais definem a clivagem. Nos quartzitos e metadiamicititos, a estruturação S_3 é mais nítida e como a resposta magnética é muito baixa as atitudes medidas são mais confiáveis.

8.2.2.3 Fraturas

O padrão de fraturamento obedece, grosso modo, a duas direções preferenciais, uma com direção NE e outra com direção NW, que cortam todos os litotipos e estão associadas à fase rúptil da bacia. Muitas das direções de fraturamento foram preenchidas por fluídos, e, assim, hospedaram os veios de quartzo.

O diagrama de rosetas mostra melhor a distribuição dos planos, na direção NE (Figura 8.2.2.3_1).

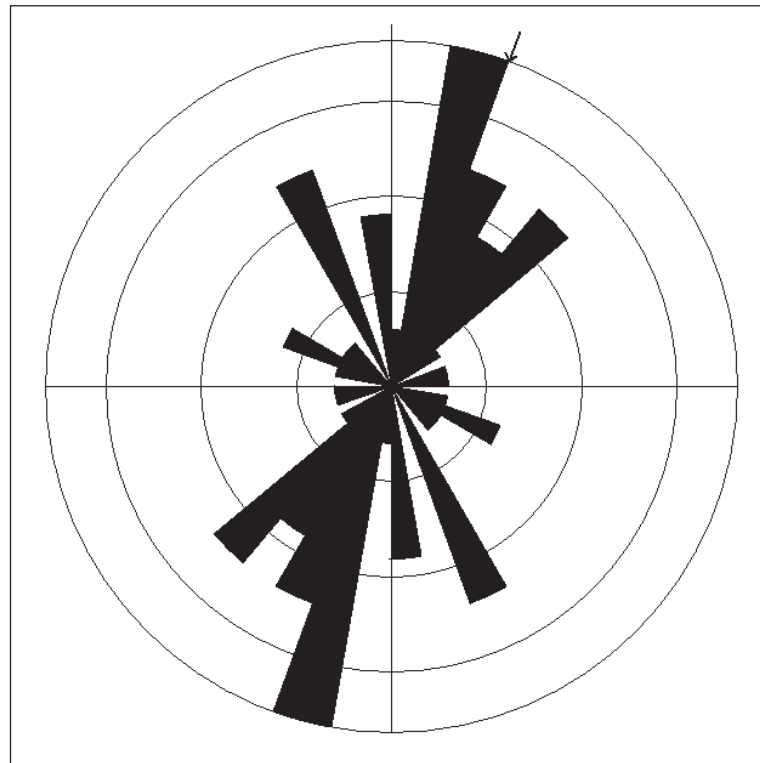


Figura 8.2.2.3_1 – Diagrama de rosetas para as medidas de fraturamento tomadas em campo

Fonte: Elaborada pelo autor

8.3 Formação Catutiba

A Formação Catutiba ocorre ao longo de um *trend* de direção NNE-SSW com cerca de 80 km de extensão, com mergulhos variando de 15 a 40 graus para SE. As direções de camada estão variando de N-S até N50E são comuns na área e são marcadas pelas quebras positivas dos platôs que possuem um traçado sigmoidal (Figura 8.3_1).

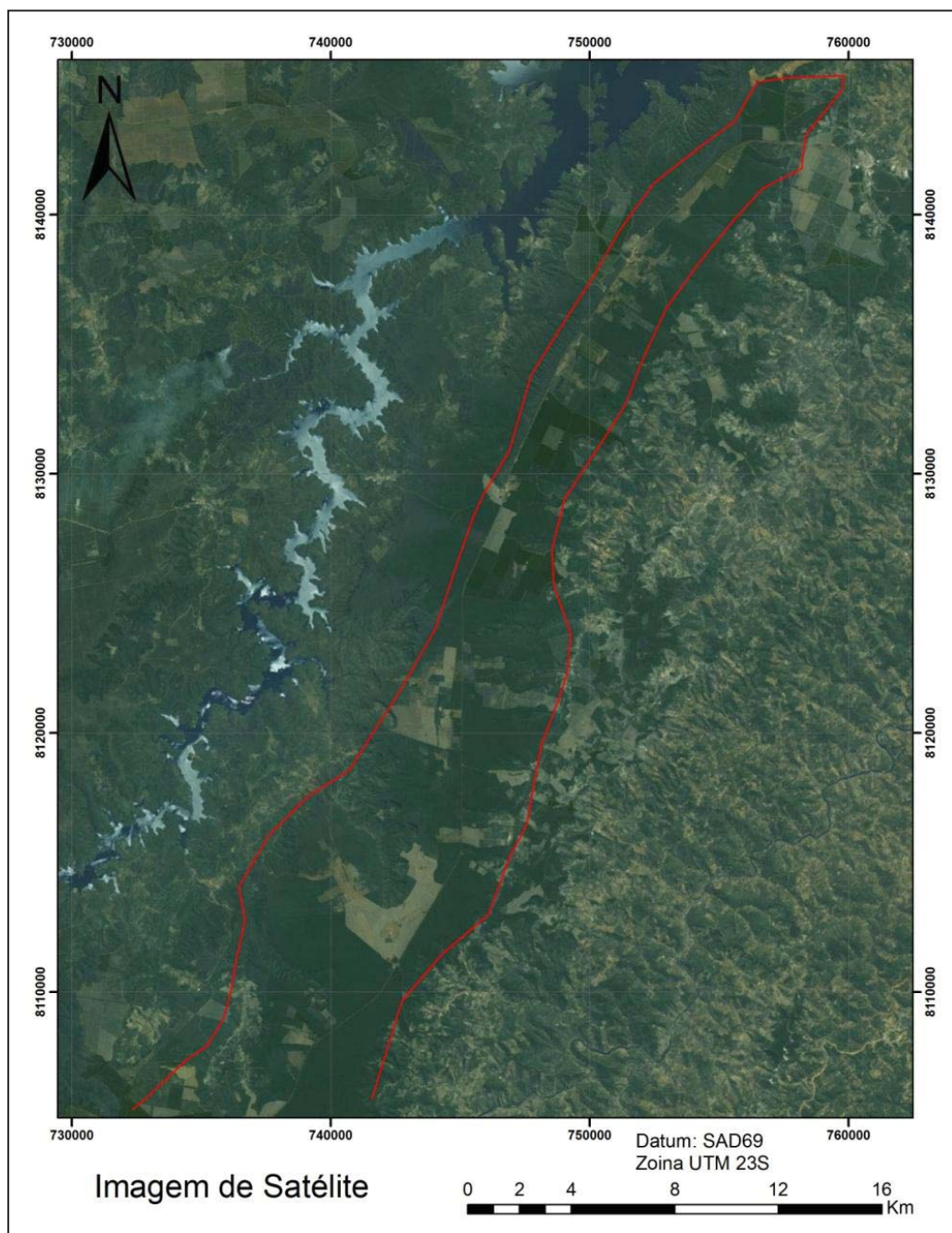


Figura 8.3_1 – Quebras positivas que marcam o limite do platô na área central de ocorrência da Formação Catutiba. Detalhe para a linha vermelha que segue a direção das quebras positivas do platô com direções variando de norte-sul para NE-SE

Fonte: Elaborada pelo autor

As descontinuidades vistas no *trend* são atribuídas às drenagens secundárias, que cortam a foliação principal na direção NW-SE, concordantes com a direção das estruturas da fase final de deformação do Grupo Macaúbas, sendo que as drenagens de primeira ordem estão associadas à direção do *trend* e são concordantes com a foliação S_1 . O padrão de fraturamento verificado na imagem de satélite é simples e constituído basicamente por duas famílias de juntas/fraturas, sendo a primeira e mais antiga de direção NE-SW, e a segunda família, com direção NW-SE, cortando o *trend* estrutural e a foliação S_1 na área de estudo.

As foliações medidas nos afloramentos em campo confirmaram a ocorrência de crenulações na rocha, sendo que os mergulhos verificados são de baixo ângulo, variando de 15 a 35 graus para Leste e Sudeste, de acordo com o mapa estrutural apresentado na figura 8.3_3 e o diagrama polar das medidas para S_1 da figura 8.3_4.

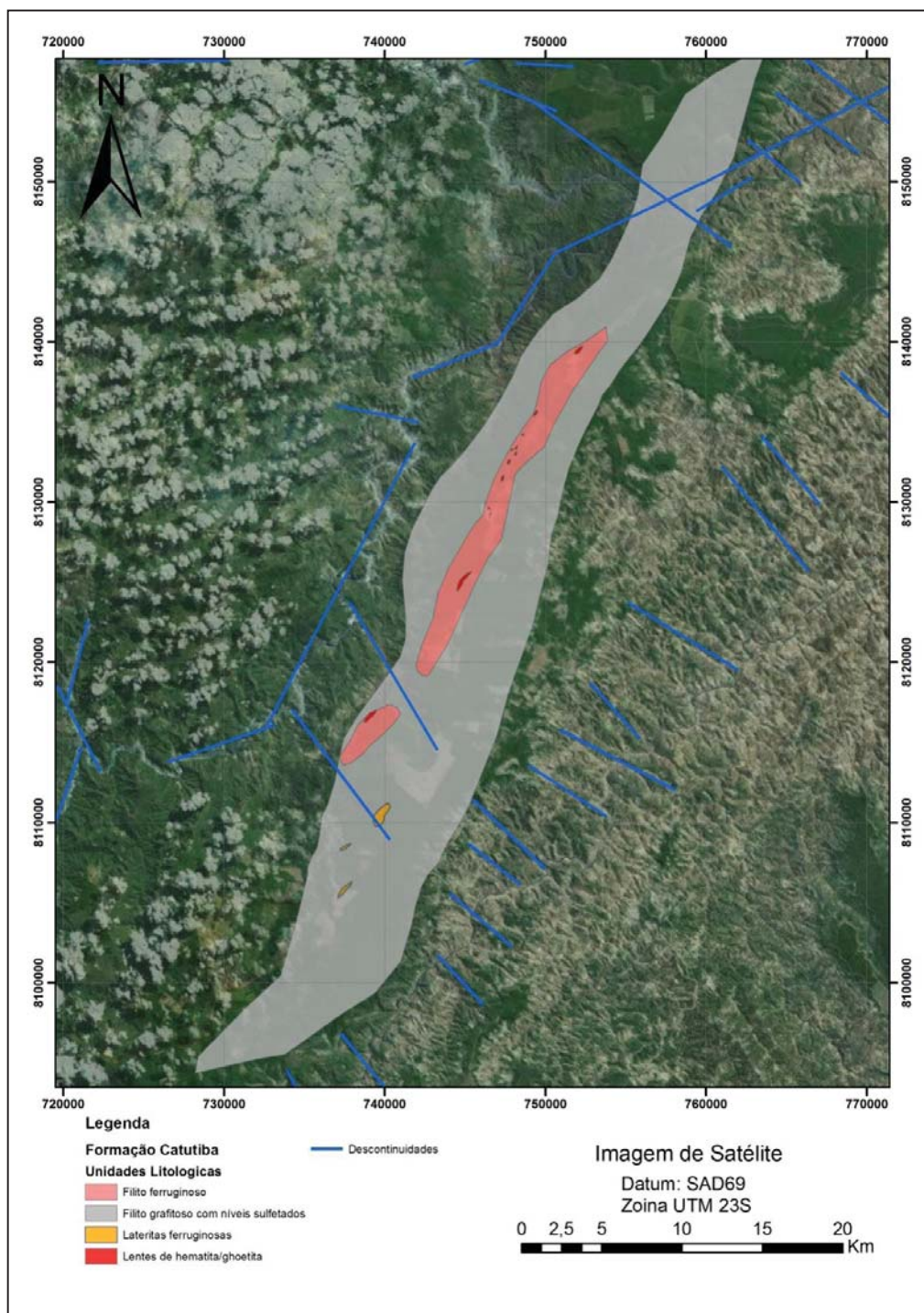


Figura 8.3_2 – Fraturas extraídas da imagem de satélite para a área de ocorrência da Formação Catutiba. Podem-se destacar duas famílias de fraturas, com direções NW-SE e NE-SW, respectivamente

Fonte: Elaborada pelo autor

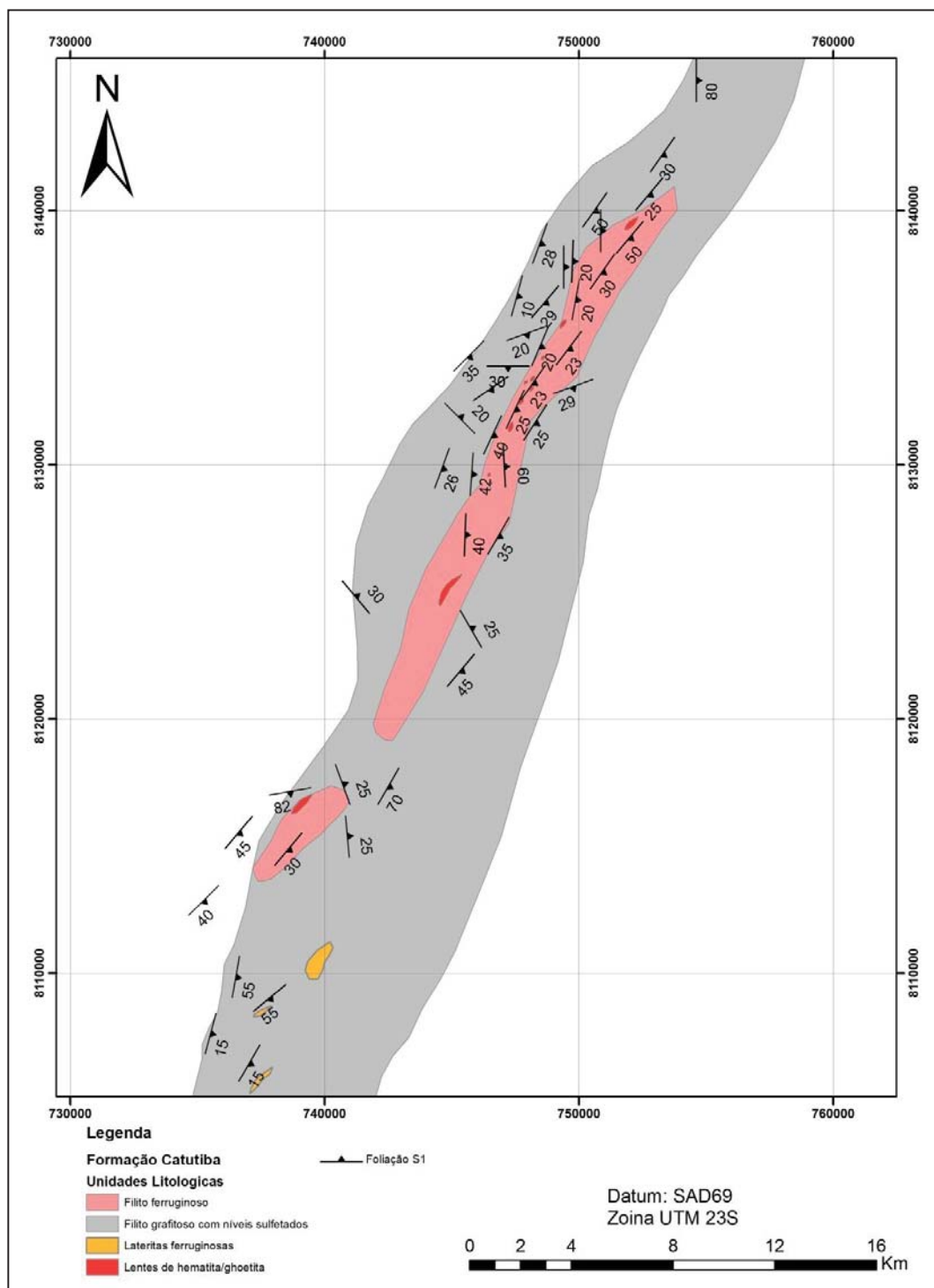


Figura 8.3_3 – Medidas estruturais realizadas em campo para a foliação S₁ na região de ocorrência da Formação Catutiba

Fonte: Elaborada pelo autor

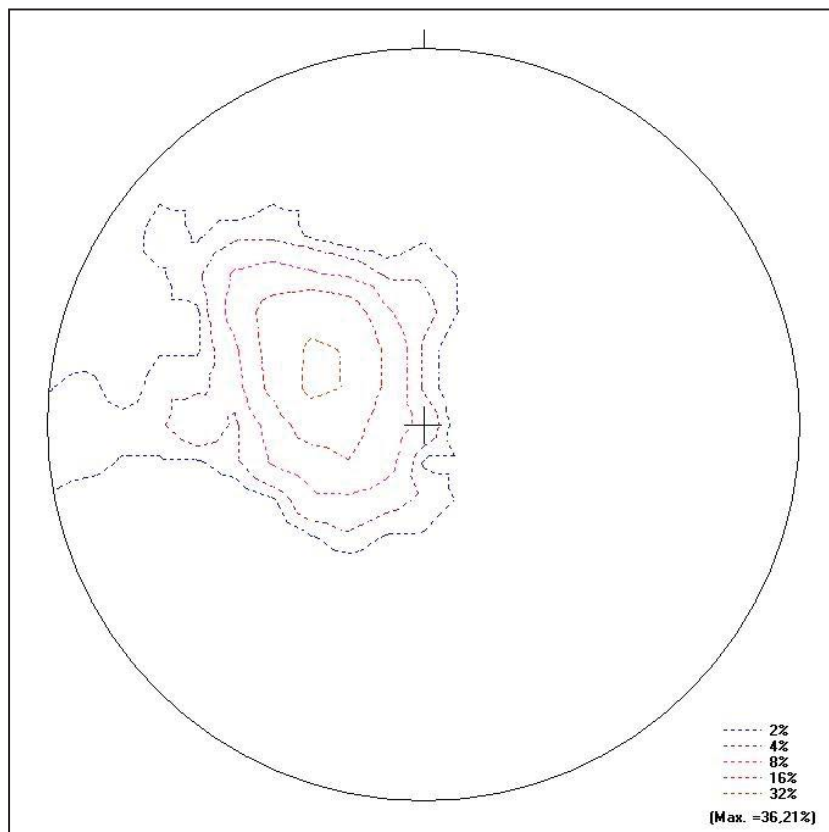


Figura 8.3_4 – Diagrama polar para as medidas de foliação S_1 para a Formação Catutiba

Fonte: Elaborada pelo autor

8.4 Formação Capelinha

Na região de ocorrência das formações ferríferas do Membro Superior da Formação Capelinha, a estruturação da área de estudo mostra um padrão nos platôs de direção Norte-Sul semelhantes à estruturação regional do Grupo Macaúbas, mas localmente a mesma é visivelmente perturbada pela ocorrência de instruções graníticas e corpos máficos, que conferem às fraturas um padrão semirradial nessas regiões, com rotação das estruturas, contornando as principais feições geomorfológicas (Figura 8.4_1).

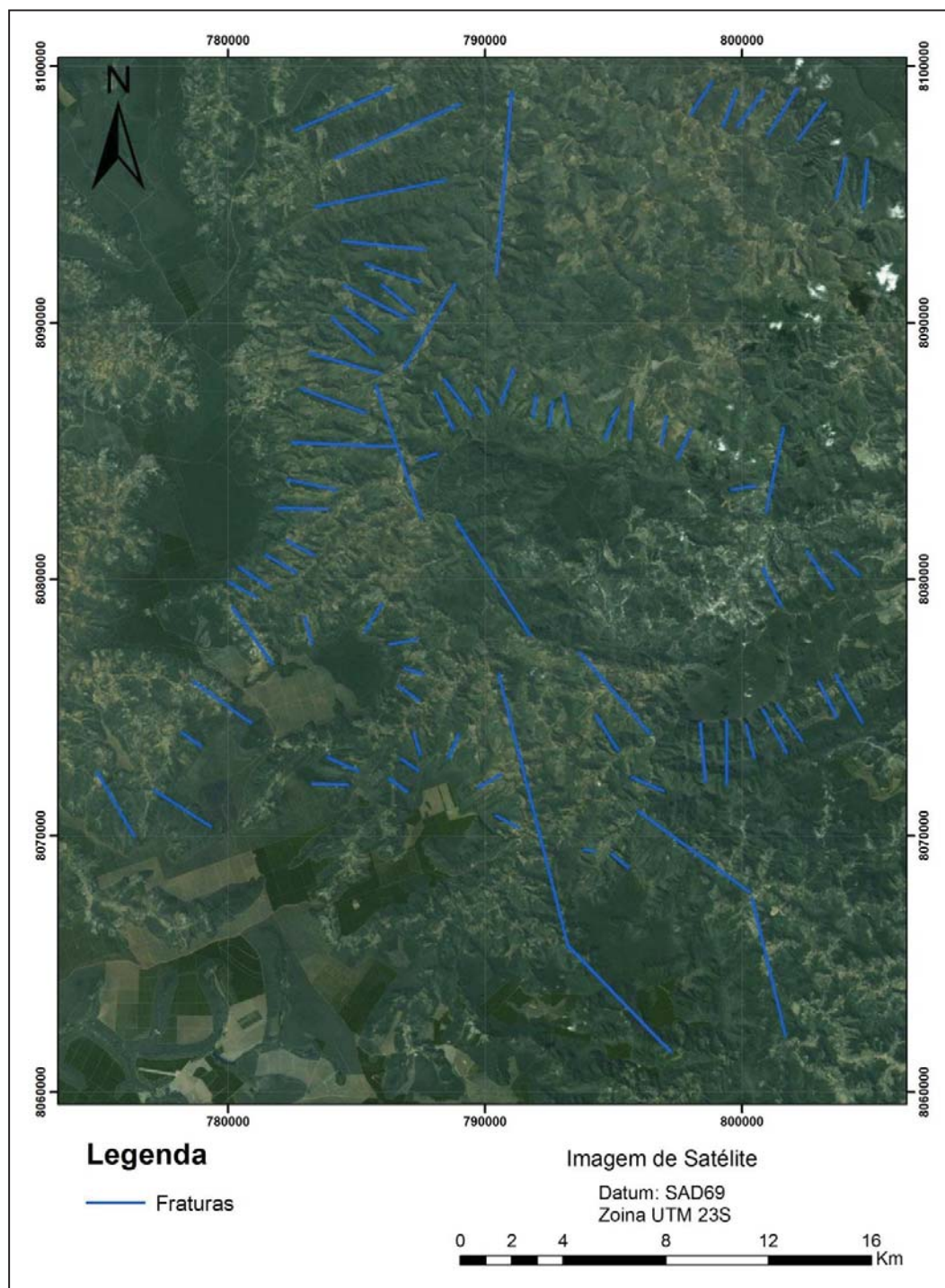


Figura 8.4_1 – Fraturas extraídas da imagem de satélite para a região de ocorrência das formações ferríferas da Formação Capelinha, Membro Superior

Fonte: Elaborada pelo autor

As medidas para a foliação S_1 realizadas em campo mostraram diferentes direções para os platôs das regiões sul e norte da área estudada, com direções NE-SW para o setor sul da área e direções variando de E-W a NW-SE no setor norte da área (Figura 8.4_2). Essas mudanças de direção na foliação S_1 podem ser atribuídas a dobras cilíndricas com eixos de direção N35E, gerando flancos com mergulhos em torno de 45° para NW e SE, respectivamente (Figura 8.4_3).

O diagrama polar elaborado para a análise da foliação S_1 mostra duas direções principais para esta foliação (Figura 8.4_3), sendo a primeira concordante ao *trend* estrutural do Grupo Macaúbas, com direção preferencial NE-SW com mergulho para SE, e a segunda com direção variando de E-W para NW-SE, com mergulhos para N e NW, respectivamente.

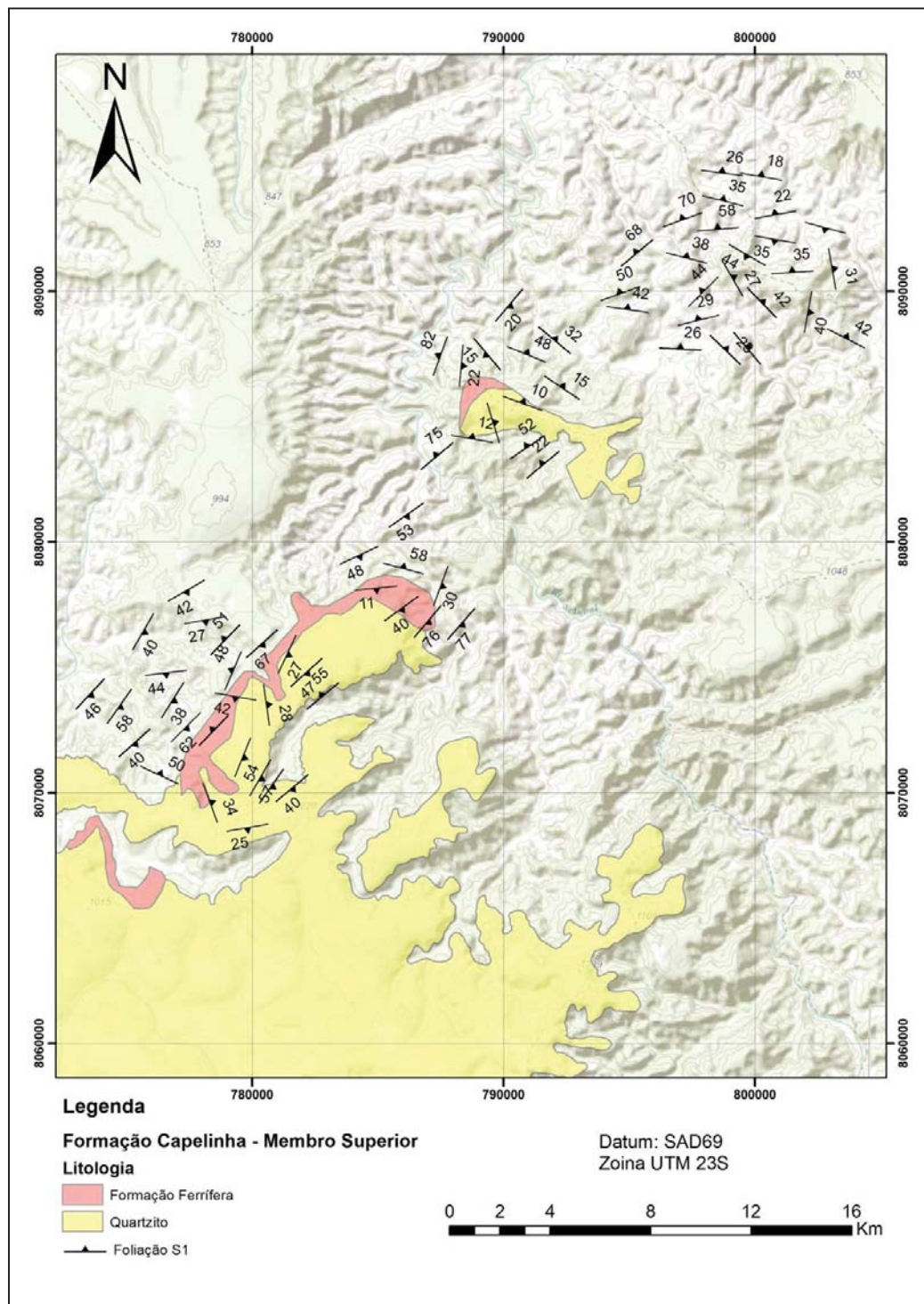


Figura 8.4_2 – Medidas estruturais realizadas em campo para a foliação S₁ na região de ocorrência das Formações Ferríferas do Membro Superior da formação Capelinha, com o modelo digital do terreno (MDT), ao fundo

Fonte: Elaborada pelo autor

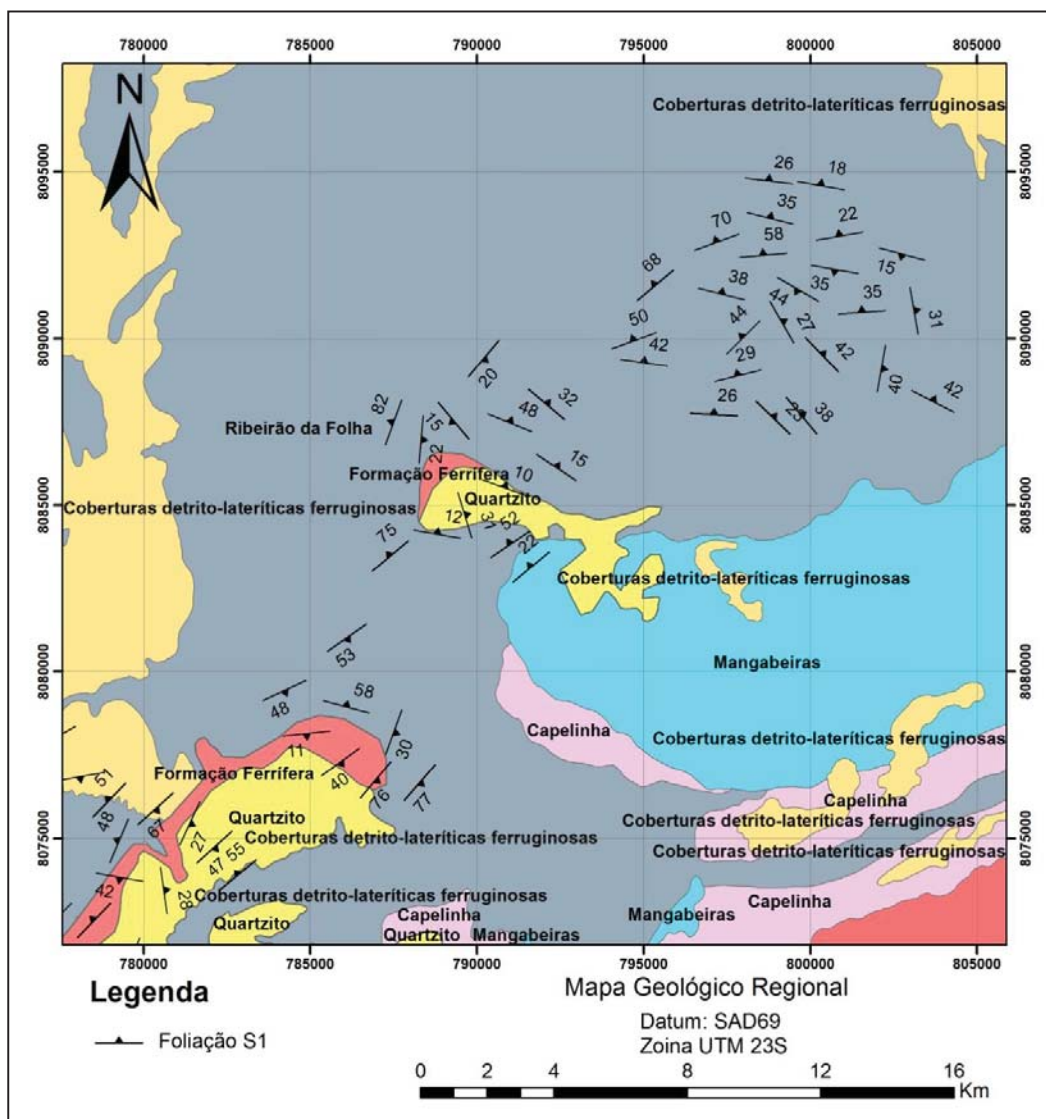


Figura 8.4_3 – Medidas estruturais realizadas na região de ocorrência das formações ferríferas mostrando a existência de dobras com eixo na direção N35E

Fonte: Elaborada pelo autor

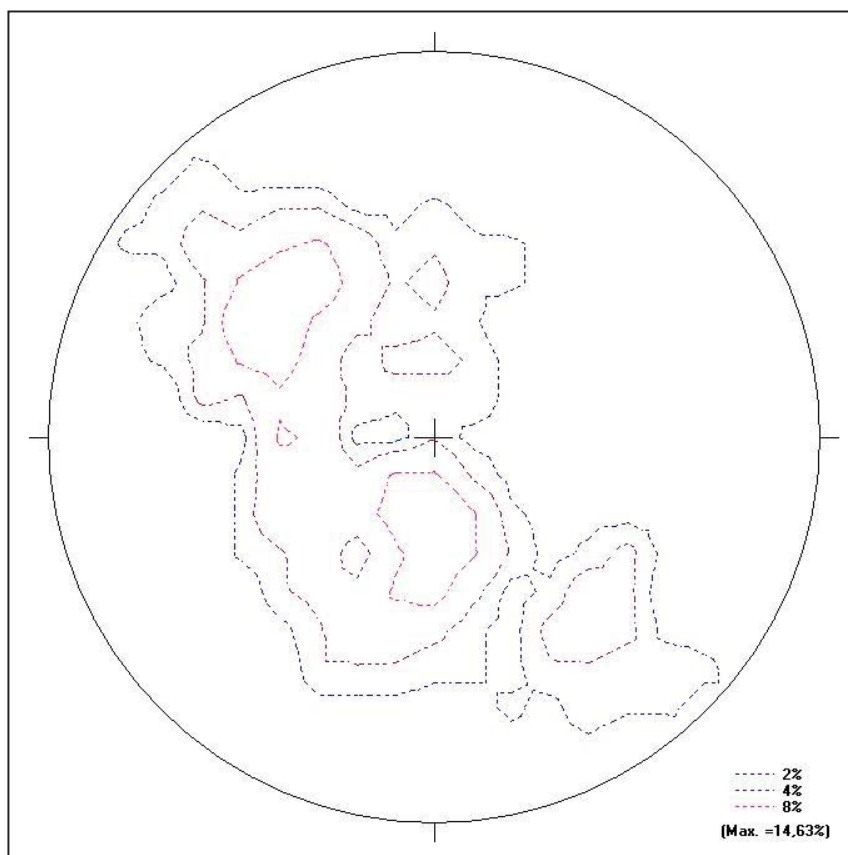


Figura 8.4_4 – Diagrama polar para as medidas de foliação S_1 para a região de ocorrência das formações ferríferas do Membro Superior da Formação Capelinha

Fonte: Elaborada pelo autor

9 Evolução e Gênese das Mineralizações

A bacia do Grupo Macaúbas está geologicamente localizada na faixa Araçuaí, definida por Almeida em 1977 que em trabalho pioneiro descreveu e a classificou como uma faixa orogênica brasileira.

Após quase 20 anos, os trabalhos de mapeamento geológico regional descobriram a existência de rochas remanescentes de litosfera oceânica neoproterozoica na Faixa Araçuaí, os ofiolitos (PEDROSA-SOARES et al. 1990, 1992), tendo como o arco magmático relacionado a essas ocorrências o batólito tonalítico Galileia (BARBOSA et al. 1964), fato este evidenciado pela primeira caracterização geoquímica e isotópica detalhada deste batólito tonalítico que evidenciou sua origem em arco magmático continental, edificado em torno de 594 Ma (NALINI 1997). Dessa maneira, segundo Pedrosa-Soares, et al. 1998, a vinculação da gênese desse arco magmático com o consumo da litosfera oceânica da Faixa Araçuaí foi, então, uma consequência inevitável.

Com base nessas descobertas, na correlação entre as faixas Araçuaí e Congo Ocidental (BRITO-NEVES & CORDANI 1991, TROMPETTE 1994) e na relação cronoespacial dos conceitos de orógeno e cráton, definiu-se o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. O Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental engloba, no Brasil, a Faixa de Dobramentos Araçuaí (ALMEIDA et al., 1977) e o setor dominado por rochas graníticas e de alto grau metamórfico que se estende até o litoral Atlântico (Figura 9_1). Em decorrência da abertura do Atlântico Sul, no Cretáceo, a contraparte Araçuaí herdou dois terços do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, ficando com unidades do *rift* continental, a margem passiva ocidental com restos ofiolíticos, a zona de sutura, o arco magmático e bacias relacionadas, e todo o conjunto magmático sin- a pós-colisional (PEDROSA-SOARES et al. 2008).

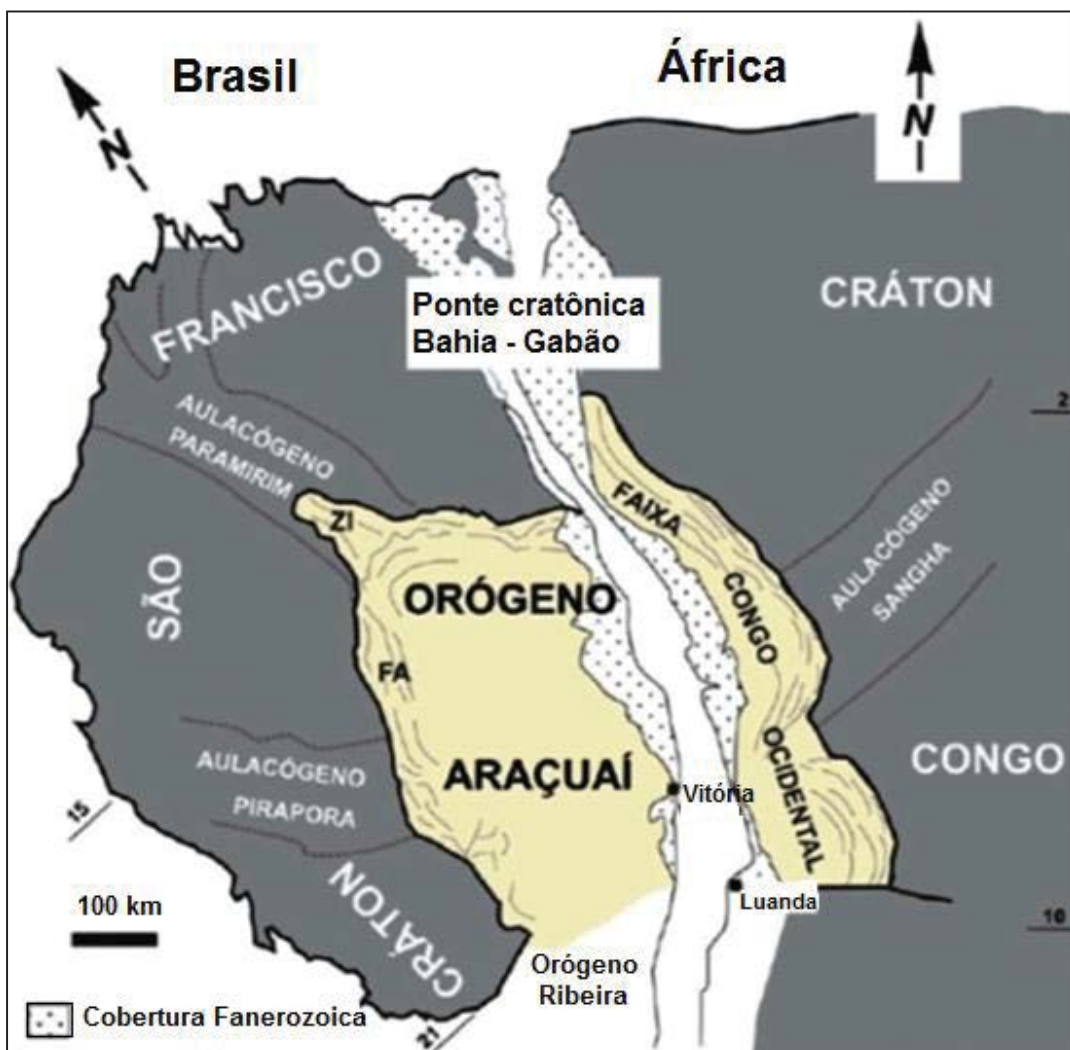


Figura 9_1 - O Orógeno Araçuaí na região central do Paleocontinente Gondwana (modificado de ALKMIM et al., 2006). FA = traços estruturais da Faixa de Dobramentos Araçuaí (Almeida, 1977). ZI = zona de interferência do Orógeno Araçuaí com o Aulacógeno Paramirim

A bacia depositada nesse *rift* continental oriundo do evento de separação do Cráton São Francisco – Congo é representada pelos sedimentos do Grupo Macaúbas, que é constituído por unidades proximais (depósitos sedimentares e vulcânicos) que contêm pacotes de rochas glaciogênicas (metadiamicctitos). Essas unidades representam a evolução da bacia desde sua fase *rift*, marcada por sequências pré-glaciais e glaciais, até a fase transicional evidenciada por

sequências glácio-marinhas (NOCE E.G. et al.,1997; PEDROSA-SOARES & WIEDEMANN-LEONARDOS, 2000).

Os dados levantados em campo ao longo da bacia mostram que a entrada do oceano ocorreu no setor SE da bacia, com direção de progradação aproximada NW, fato esse evidenciado pelos depósitos encontrados que são representados por quartzitos e depósitos fluvio deltaicos (Formação Duas Barras) a metadiamicititos retrabalhados em zonas de talude na porção norte da bacia, migrando para termos pelíticos (distais) na porção sul, representados pela formação Ribeirão da Folha, que é coberta pelos quartzitos da formação Capelinha, um dos últimos eventos deposicionais.

Alongadas na direção NNE-SSW, as exposições rochosas vistas em campo refletem o arcabouço estrutural da região, caracterizadas pela interferência de duas famílias de estruturas tectônicas. A mais antiga é representada pela foliação S_1 , paralela a S_0 e por zonas de cisalhamento dúcteis, ambas associadas à direção de transporte da matéria para NW a WNW, com direção aproximada N65W, gerada por esforços compressivos, oriundos do fechamento do *rift*.

A deformação gerada por esse fechamento orientou a foliação S_1 com uma direção média N20E, com mergulhos variando de 25 a 70 graus para SE, sendo que essa variação dos ângulos de mergulho pode ser explicada pela diferença de competência das camadas, dobras tardias e implantação de zonas de cisalhamento direcionais. Ângulos mais baixos de mergulho foram verificados nas ocorrências de filitos e metadiamicititos, associados a zonas de empurrão que causaram cisalhamentos paralelos a S_1 , preenchidos normalmente por veios de quartzo, sendo que os ângulos mais altos foram verificados em zonas associadas a camadas mais ricas em ferro, na porção central de ocorrência do Membro Riacho Poções, indicando uma deformação mais dúctil nessa região, possivelmente, por natureza compressiva.

Faturas, juntas e falhas transcorrentes de direção NW-SE foram mapeadas ao longo da bacia, bem como crenulações da foliação S_1 , no setor sudeste, na

região de deposição das formações Catutiba e Capelinha, apontado para uma última fase de deformação, de direção NW-SE, de mesma direção da foliação principal, S_1 . Essa fase final de deformação gerou falhamentos, fraturas e zonas de cisalhamento preenchidas por veios de quartzo perpendiculares a S_1 e crenulações neste plano, verificadas na porção SE da bacia, que evidenciam essa fase de deformação tarditectônica.

As mineralizações ferríferas estudadas neste trabalho possuem caráter distinto e mudam suas características de sul para norte de acordo com a deposição da bacia, sendo que suas primeiras deposições conhecidas estão localizadas no setor centro-norte e são representadas pelas formações Nova Aurora e Catutiba. As formações ferríferas vistas na Formação Capelinha se depositaram, supostamente, durante a regressão do mar, na transição do ambiente marinho para o costeiro, sendo representadas pela intercalação de quartzito ferruginoso com níveis de BIFs. No entanto, a interpretação das formações ferríferas mostrou que a deposição do ferro ficou restrita ao setor leste da bacia, indicando que o Supergrupo Espinhaço pode ter sido uma barreira física para a migração do mar e conseqüentemente dos fluídos ricos em ferro, considerando que o mesmo constitui o embasamento da Bacia Macaúbas (Figura 9_2).

Diante dessa restrição da deposição do ferro, é possível realizar as seguintes proposições:

- A entrada do oceano se deu na porção sul da bacia, com direção de NW-SE, tanto a leste como a oeste do Supergrupo Espinhaço;
- O diamictito se depositou na porção centro-norte da bacia, tanto na região leste como a oeste, evidenciando que as condições ambientais eram parecidas regionalmente na bacia, tendo como representantes dessa deposição as formações Serra do Catuni e Nova Aurora;
- Essa restrição do ferro a leste do Supergrupo Espinhaço pode ser um indicio do soerguimento do mesmo, que segundo Schobbenhaus (1996), foi marcada pelo arqueamento crustal, seguido de

levantamento e erosão parcial da cadeia, entre 900 - 1000 Ma.

Com base no histórico de evolução da bacia, distribuição e características das formações ferríferas depositadas, serão discutidos a seguir os aspectos relacionados a cada unidade estudada.

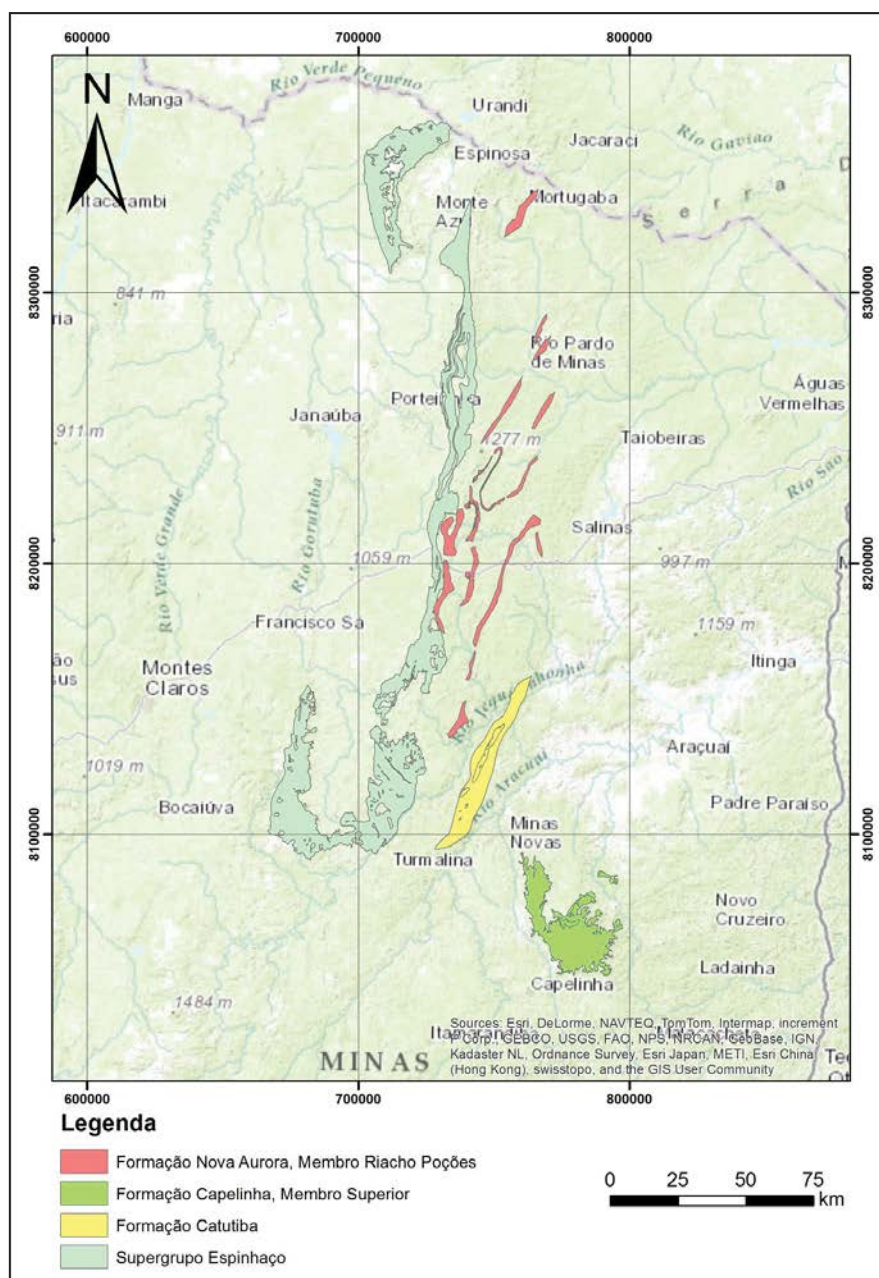


Figura 9_2 – Formações ferríferas do Grupo Macaúbas. Detalhe para a ocorrência dessas unidades a leste do Supergrupo Espinhaço

Fonte: Elaborada pelo autor

9.1 Formação Nova Aurora – Membro Riacho Poções

As rochas hospedeiras da mineralização em ferro são de composição siliciclásticas e possuem mineralogia simples, compostas basicamente por quartzo, sericita, magnetita e hematita, apresentando seixos estirados de diversos tipos rochosos, indicando que houve o transporte de material para dentro da bacia por quilômetros de distância. As formações ferríferas mapeadas ocorrem misturadas à matriz do metadiamicitito, sendo basicamente a única diferença entre os tipos ferríferos o teor de ferro na matriz. Formações ferríferas bandadas não ocorrem no membro Riacho Poções com expressão, tratando-se de pequenas lentes. O teor de ferro deste metadiamicitito varia de 20 a 30% que somados a sua mineralogia simples, idade da bacia fazem o depósito do membro Riacho Poções se assemelhar com os depósitos classificados como do tipo Rapitan descritos no Canadá e Austrália.

A pequena ocorrência de formações ferríferas bandadas assemelha esta deposição com os depósitos Rapitan descritos no Canadá, onde na porção central da bacia existem ocorrências de formações ferríferas bandadas de alto teor e nas proximidades do talude da bacia ocorrem formações ferríferas turbidíticas, onde o ferro está misturado na matriz do diamicitito. Tal fato sugere que as formações ferríferas da Formação Nova Aurora se depositaram em um ambiente sedimentar marinho plataformal profundo na transição com o talude, sofrendo retrabalhamento por correntes de turbidez e/ou pelo deslocamento das geleiras do talude. Durante a deposição e possivelmente também após, ocorreu a precipitação de material ferruginoso (hidróxidos e/ou óxidos de ferro) nos interstícios do material em compactação, em função de circulação de água rica em ferro. Tal deposição pode ter ocorrido nos ciclos de inverno e verão, sendo que, durante o inverno, ocorre a formação desses fluídos enriquecidos em ferro sob as geleiras (*snowball earth*, KIRSCHVINK, 1992) e os mesmos se depositam na forma de óxidos no período interglacial, quando há entrada de oxigênio no sistema, transformando o Fe^{2+} em Fe^{3+} . A provável presença de fragmentos de fosforita e os seixos de carbonato não permitem descartar que a mineralização tenha sua origem na surgência de correntes marinhas profundas, frias, ricas em ferro, sendo este oriundo de

processos exalativos em fundo oceânico, espelitização ou mesmo alteração química de rochas basálticas por águas ácidas das correntes marinhas profundas e frias. Neste contexto, o clima não necessitaria ser tão frio.

Diferentes ciclos sedimentares podem ser observados dentro do pacote que constitui o metadiamicrito ferruginoso. Esses ciclos são representados por variações na quantidade de filossilicatos, de grãos de quartzo e clastos. Em nenhum desses ciclos observam-se superfícies erosivas ou qualquer indício de haver exposição da rocha em superfície. A variação granulométrica sugere um ambiente que estava em constante progradação e retrogradação, representando porções distais nas quais predominam frações finas e clastos pequenos, sucedidas por sucessivas porções onde predominam clastos grandes e frações arenosas. A presença de carbonatos sugere transporte proximal dos clastos, que posteriormente foram carregados por geleiras.

A distribuição estratigráfica do Membro Riacho Poções se dá atualmente em 3 camadas principais, sendo que, na região central da Formação Nova Aurora, afloram as principais ocorrências dos metadiamicritos hematíticos. Essas ocorrências são restritas e caracterizadas por possuírem maiores teores em ferro, ângulos de mergulhos mais altos e menor espessura (Figura 9.1_1). A sua mineralização é controlada pela foliação S_1 , como nos metadiamicritos ferruginosos, indicando que as diferenças de mergulho e espessura das camadas foram causadas pela diferença de competência dessas rochas, devido à maior concentração de ferro primário durante a deposição dessas rochas.

Conforme os pontos discutidos anteriormente, o metadiamicrito ferrífero da formação Nova Aurora é classificado com base na sua similaridade com outros depósitos típicos no mundo como de origem glacial do tipo Rapitan.

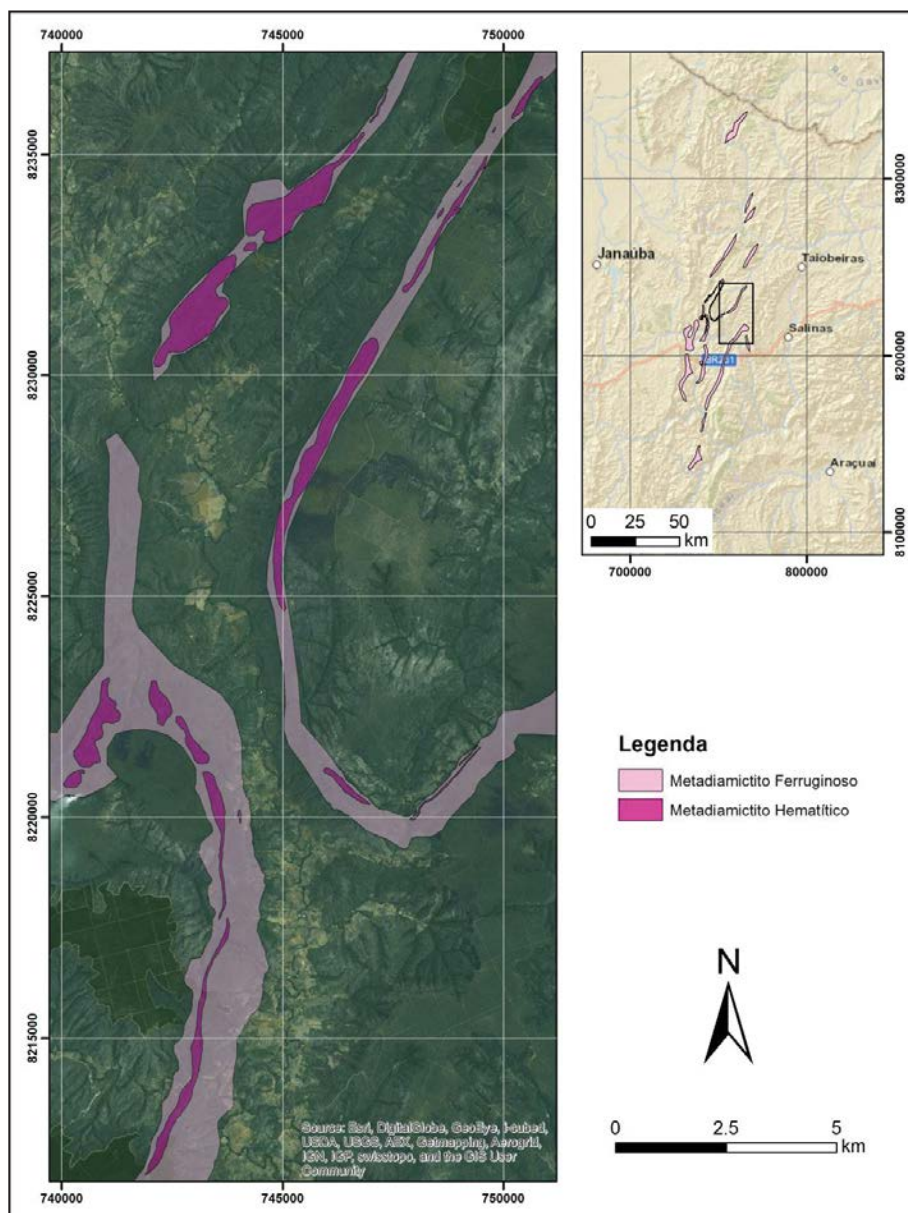


Figura 9.1_1 – Região de ocorrência dos metadiamicritos hematíticos, destacando as ocorrências da região central que possuem teores de ferro mais elevados e menor espessura da camada, indicando a ocorrência de uma deformação mais dúctil nesta região

Fonte: Elaborada pelo autor

Os diamictitos foram metamorfisados em fácies xisto-verde e deformados, porém não o suficiente para destruir totalmente a textura sedimentar, aspecto que evidencia que a deformação não foi muito intensa, excluindo os locais de concentração da deformação, e que o metamorfismo na área estudada em melhor detalhe, no geral, não atingiu o limite superior da fácies xisto verde, ou seja, a temperatura não evidencia ter atingido magnitude superior a 450°C. A deformação associada a reações metamórficas em algumas regiões aparenta ter favorecido a concentração dos óxidos de ferro da rocha por mobilização dos elementos mais móveis, em especial a sílica. Durante a deposição e possivelmente também após esse processo, ocorreu a precipitação de material ferruginoso (hidróxidos e/ou óxidos de ferro) nos interstícios do material em compactação, em função de circulação de água rica em ferro. Algumas características observadas não excluem a participação de processos hidrotermais na formação e no enriquecimento da mineralização, sejam elas primárias, sejam secundárias (tectôno – metamórficos).

Com base nos dados coletados em campo, é possível realizar as seguintes proposições a respeito das fases de mineralização:

- 1- A mineralização primária se depositou restrita a porção leste da bacia, gerando níveis de formações ferríferas com concentrações diferentes de ferro, podendo esse fato, estar relacionado à topografia da bacia que restringiu regionalmente a deposição do ferro;
- 2- A segunda fase de mineralização está relacionada aos processos tectôno-metamórficos que reorientaram a mineralização segundo a direção S_1 , gerando processos de martitização da magnetita, concentração de specularita nos septos de crenulação e de hematita em zonas de cisalhamento;
- 3- A terceira fase da mineralização é representada pela concentração supergênica através da lixiviação da silícia, promovendo a formação de um perfil laterítico nas regiões de platô, com a formação de saprólitos

enriquecidos em ferro cobertos por uma crosta ferruginosa. Esse processo é comum em rochas ferríferas e é responsável pela formação de cangas ferruginosas e hematitas friáveis na zona saprolitizada.

9.2 Formação Catutiba

A Formação Catutiba ocorre ao longo de um *trend* com direção NNE/SSW e mergulho para SE, em um platô coberto por um solo laterítico de coloração vermelha e magnetismo moderado, com a presença de cangas restritas e dispersas ao longo de sua extensão, por uma faixa de aproximadamente 20 km. A geomorfologia local desfavorece a ocorrência de afloramentos, sendo que as primeiras ocorrências ferríferas foram mapeadas na região da vila de Catutiba e são constituídas por lentes de hematita/goethita compactas de direção NE/SW, aflorantes em meio a uma unidade de filito ferruginoso.

Filito grafitoso, por sua vez, afloram com expressão nas margens do rio Jequitinhonha, sendo descritas, nas cotas mais baixas, ocorrência de filito grafitoso sulfetado com magnetita, formando níveis métricos com a presença de pirita, calcopirita e pirrotita.

Com base nos dados coletados, foram elaboradas as seguintes proposições a respeito da formação Catutiba:

- As ocorrências ferríferas mapeadas na formação Catutiba não pertencem a formação Nova Aurora, como sugerido em trabalhos anteriores;
- Sua deposição ocorreu em uma região mais profunda da bacia, em um período próximo à deposição das Rochas Ferríferas da Formação Nova Aurora;
- Os níveis sulfetados estão alinhados estruturalmente com as

ocorrências ferríferas e são constituídos essencialmente por pirita e sulfeto férrico;

- As ocorrências de hematita/goethita compacta mapeadas na porção superior do platô estão relacionadas à oxidação dos níveis sulfetados e tratam-se de pequenos *gossans* aflorantes.

A ocorrência de filito sulfetado na base com magnetita, cobertos por filitos ferruginosos, é interpretada como um perfil de alteração, onde houve a oxidação dos sulfetos na região de platô, gerando o filito ferruginoso e bolsões de hematita/goethita compacta. Na figura 9.2_1, segue a proposta de um perfil evolutivo das mineralizações da Formação Catutiba.

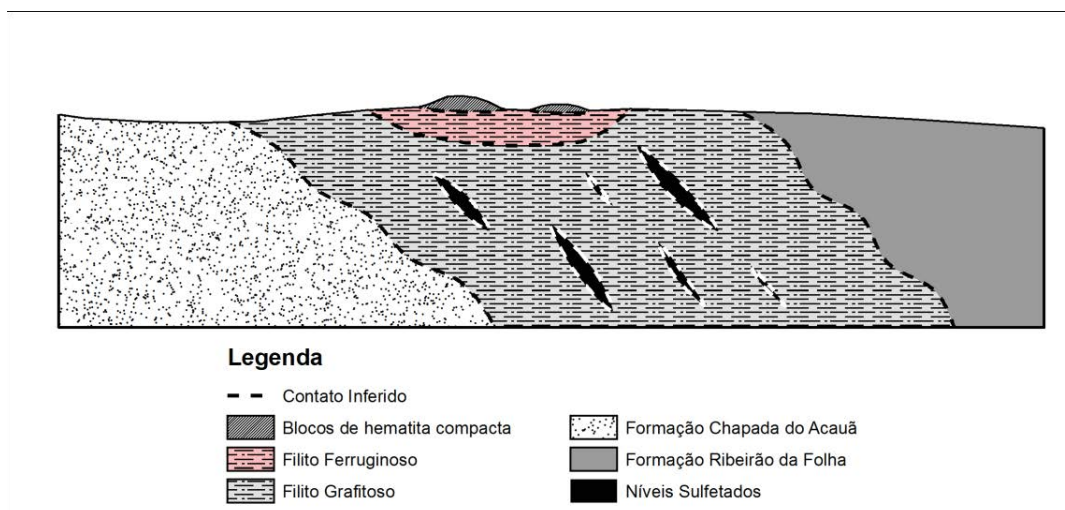


Figura 9.2_1 – Perfil esquemático proposto para a formação Catutiba, onde as ocorrências sulfetadas com magnetita, vistas nas cotas mais baixas se oxidaram, formando filito ferruginoso e *gossans* na região de platô

Fonte: Elaborada pelo Autor

Diante dos fatos descritos anteriormente, essa unidade foi individualizada pelo autor e classificada como uma nova unidade, chamada de Formação Catutiba.

Segundo James, 1954, as formações ferríferas sedimentares da fácies sulfeto são representadas por folhelhos carbonáticos pretos com pirita, oriundos de lama orgânica depositada em ambiente marinho anormalmente rico em ferro, os teores de ferro dessas formações ferríferas estão entre 15% e 25% e sua característica principal é ser grafitoso.

Esse modelo de formações ferríferas sedimentares da fácies sulfeto se enquadra para a Formação Catutiba, devido aos seguintes aspectos:

- A Bacia Macaúbas possuía um ambiente marinho rico em ferro, tal fato é evidenciado pela deposição do Membro Riacho Poções;
- Os teores de ferro das amostras analisadas dos filitos sulfetados e ferruginosos apontaram para teores médios de ferro variando entre 15 e 30%;
- O filito grafitoso da formação Catutiba possui brilho metálico, e tem a pirita como principal sulfeto.

Desta maneira, a mineralização estudada na formação Catutiba tem sua classificação proposta neste trabalho como sendo uma formação ferrífera sedimentar depositada em ambiente redutor, indicado pela ocorrência de pirita e sedimentos carbonosos na matriz da rocha.

9.3 Formação Capelinha

Essas formações ferríferas estão localizadas estratigraficamente na Formação Capelinha em seu Membro Superior, em meio a uma sequência de quartzito, com direção preferencial NE-SW com mergulho para SE. Elas afloram em campo abaixo da quebra positiva dos platôs, como blocos e afloramentos de quartzito ferruginoso com alguns intervalos bandados. Trincheiras e furos de

sondagem mostraram que essas ocorrências se tratam de uma formação ferrífera bandada, composta por magnetita, hematita e quartzo.

Elas são uma das últimas manifestações de mineralização ferrífera conhecidas na bacia e foram depositadas durante o seu fechamento, quando o mar estava recuando para fora do Continente, fato evidenciado pelos grandes pacotes de quartzito mapeados.

O magnetismo dessas formações ferríferas bandadas é alto, indicando que o principal mineral de ferro presente nessas ocorrências é a magnetita. Tal fato indica a ocorrência de um ambiente mais redutor de deposição do ferro, fato comum nesta região da bacia, onde ocorre em contato com a formação Capelinha, a formação Ribeirão da Folha (sequência de filito, quartzito a filito grafitoso com pirita).

O aspecto bandado destas ocorrências, aliados a seu ambiente de deposição e mineralogia simples (quartzo, magnetita e hematita), permitem a proposição de que essas ocorrências possam ser classificadas como formações ferríferas acamadadas.

10 Potencial de Exploração das Formações Ferríferas

A Bacia Macaúbas é passível de ser considerada um terreno geologicamente pouco explorado, com um potencial metalogenético que pode ir além das ocorrências já conhecidas. Tal fato é justificável através das ocorrências sulfetadas e ferruginosas existentes na Formação Catutiba, por exemplo, as quais foram pouco pesquisadas e apresentam potencial para ferro, cobre e ouro. Existem outras situações como essa na Bacia, como as ocorrências sulfetadas da Formação Nova Aurora e as anomalias magnéticas das formações Capelinha e Ribeirão da Folha, que possuem potencial conhecido, a princípio, para níquel e minério de ferro.

Levando em conta o potencial metalogenético verificado neste trabalho, realizou-se neste capítulo a estimativa do potencial de exploração dos depósitos ferríferos estudados e detalhados pelo autor, destacando o potencial geológico dessa região que atualmente é carente de infraestrutura e investimentos por parte do Estado, devendo essa ser encarada como um futuro polo minerário, merecedor de um planejamento prévio e de investimentos em infraestrutura que sirvam de base para o desenvolvimento das pesquisas e de futuras minerações.

10.1 Formações Ferríferas – Nova Aurora

As ocorrências ferríferas da Formação Nova Aurora foram descritas e publicadas pela primeira vez por Viveiros na década de 1970, sendo que o mesmo propôs a criação do Membro Riacho Poções, individualizando, assim, essas importantes ocorrências ferríferas (Figura 10.1_1).

Grupo Macaúbas	Fm. Nova Aurora diamictitos e quartzitos predominantes, filitos subordinados	Membro Riacho Poções diamictitos cinza e diamictitos hematíticos predominantes, quartzitos hematíticos e xistos hematíticos subordinados
	Fm. Rio Peixe Bravo	
	filitos predominantes, quartzitos e filitos grafitosos subordinados	
Super-Grupo Espinhaço: quartzitos		

Figura 10.1_1 – Coluna estratigráfica do Membro Riacho Poções (Modificada de VIVEIROS et. al., 1978)

Após a realização desses trabalhos liderados pela CVRD na década de 1970, as pesquisas foram paralisadas e retomadas na região somente no ano de 2005, pela Vale e Mtransminas Minerações Ltda, aproveitando o início da alta dos preços do minério de ferro e o cenário econômico positivo do Brasil. Após esta retomada das pesquisas, outras empresas chegaram à região e novos trabalhos visando ao detalhamento destas ocorrências se iniciaram, abrindo novos horizontes a respeito das mineralizações da Província Norte de Minas.

As mineralizações ferríferas do Membro Riacho Poções estão relacionadas a depósitos glaciais e possuem mineralogia simples (quartzo, hematita e magnetita), sendo as mesmas classificadas como do tipo Rapitan. Essas ocorrências têm como característica ser de grande tonelagem, friáveis de baixo teor médio de ferro, sendo classificadas neste trabalho como de dois tipos principais:

- 1- Metadiamictito Hematítico: Com ocorrência restrita à porção central da Formação Nova Aurora, possui teores de ferro mais altos, variando de 30% a 60%, sendo que sua área de ocorrência foi detalhada neste

trabalho e seu potencial de exploração estimado;

- 2- Metadiamictito Ferruginoso: Constitui a maior unidade de formação ferrífera conhecida na Província, com grande abrangência regional, aflorando por dezenas de quilômetros ao longo do *trend* de ocorrência da Formação Nova Aurora, porém seus teores médios de ferro são mais baixos, na casa de 20%. A área de ocorrência dos Metadiamictitos Ferruginosos foi detalhada neste trabalho e, seu potencial de exploração, estimado.

No mapa a seguir, tem-se a área de ocorrência do metadiamictito mineralizado em ferro considerada para a estimativa do potencial de exploração destas unidades.

Com base nos dados de prospecção disponíveis e utilizados neste trabalho, e considerando uma profundidade de 100 metros, foi possível estimar um potencial de exploração na ordem de:

- 1 bilhão de metros cúbicos para o metadiamictito hematítico; e
- 49 bilhões de metros cúbicos para o metadiamictito ferruginoso.

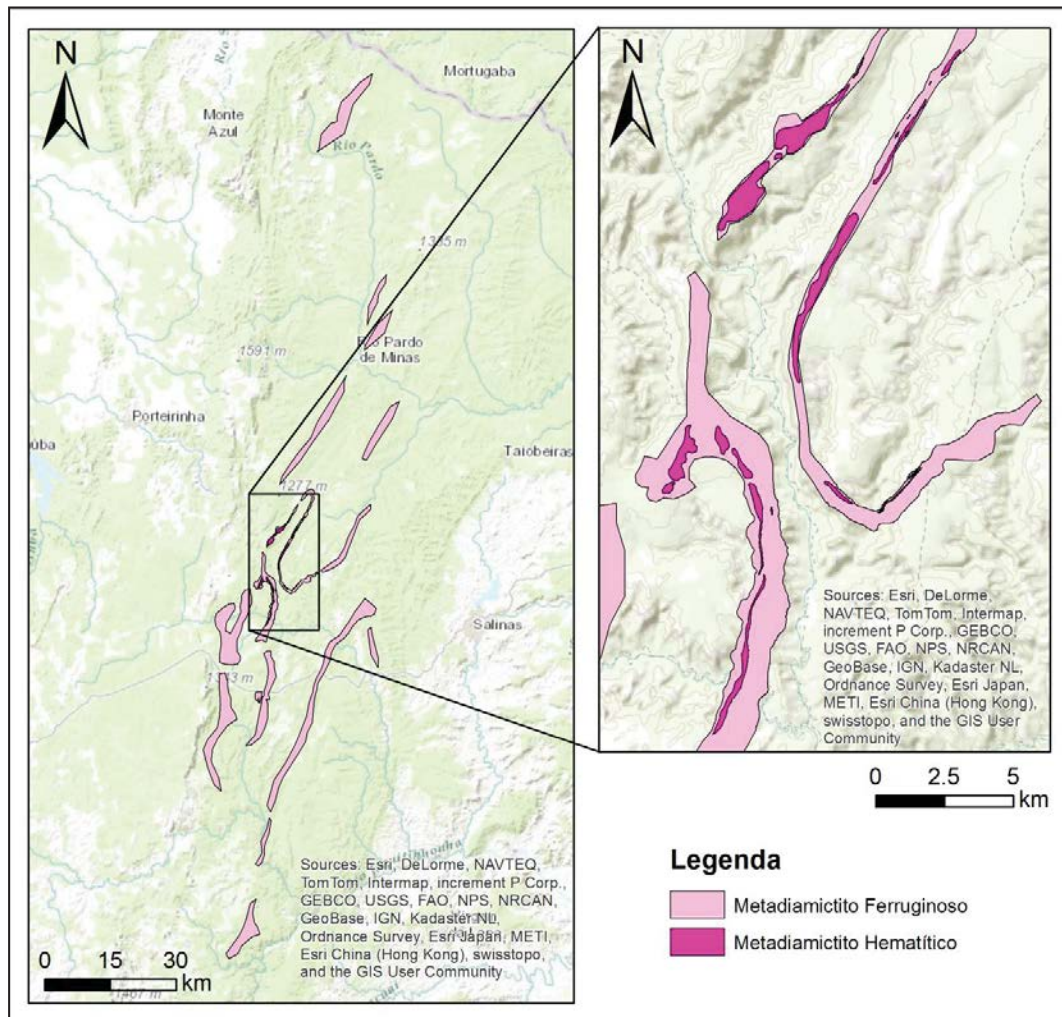


Figura 10.1_2 – Região de ocorrência considerada para o cálculo do potencial de exploração para o metadiamiccitos hematítico e ferruginoso do Membro Riacho Poções da Formação Nova Aurora

Fonte: Elaborada pelo autor

10.2 Formações Ferríferas – Capelinha

As ocorrências ferríferas pertencentes ao Membro Superior da Formação Capelinha afloram com significância no município de Minas Novas, constituindo uma sequência de formações ferríferas bandadas e quartzito ferruginoso que

podem atingir espessuras na ordem de 50 a 150 metros, marcando a interface de contato dos quartzitos no membro superior com as sequências de quartzo mica xisto a sericita clorita xisto do membro inferior.

Nos estudos realizados, verificou-se que essas ocorrências estão relacionadas a 3 anomalias magnéticas (Figura 10.2_1) que possuem teores de ferro que podem variar de 20% a 50%.

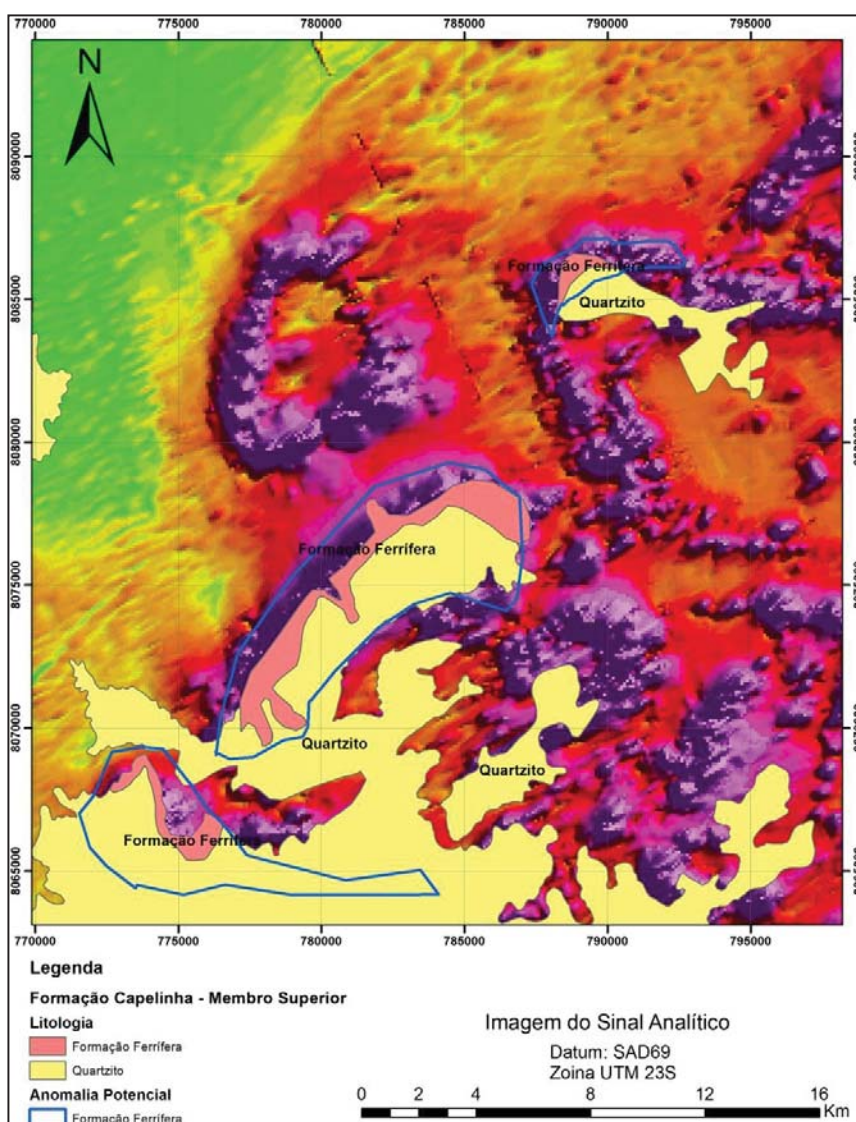


Figura 10.2_1 – Em azul área de influência interpretada e considerada como potencial para a exploração de formações ferríferas em Minas Novas – MG

Fonte: Elaborada pelo autor

Considerando as anomalias magnéticas verificadas como positivas para a ocorrência de formação ferrífera e com base nos dados de campo e exploração divulgados, estima-se um potencial de exploração na ordem de 3,2 bilhões de metros cúbicos para essas formações ferríferas.

10.3 Formação Catutiba

Podem-se destacar as ocorrências de filito ferruginoso intercalado na sequência de filito grafitos com níveis sulfetados, classificados neste trabalho como pertencentes à Formação Catutiba, em um *trend* de cerca de 70 km que passa pelos municípios de Gonçalves Dias, Leme do Prado e Minas Novas.

O filito ferruginoso possui uma espessura de camada aparente com cerca de 1.500 metros, e foram mapeados ao longo do platô da região da Vila de Catutiba por uma extensão aproximada de 30 km (Figura 10.3_1).

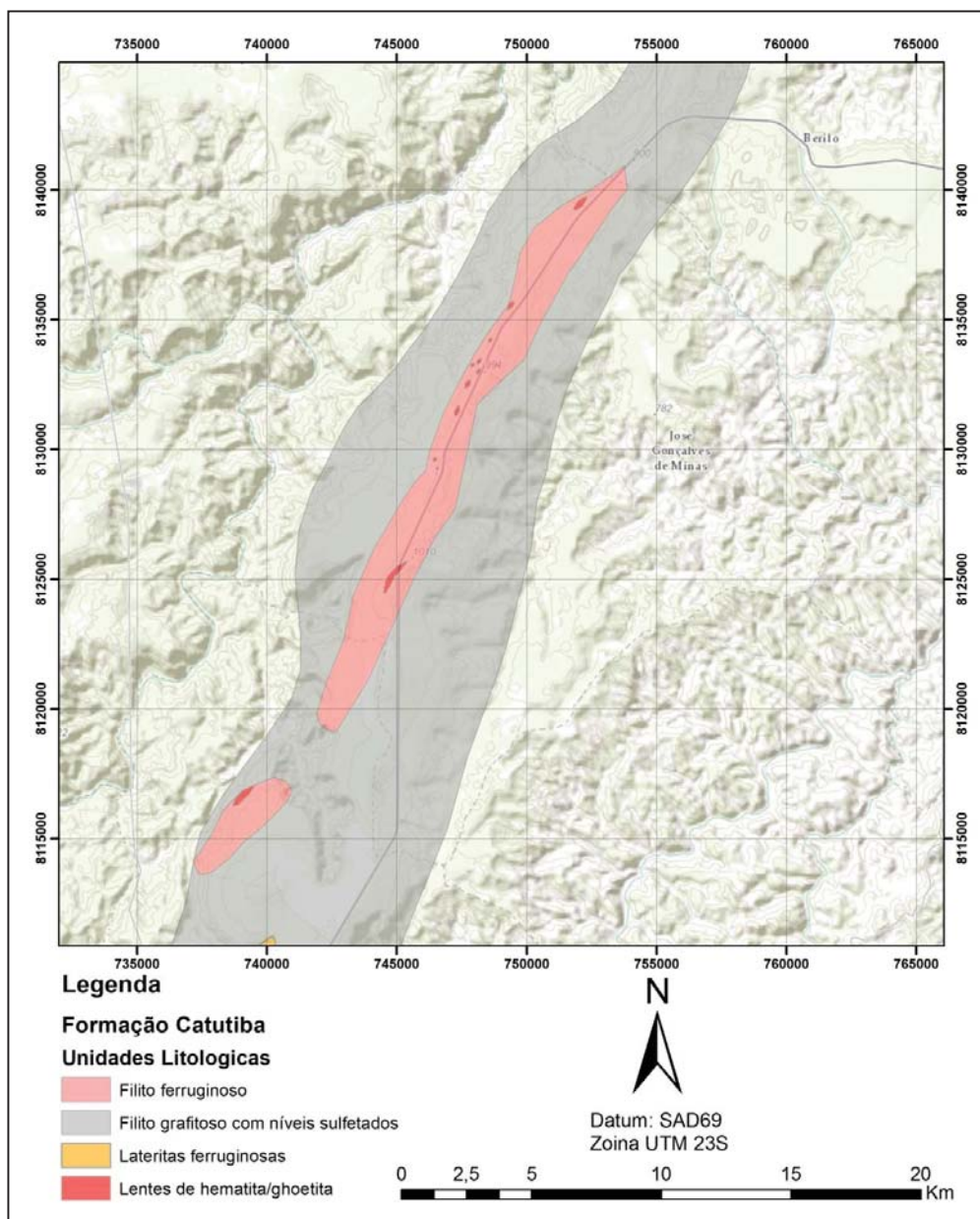


Figura 10.3_1 – Região de ocorrência dos filitos ferruginosos da Formação Catutiba
Fonte: Elaborada pelo autor

Nas amostras analisadas do filito ferruginoso, pode-se verificar que os minerais de ferro presentes nas rochas são basicamente a magnetita, hematita e limonita, e os teores globais de ferro verificados variam de 20 a 30%. Com base na área aflorante mapeada, estima-se um potencial de exploração da ordem de

1,7 bilhões de metros cúbicos para o filito ferruginoso da Formação Catutiba. Estudos detalhados a respeito de qualidade, teor e volume dessas ocorrências se fazem necessários, bem como a viabilização de uma rota de processo para o aproveitamento do ferro contido nessa unidade.

Em relação aos níveis sulfetados, os mesmos foram mapeados na região da barragem de Irapé, formando diversos níveis intercalados em meio ao filito grafitoso, sendo identificada a presença de pirita, pirrotita e calcopirita nestes níveis em campo. Análises químicas das amostras coletadas em afloramentos, indicaram teores de cobre variando de 150 a 350 ppm, sendo que estudos a respeito da continuidade dessas ocorrências e da presença de ouro contido na pirita são necessários.

11 Considerações e Conclusões

O estudo apresentado iniciou-se em 2008, motivado pela alta dos preços do minério de ferro no mercado internacional e na China, sendo que os primeiros trabalhos foram concentrados na Formação Nova Aurora, Membro Riacho Poções, onde ocorrências de formações ferríferas foram relatadas pela primeira vez na década de 1970, por Viveiros et. al., 1978. As atividades de reconhecimento geológico, sensoriamento remoto, geofísica, mapeamento geológico e estrutural, sondagem geológica acompanhada de análise química e petrográfica, foram realizadas objetivando à caracterização geológica dessas ocorrências.

Com base no grande potencial de exploração para minério de ferro, estimado na região da Vila de Nova Aurora, iniciou-se o processo de averiguação da continuidade dessas ocorrências ao longo do *trend*, em outras regiões e unidades do Grupo Macaúbas. Essa segunda fase teve início com os trabalhos de sensoriamento remoto e geofísica, sendo extraída uma assinatura geofísica para as ocorrências ferríferas na bacia, que consistiu basicamente de uma combinação de anomalia geofísica positiva de sinal analítico, orientada de acordo com S_1 , somada a uma anomalia de baixa contagem de potássio (K), no levantamento gamaespectométrico.

A assinatura geofísica estabelecida gerou alvos potenciais que foram reconhecidos em campo, no qual o resultado mostrou que as ocorrências ferríferas se concentram no setor leste da bacia, cuja correspondência da associação sinal analítico estruturado positivo + canal de potássio negativo obteve sucesso em cerca de 60% das anomalias investigadas, validando o método para a geração de alvos prospectivos para minério de ferro. Esse resultado aponta para a hipótese que o Supergrupo Espinhaço pode ter sido uma barreira física para a migração dos fluídos ricos em ferro na bacia, de acordo com Schobbenhaus (1996), que descreve o arqueamento crustal, seguido de levantamento e erosão parcial da cadeia, entre 900 - 1000 Ma, durante a fase extensional do *rift*.

As anomalias reconhecidas no setor oeste do Grupo Macaúbas estão relacionadas a diques, zonas de falhas com concentração de magnetita e *ironstones* desenvolvidos em regiões de ocorrência de quartzitos. No entanto, as anomalias reconhecidas no setor leste estão relacionadas, em quase sua totalidade, às formações ferríferas pertencentes a três unidades distintas, que foram detalhadas e classificadas como pertencentes às formações Nova Aurora, Catutiba e Capelinha.

O trabalho de detalhamento e descrição dessas unidades resultou na revisão da coluna litoestratigráfica do Grupo Macaúbas. Essa revisão implicou no detalhamento dos Membros Riacho Poções e Superior das formações Nova Aurora e Capelinha, respectivamente, além da proposta de criação de uma nova unidade, a Formação Catutiba, que possuía suas ocorrências classificadas anteriormente como pertencentes à Formação Nova Aurora.

Essas formações ferríferas possuem caráter distinto, e foram depositadas durante a abertura da bacia, com uma direção de fluxo aproximada NNW-SSE, apresentando associações mineralógicas e ambientes distintos de deposição de sul para norte, podendo ser resumidamente classificadas como:

- 1- Formação Nova Aurora, Membro Riacho Poções: Sequência de metadiamicrito ferruginoso relacionada a depósitos glaciais do tipo *Rapitan*;
- 2- Formação Catutiba: Sequência de filito grafitoso a ferruginoso, com níveis sulfetados e bolsões de hematita/goethita compactas. Essas ocorrências foram classificadas como uma formação ferrífera sedimentar; e
- 3- Formação Capelinha, Membro Superior: Sequência de formações ferríferas bandadas, marcada pela intercalação de bandas ferruginosas com bandas silicosas; sua mineralogia é simples, sugerindo se tratar de uma sequência de formações ferríferas acamadadas.

O processo de fechamento da bacia foi marcado por esforços compressionais de direção NW-SE, que formaram a foliação S_1 , principal controle estrutural da

mineralização na área de estudo, responsável também pela ocorrência de empurrões na direção NW, zonas de cisalhamento concordantes à foliação, e falhas e fraturas de direção NW-SE e E-W. Esses esforços foram responsáveis pela orientação e pela reconcentração das formações ferríferas devido a processos de concentração tectono-metamórficos, evidenciados por martitização da magnetita, orientação e concentração da hematita, remobilização da hematita em zonas de cisalhamento paralelas a S_1 , gerando também dobras e encurtamento da espessura da camada em zonas mais ricas em ferro. Ainda na formação Nova Aurora, na região de ocorrência de metadiamicrito hematítico, foi descrita uma terceira fase de mineralização, representada pelo enriquecimento supergênico que gerou cangas ferríferas e metadiamicrito hematítico, com alto teor de ferro, acima de 55%.

Os empurrões de direção NW foram comprovados em campo através de furos de sondagem que mostraram o nível de metadiamicrito ferrífero cavalgado sobre metadiamicrito estéril, com sua zona de contato marcada pela ocorrência de veios de quartzo com a presença, por vezes, de hematita e/ou sulfetação. Em campo, esses veios afloram concordantes à foliação S_1 , e marcam o contato do metadiamicrito ferrífero com o estéril e, por vezes, com os quartzitos do Supergrupo Espinhaço, evidenciando a existência de falhas escalonadas de direção NW-SE, concordante com o modelo evolutivo proposto por Pedrosa-Soares et al. (2001).

Em relação ao nível de metadiamicrito do Membro Riacho Poções, eles foram descritos e classificados em 3 classes, de acordo com as suas características mineralógicas e químicas. Essa classificação foi validada com base nos dados químicos de sondagem através de um estudo geoestatístico multivariado. As classes definidas foram utilizadas para a classificação dos corpos de metadiamicritos mapeados em metadiamicrito, metadiamicrito ferruginoso e metadiamicrito hematítico. Essa separação permitiu identificar a região onde os corpos de metadiamicrito se depositaram com teores de ferro mais elevados e, conseqüentemente, a localização dos corpos ferríferos mais ricos e com maior potencial volumétrico de exploração.

As ocorrências de formações ferríferas descritas e mapeadas no Grupo Macaúbas possuem um potencial de exploração na ordem de 55 bilhões de metros cúbicos, com um teor médio na casa de 20% a 25% de ferro, podendo atingir teores de até 66% nas regiões mais ricas. Esse potencial ferrífero aliado às ocorrências de ouro, manganês, cobre, grafita, quartzo e outros minerais industriais permite ao autor defender a criação da Província Mineral Norte de Minas, termo este apresentado pela primeira vez no SIMEXMIN de 2014 (Naves, 2014), em um trabalho da CPRM que também contou com a colaboração do autor deste trabalho.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, L. M. S.; et al. A diversidade de morcegos conhecida para o Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIA NETO, A. L. (Ed.) **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

ALMEIDA, S. A. C. **Atlas das Unidades de Conservação do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas, Volume 1 – mastofauna, 2011.

ALKMIM, F. F.; et al. Kinematic evolution of the Araçuaí - West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. **Precambrian Research**, Inglaterra, v. 149, p. 43-64, 2006.

ALKMIM, F. F.; et al. Tectônica Quebra-Nozes e a Gênese do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. In: 9º SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 2003, 9, Búzios. SBG-RJ, **Boletim de Resumos**, p. 40-43.

ALMEIDA; F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Rev. Brasileira de Geociências** 7:349-364. 1977.

ANDRADE, F. R. **Estado atual do conhecimento sobre a fauna de peixes da bacia do Jequitinhonha. MG**. Biota, v. 2, p. 23-35, 2010. BRANDT Meio Ambiente. Estudo de Impactos Ambientais (EIA) – Sul Americana de Metais S/A – SAM – Projeto Vale do Rio Pardo Minas Gerais e Bahia. Diagnóstico meio biótico, 2012.

ANEEL. **Inventário das Estações Fluviométricas editado pela Agência Nacional de Energia Elétrica** -, 2001.

BABINSKI, M.; et al. Neoproterozoic glacial deposits from the Araçuaí orogen, Brazil: Age, provenance and correlations with the São Francisco craton and West Congo belt. **Gondwana Research**, Amsterdam, v. 21, n. 41335, Special Issue, supl. 1, Part 4, pp. 451-465. 2012.

BARBOSA, A. L. M.; GROSSI-SAD, J. H.; TORRES, N. **Geologia das quadrículas de Barra do Cuieté e Conselheiro Pena**, Minas Gerais. Belo Horizonte, DNPM-GEOSOL, 285 p. 1964.

BERNER, R. A. A new geochemical classification of sedimentary environments, **Journal Sediment. Petrology**, v.51, 359-365. 1981.

BEUKES N. J.; KLEIN C. Models for iron-formations deposition. In: J.W. SCHOPF, C. KLEIN (eds.) **The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study**. Cambridge, Cambridge University Press, 1992, 147-151.

BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering rock mass classifications**. New York: Wiley; Brasil Mineral, 1989, Nº 333: O Dry Stack Como Alternativa Ambiental Para Disposição de Rejeitos. São Paulo: Sygnus Editora, 2013.

BIONDI, J. C. **Processos Metalogenéticos e os Depósitos Minerais Brasileiros**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 528 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília: [s.n.], 1985. 8 v., v.1: Recursos minerais energéticos. v.2: Ferro e metais da indústria do aço. v.3: Metais básicos não ferrosos, ouro e alumínio. v.4-A: Gemas e rochas ornamentais. v.4-B: Rochas e minerais industriais. v.4-C: Rochas e minerais industriais.

BRANDANI, D. B.; COSTA, L. P. **Geologia da região de Baixa Quente, sudeste de Minas Novas (MG)**. 2004. 50 p. Trabalho Geológico de Graduação - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

BREITKOPF, J. H. Iron formations related to mafic volcanism and ensialic rifting in the Southern Margin Zone of the Damara Orogen, **Precambrian Research**, Namibia, v. 38, p. 111-130. 1988.

BRITO NEVES, B. B. DE; CORDANI, U. G. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. **Precambrian Research**, [A paper on the tectonic evolution and the Late Proterozoic assembly of the South American continent: a

mobilistic model for the geotectonic framework of South America during the Late Proterozoic is proposed] 53,23-40.1991.

CARVALHO, M. T. N.; et al., A Província Mineral do Norte de Minas Gerais. VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EXPLORAÇÃO MINERAL, 2014, Ouro Preto, Minas Gerais. **Palestras**.

CARPATHIAN GOLD, **Technical Report on the Resource Estimate Update and the Feasibility Study for Riacho dos Machados Gold Deposit, Minas Gerais State, Brazil**, 355p. 2011.

CASTRO, L. O. Genesis of banded iron formations: **Economic Geology**, 89, p.1384-1397. 1994.

CEMIG. Projeto Jequitio: subsídios para conservação e manejo da ictiofauna da Bacia do Jequitinhonha - 2º sub-projeto: Monitoramento da ictiofauna do rio Jequitinhonha na área de influência da Usina Hidrelétrica de Irapé. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/ptbr/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/ambientais/peixe_vivo/publicacoes/Documents/Relatorios%20Ictiofauna/Jequi_Relatorio%20Monitoramento%20UHE%20Irape%202008-2009.pdf>. Acesso em: 16/04/2014.

CHAVES, M. L. DE S. C., ANDRADE, K. W. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Bocaiúva SE.23-X-C-III**, Estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. Belo Horizonte, CPRM, 64p. 2012.

CHEMALE JUNIOR, F.; TAKEHARA, L. **Minério de Ferro: Geologia e Geometalurgia**. São Paulo. 202p. 2013.

CLOUD, P.; SEMIKHATOV, M. A. Proterozoic stromatolitic zonation. **Am. Journ. Sci.**, 267: 1017-1061. 1969.

CODEMIG, **levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais área 8** – Minas Novas- Riacho dos Machados – Espinosa, Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos - Secretaria

de Estado de Minas e Energia – SEME Governo de Minas Gerais e CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005/2006.

COSTA, L. P. **Caracterização das Sequências Metavulcanossedimentares da Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)**. 2007. 120p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

CROCCO, F. A.; et al. Mineralizações de Zinco e Chumbo do Depósito Salobro, Porteirinha (MG). **Revista Geociências**, UNESP, v.25, n.3. São Paulo, p.359-378. 2006.

DARDENNE, M. A.; SCHOBENHAUS, C. **Metalogênese do Brasil**. Editora, Universidade de Brasília, Brasília, 2001, 392p.

DAVIES, M. P.; RICE, S. **An alternative to conventional tailing management – “dry stack” filtered tailings**. Vancouver, BC, Canada: AMEC & ENVIRONMENTAL, 2001.

DIMROTH, E. Aspects of the sedimentary petrology of cherty iron formation, in: WOLF, K. H. **Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits**, Amsterdam, Elsevier, 1976. 7: 203-254.

DNPM. **Mineral Commodity Summaries – 2013**, 2013. Disponível em <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2013/mcs2013.pdf>>.

DNPM. **Sumário Mineral 2011 V31**, 2011. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2011>>

DORR II, J. V. N. Iron-Formation in South America. In: **Economic Geology: Precambrian Iron-Formations of the World.**, 1973., v.68, n.7, p.1005-1022.

DRUMMOND, G. M. Panorama Geral da fauna e de flora ameaçada de extinção em Minas Gerais: Subsídios para o plano mineiro de biodiversidade. In: **Biodiversitas. Panorama da biodiversidade em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas, 2012.

DRUMMOND, G. M.; et al. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. 2 ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222p. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br/atlas/peixes.asp>>. Acesso em: 16/04/2014.

DURAN, J. DA S.; PETRÚCIO, S. J. **Estruturas de Solo Reforçado com o Sistema Terramesh** – Encarte Técnico. São Paulo: Maccaferri, 2005.

EDWARDS, M. Glacial environments. In: READING, H.G. (ed). **Sedimentary environments and facies**, 2nd ed.: Oxford, Blackwell Scientific Pub., 1986. p. 445-470.

FELFILI, J. M.; et. al. Biodiversidade, ecologia e conservação do Cerrado: avanços no conhecimento. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

FONSECA, D. S. R.; LESSA, S.N. **Um breve diagnóstico ambiental do Parque Estadual de Grão Mogol (MG) e seu contexto espacial**. Uberlândia: Caminhos de Geografia, V 11, n. 35, 2010.

FRAGA L. M. S.; et al. Dados preliminares sobre a quimioestratigrafia de rochas carbonáticas do Grupo Macaúbas, região nordeste da Serra do Espinhaço Meridional (MG). In: XIII CONGRESSO BRAS. GEOQUÍMICA, 2011. Gramado, **Anais 1**: 1223-1226.

FREITAS-SILVA, F. H.; PEREIRA, L. A. **A geologia da região de Ribeirão da Folha, nordeste de Capelinha, MG (subárea norte)**. 1987. 156 p. Trabalho Geológico de Graduação - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1987.

FRYER, B. J.; FYFE, W. S.; KERRICH, R. Archean volcanogenic oceans. **Chem. Geol.** 24, p.25-33. 1979.

GOMES, J. C. M. **Diagnóstico e perspectivas do desenvolvimento do setor mineral na região do Vale do Jequitinhonha**. Metamig. Belo Horizonte. 1988.

GROSS, G. A. Stratiform iron. In: ECKSTRAND, O. R.; SINCLAIR W. D.; THORPE R. I. (eds) **Geology of Canadian Mineral Deposit Types**. Canadá: Geological Survey of Canada, Geology of Canada, 1996. 8: 41-54.

GROSS, G. A. The depositional environment of principal types of Precambrian iron-formations. In: **Genesis of Precambrian iron and manganese deposits**. Paris: Unesco Earth Sciences, 1973. 9: 15-21.

GROSSI-SAD, J. H.; et al. (eds). **Projeto Espinhaço em CD-ROM**. CODEMIG, Belo Horizonte, 1997. 2693 p. e 23 mapas.

GROSSI-SAD, J. H. Geologia da Folha Guanhães, Minas Gerais. In: **Projeto Espinhaço**, UFMG, Belo Horizonte, MG. 1993. 117p.

HUNTER, R. E. Facies of iron sedimentation in the Clinton Group. In FISCHER, G. W.; PETTIJOHN, F. J.; REED, J. C. JR.; WEAVER, K. N., **Studies of Appalachian Geology: Central and Southern**. Wiley, 1970. p.101-124.

IBRAM. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira – 7ª edição**, 2012. Disponível em <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004035.pdf>>

INFOMINE. **Iron Ore Fines Prices and Iron Ore Fines Price Charts**, 2015. Disponível em <<http://www.infomine.com/investment/metal-prices/iron-ore-fines/>>

JAMES, H. L. Sedimentary facies of iron formation. **Economic Geology**. v.49, n.3, p.235-293. 1954.

LAGOEIRO, L. E.; MENEGASSE, L. M. **Geologia da região de Ribeirão da Folha, município de Minas Novas, Minas Gerais (área sul)**. 1987. 91p. Trabalho Geológico de Graduação - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1987.

KIRSCHVINK, J. L. Late Proterozoic Low Latitude Global Glaciation: the Snowball Earth. In: SCHOPF, J. W.; KLEIN, C. (eds.), **The Proterozoic Biosphere. A Multidisciplinary Study**. Cambridge University Press, 1992. p.51-52.

KLEIN, C. Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. **American Mineralogist**, 90,p.1473-1499. 2005.

KLEIN, C.; BEUKES N. J. Sedimentology and Geochemistry of the Glaciogenic Late Proterozoic Rapitan Iron-Formation in Canada. **Economic Geology**. Vol 88, 1993, pp. 542-565. 1993.

KLEIN C.; BEUKES N. J. Geochemistry and sedimentology of a facies transition from limestone to iron formation deposition in the early Proterozoic Transvaal Supergroup, South Africa. **Economic Geology**, 84: 1733-1774. 1989.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. **A conservação do Cerrado brasileiro**. Belo Horizonte: Megadiversidade V1 N.º1, 2005.

KRUMBEIN, W. C.; GARRELS, R. M. Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials. **Journal of Geology**, v. 60, p.1-33. 1952.

LIMA, S. A. A. **Influência da Presença de Sulfetos na Implantação da UHE Irapé – Vale do Jequitinhonha – Minas Gerais**. 2009. 206p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2009.

LIMA, S. A. A.; et al. A Formação Salinas na área-tipo, NE de Minas Gerais: uma proposta de revisão da estratigrafia da Faixa Araçuaí com base em evidências sedimentares, metamórficas e idades U-Pb SHRIMP. **Rev Bras Geociênc** 32: 491-500. 2002.

MACHADO, A. B. M.; DRUMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (Org.). **Livro vermelho das espécies ameaçadas de extinção da fauna brasileira**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas; Brasília: MMA, 2008. 1420p.

MACHADO, R. B.; et al. Caracterização da fauna e flora do cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIA NETO, A. L. (Ed.) **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 285-300.

MARTINS NETO, M. A.; PEDROSA-SOARES, A. C.; LIMA, S. A. A. Tectono-sedimentary evolution of sedimentary basins from Late Paleoproterozoic to Late Neoproterozoic in the São Francisco Craton and Araçuaí Fold Belt, eastern Brazil. **Sedimentary Geology**, EUA, v. 141-42, p. 343-370, 2001.

MAYNARD, J. B. Iron: syngenetic deposition controlled by the evolving ocean-atmosphere system. In: FORDE, E. R.; EIDEL, J. J.; MAYNARD, J. B. (eds.), **Sedimentary and Diagenetic Mineral Deposits: a Basin Analysis Approach to Exploration**, Soc. Econ. Geologists, Reviews in Economic Geology, 5:141-145. 1991.

MITTAL, H. K.; MORGERSTERN, N.R. Seepage Control In Tailing Dams, **Canadian Geotechnical Journal**, Vol. 13, 1976.

NALINI JR.; H. A. **Caractérisation des suites magmatiques néoprotérozoïques de la region de Conselheiro Pena et Galiléia (Minas Gerais, Brésil)**. 1997. 237p. Tese de Doutorado. Etude géochimique et structurale des suites Galiléia et Urucum et relations avec les pegmatites à éléments rares associées. - Ecole des Mines de Saint Etienne et Ecole des Mines de Paris. 1997.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro-RJ, 1979.

NOCE, C.M.; et al. Nova Subdivisão Estratigráfica Regional do Grupo Macaúbas na Faixa Araçuaí: O Registro de uma Bacia Neoproterozóica. **Boletim do Núcleo Minas Gerais-Sociedade Brasileira de Geologia**, 1997. 14: 29-31.

Normas Climatológicas do Brasil 1961-1990, INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília-DF, 2009.

NUNES, M. A. J.; COSTA, S. G.; SILVA, R. G. O Quadrilátero Ferrífero e o Norte de Minas Gerais: Análise da História e Importância Econômica. In: **Artigo de disciplina Geografia do Comércio e Circulação**, Universidade Estadual de Montes Claros, Minas Gerais, 16p. 2012.

ODIN, G. S. **Green Marine Clays**. Developments in Sedimentology 45, Elsevier. 1988.

ORTIZ, R. N.; JUNIOR, O. S.; LADCHUMANANANDASIVAM, R. Tubos de Geotêxtil Aplicados a Obras de Defesa Costeira. In: II CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, **Anais**, 2003.

PAGLIA, A. P.; et al. **Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil / Annotated Checklist of Brazilian Mammals**. 2ª Edição / 2nd Edition. Occasional Papers in Conservation Biology, No. 6. Conservation International, Arlington, VA. 76pp. 2012.

PEDROSA-SOARES, A. C.; et al. Orógeno Araçuaí e Faixa Congo Ocidental: semelhanças e diferenças. In: 33º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2006, Aracaju. **Resumos**, 2007.

PEDROSA-SOARES, A.C.; et al. Orógeno Araçuaí: uma síntese 30 anos após Almeida 1977.. In: 10º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2007, Diamantina. **Resumos**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Minas Gerais, 2007. p. 10-10.

PEDROSA-SOARES, A. C.; et al. The Araçuaí–West Congo orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. **Precambrian Research**, Amsterdam 110: 307-323. 2001.

PEDROSA-SOARES, A. C. Mineralization in a confined orogen: The Neoproterozoic-Cambrian mineral deposits of the Araçuaí Belt, Eastern Brazil. In: I IGCP 450 WORKSHOP, 2001. **Abstracts**. Belo Horizonte: IGCP 450, 2001. p. 102-102.

PEDROSA-SOARES, A. C. Mineralization in a confined orogen: The Neoproterozoic-Cambrian mineral deposits of the Araçuaí Belt, Eastern Brazil. In: IGCP 450 WORKSHOP, 2001, Belo Horizonte. **Abstracts**. Belo Horizonte: IGCP 450, 2001. p. 102-102.

PEDROSA-SOARES, A. C.; et al. Neoproterozoic-Cambrian evolution of a confined orogen and its relation to economic mineralization: The Aracuai Belt, Eastern Brazil. In: **Geological Society of America Annual Meeting**, 2001, BOSTON. Abstracts with programs. Boulder: **Geological Soceity of America**, 2001. V.33. p. A-155-A-155.

PEDROSA-SOARES, A. C. O Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental: estado-da-arte. In: VII SIMPÓSIO DO SUDESTE, 2001, Rio de Janeiro. **Boletim de Resumos**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de geologia, 2001. v. único. p. 44-44.

PEDROSA-SOARES, A.C. (Docente): O Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental: Estado da Arte.; 2001; VII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE.; **Resumos**, Português; Rio de Janeiro.

PEDROSA-SOARES, A. C.; et al. The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 110, n.1-4, p. 307-323, 2001.

PEDROSA-SOARES, A. C.; WIEDEMANN, C. Evolution of the Araçuaí Belt and its Connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil.. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Org.). **Tectonic Evolution of South America**. 1ª ed. Rio de Janeiro: IGC Brazil 2000, 2000, v. Único, p. 265-285.

PEDROSA-SOARES, A. C.; WIEDEMANN, C. Evolution of the Araçuaí Belt and its Connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil.. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Org.). **Tectonic Evolution of South America**. 1ª ed. Rio de Janeiro: IGC Brazil 2000, 2000, v. Único, p. 265-285.

PEDROSA-SOARES, A. C.; et al. Neoproterozoic oceanic remnants in eastern Brazil: evolution for the Araçuaí-West Congo orogen. **Geology** 26: 519-522. 1998.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M. . Where is the suture zone of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo orogen? . In: **14 Conference on Basement Tectonics**, 1998, Ouro Preto. Extended Abstracts. Ouro Preto: UFOP, 1998. p. 35-37.

PEDROSA-SOARES, A. C.; et al. Neoproterozoic Oceanic Remnants in Eastern Brazil: Further Evidence and Refutation of an Exclusively Ensialic Evolution for the Araçuaí- West Congo Belt. **Geology**, EUA, v. 26, n.6, p. 519-522, 1998.

PEDROSA-SOARES, A. C.; et al. Da litosfera oceânica ao arco magmático cálcio- alcalino: uma síntese das evidências de subdução-B no Orógeno Araçuaí-Oeste Congo. . In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1998, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: SBG-Núcleo Minas Gerais, 1998. p. 19-19.

PEDROSA-SOARES, A. C.; et al. Litogeoquímica de sedimentos na caracterização da margem passiva Macaúbas, Faixa Araçuaí. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1997, Salvador. **Anais**. Salvador: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 1997. v. 1. p. 783-786.

PEDROSA-SOARES, A. C.; GROSSI-SAD, J. H. Geologia da Folha Minas Novas. In: GROSSI-SAD, J. H.; LOBATO, L. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; SOARES-FILHO, B. S. (Org.). **PROJETO ESPINHAÇO EM CD-ROM**. 1ª ed. Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais, 1997, v., p. 952-1052.

PEDROSA-SOARES, A. C. Geologia da Folha Araçuaí. In: GROSSI-SAD, J. H.; LOBATO, L. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; SOARES-FILHO, B. S. (Org.). **PROJETO ESPINHAÇO EM CD-ROM**. 1ª ed. Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais, 1997, v., p. 715-852.

PEDROSA-SOARES, A. C.; LEONARDOS, O. H. O Distrito Aurífero das Minas Novas do Araçuaí: Uma Abordagem Fundamentada em Dados Históricos e Geológicos. **Revista Escola De Minas - REM**, Ouro Preto, v. 49, n.4, p. 33-38, 1996.

PEDROSA SOARES, A. C. **Evidências da terminação setentrional do Oceano Adamastor (Neoproterozóico) no sudeste brasileiro.** 1995. (Apresentação de Trabalho/Conferência ou palestra). 1995.

PEREIRA, M. A. **Cidade Média e Região: O significado de Montes Claros no Norte de Minas Gerais.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia - Instituto de Geografia, 2007.

PINHEIRO, R. V. L.; HOLDSWORTH, R. E. Evolução tectonoestratigráfica dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. **Rev. Bras. Geoc.**, 30(4): 597-606. 2000.

Portaria IGAM nº 49, de 01 de julho de 2010.

RAY, G. E. Fe Skarns, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles. In: LEFEBURE, D. V.; RAY, G. E. (Eds.). **Metallics and Coal.** v.1. British Columbia Ministry of Energy of Employment and Investment, Open File, 1995. p.63-65.

RODRIGUES, M. T. A biodiversidade dos cerrados: conhecimento atual e perspectivas, com uma hipótese sobre o papel das matas galerias na troca faunística durante ciclos climáticos. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. (Org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

Resolução SEMAD/IGAM n.º 1548, de abril de 2012.

ROBB, J. L. **Introduction to ore forming processes.** Malden, MA : Blackwell. 2005.

SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

SCHIRMER, V. B. **Caracterização petrográfica e litogeoquímica das formações ferríferas do *greenstone belt* Ibitira-Ubiraçaba, região de Brumado,** 2012. 78p. Trabalho de graduação. Bahia.- Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 2012.

SCHOBENHAUS, C. As tafrogeneses superpostas Espinhaço e Santo Onofre, Estado da Bahia: Revisão e novas propostas. **Rev. Bras. Geociên**, 26: 265-276. 1996.

SCHOBENHAUS, C.; et al., **Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais**. Brasília: DNPM/MME. 1981.

SCLIAR, C. Dotação Mineral, Meio Ambiente e Desenvolvimento no Alto Jequitinhonha. **Geonomos**, v.3, n.1, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, p.65-75. 1995.

SILVA, C. M. A. DE; GOMES, J. B.; CALDEIRA, S. M. B. **Geologia da região de Ribeirão da Folha, município de Minas Novas, MG (área central)**. 1987. 71p. Trabalho Geológico de Graduação, Belo Horizonte - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 1987.

SIMONSON, B. M. Ironstones and Iron Formations. In: **Encyclopedia of Sediments & Sedimentary Rocks**, 2003. p.379-384.

SOUZA, E. C. **Granitos e Mineralizações Associadas**. Publicação Técnica CPRM, v.1, 1: 5-104. 1985.

TAVARES, V. C.; et al. **Bats of the state of Minas Gerais, southeastern Brazil**. Chiroptera Neotropical, 2010.

THERIAULT, J. A.; FROSTIAK, J.; WELCH, D. Surface Disposal of Past Tailings at the Bulyanhulu Gold Mine, Tanzania. In: SPIERS, G.; BECKETT, P.; CONROY, H. (Eds) **Proceedings Of Sudbury Mining And Environment**, Conference. 2003.

TRENDALL, A. F. Precambrian Iron-Formation of Australia. **Economic Geology**. Precambrian Iron-Formations of the World. v.68, n.7, p1023-1034. 1973.

TRENDALL, A. F. Introduction. In: TRENDALL, A. F.; MORRIS, R. C. (eds) **Iron-Formation: Facts and Problems**. Amsterdam, Elsevier, 558p. 1983.

TRENDALL, A. F.; BLOCKLEY, J. G. The iron formations of the Precambrian Hamersley Group, Western Australia, *Bulletim 119, Geological Survey of Western Australia*, 366p. 1970.

TROMPETTE, R. **Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma)**. Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa. A.A. Balkema, Rotterdam, 350 pp. 1994.

TULLER, M. P. **Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais**. Folha Capelinha. Brasília: DNPM/CPRM, (mapas). 1985.

UHLEIN, A.; et al. A Glaciação Sturtiana (~750 Ma), a Estrutura do Rifte Macaúbas- Santo Onofre e a Estratigrafia do Grupo Macaúbas, Faixa Araçuaí. **Geonomos**, 15. 2007.

UHLEIN, A. **Transição craton-faixa dobrada: um exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasiliano) no Estado de Minas Gerais: Aspectos estratigráficos e estruturais**. 1991. Tese de Doutorado. São Paulo - IG-USP, 1991.

VIANA, H. S. **Projetos Mapas metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais**. Folha Curvelo. Brasília: DNPM/CPRM, (mapas). 1984.

VAN HOUTON, F. B.; ARTHUR, M. A. Temporal patterns among Phanerozoic oolitic ironstones and oceanic anoxia. In: YOUNG, T. P.; TAYLOR, W. E. G. **Phanerozoic Ironstones. Geological Society of London**, Special Publication, 46, p.33-49. 1989.

VICK, S. G. **Planing, Design, and Analysis of Tailings Dams**. 2 ed. Vancouver, BC, Canada: Bytech Inc Publishers, 1983.

VILELA, F. T. **Caracterização de Metadiamicctitos Ferruginosos da Formação Nova Aurora (Grupo Macaúbas, Orógeno Araçuaí) a Oeste de Salinas, MG**. 2010. 120p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.

VIEIRA, V. S. **Projetos Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais**. Folha Guanhães. Brasília: DNPM/CPRM, (mapas). 1985.

VIVEIROS, J. F. M.; et al. Geologia dos vales dos rios Peixe Bravo e Alto Vacaria, norte de Minas Gerais. In: 30º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Recife. SBG, **Anais**, v. 1, p. 243-254. 1978.

WALTER, M. R.; PREISS, W. V. Distribution of stromatolites in the Precambrian and Cambrian of Australia. **24th IGC**, Section 1, 1972. p. 85-93.

WIEDEMANN-LEONARDOS, C. M.; et al. Arquitetura de plútons zonados da Faixa Araçuaí-Ribeira. **Geonomos**, 8: 25-38. 2000.

WEY, D.; OSSEO-ASSARE, K. Particulate pyrite formation by $\text{Fe}^{3+}/\text{HS}^-$ reaction in aqueous solutions: effects of solution composition. In: **Colloids and Surfaces**, 118, p.51-61. 1996.

YEO, G. M. Iron-formation in the late Proterozoic Rapitan Group, Yukon and Northwest Territories. In: MORIN, J.A. (ed.) **Mineral Deposits of the northern Cordillera**: Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 37, p. 142–153. 1986.

YEO, G. M. The late Proterozoic Rapitan glaciation in the northern Cordillera. In: CAMPBELL, F.H.A. (ed) **Proterozoic Basins of Canada**: Geological Survey of Canada, Paper 81-10, p. 25–46. 1981.

YOUNG, G. M. Iron-formation and glaciogenic rocks of Rapitan Group, Northwest Territories, Canada. **Precambrian Research**, v.3, p.137-158. 1976.

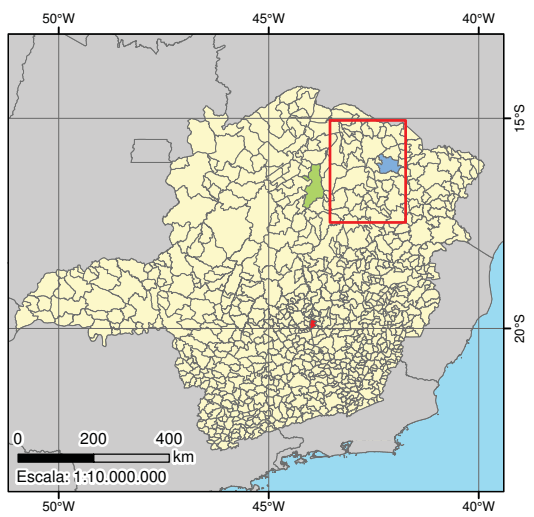
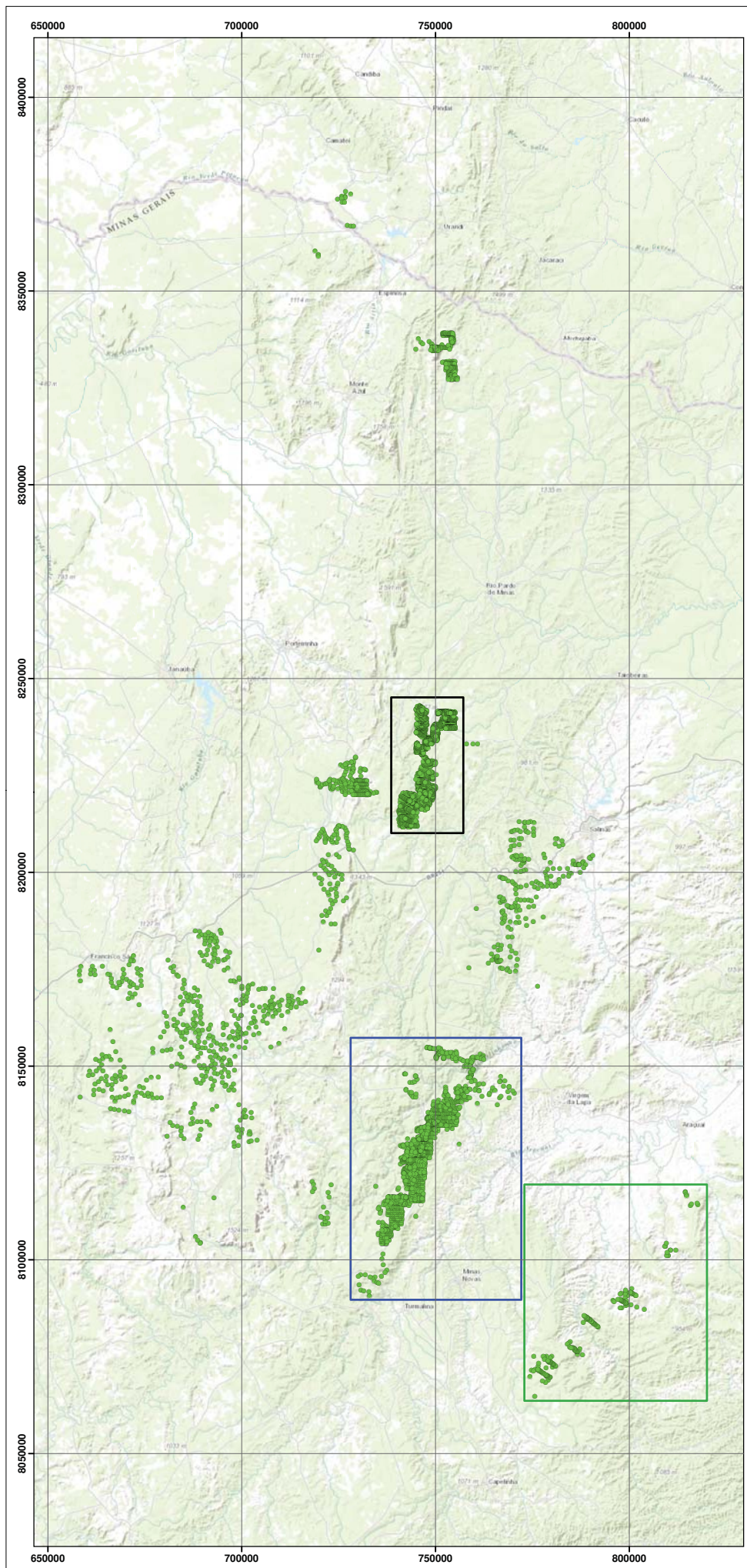
Sites Consultados:

- Ministério do Meio Ambiente, *O Bioma Cerrado* [internet]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>
- Inventário Florestal de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.inventarioflorestal.mg.gov.br/>

- ZEE - *Zoneamento Ecológico Econômico* do Estado de *Minas Gerais*. Disponível em: <http://www.zee.mg.gov.br/>
- http://www.salinas.mg.gov.br/portal_transparencia/leis.htm
- <http://www.camarasalinhas.mg.gov.br/>
- <http://www.graomogol.mg.gov.br/>
- <http://www.cmgm.mg.gov.br/>
- http://riachodosmachados.mg.gov.br/?page_id=2

Anexos

Anexo A – Mapa de Pontos Descritos em Campo



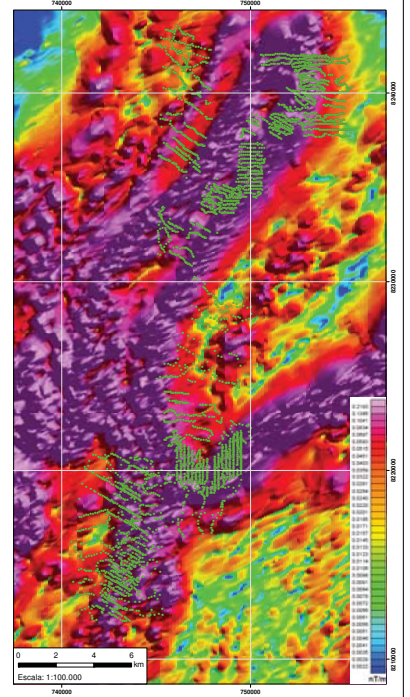
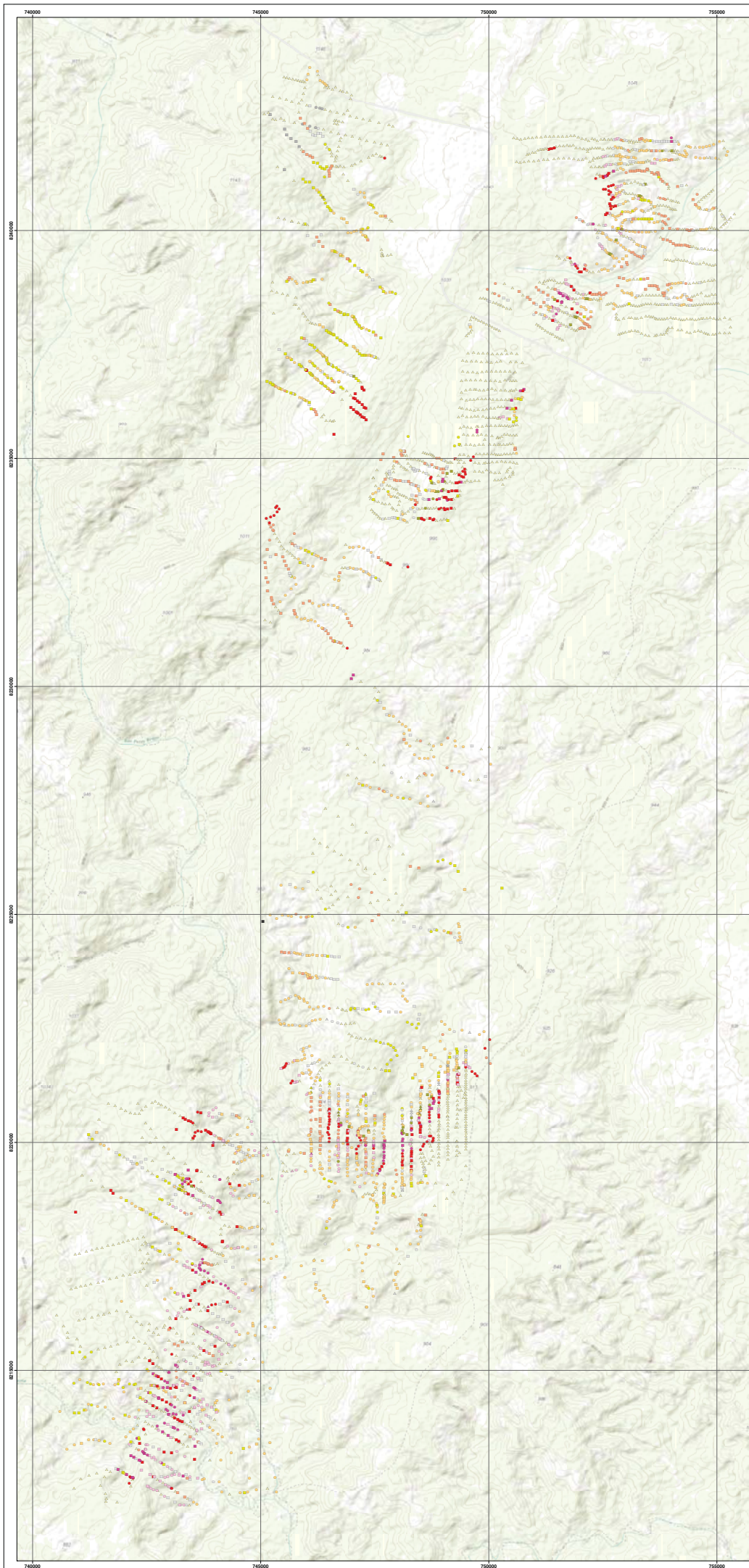
Datum: World Geodetic System 1984
Zona UTM: 23S

Legenda

- Pontos Geológicos
- Áreas de Detalhe**
- ▭ Formação Nova Aurora
- ▭ Formação Catutiba
- ▭ Formação Capelinha
- Convenções Topográficas**
- Drenagens
- Limites Estaduais
- Principais Rodovias
- Rodovias Secundárias
- Pontos Cotados
- ▭ Área de Estudo
- Limite de Municípios**
- Principais Municípios**
- Belo Horizonte
- Montes Claros
- Salinas
- Demais Municípios

Mapa de Pontos Geológicos Descritos em Campo		
Escala	Anexo	Data
1:750.000	Anexo A	Outubro/2015
Autor		
André Felipe Gonçalves De Mario		

Anexo B – Mapa de Pontos Litológicos – Formação Nova Aurora



0 500 1.000 2.000 3.000 4.000
m

Datum: World Geodetic System 1984
Zona UTM: 23S

Legenda

Pontos de Afloramento

- Canga Ferrífera
- Filito
- Filito Ferruginoso
- Laterita
- Metadiamiclito
- Metadiamiclito Ferruginoso
- Metadiamiclito Hematítico
- Quartzito
- Quartzito Ferruginoso
- Veio de Quartzito

Pontos de Bloco

- Canga Ferrífera
- Filito
- Laterita
- Manganês
- Metadiamiclito
- Metadiamiclito Ferruginoso
- Metadiamiclito Hematítico
- Quartzito
- Quartzito Ferruginoso
- Veio de Quartzito

Pontos de Solo

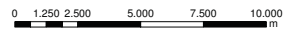
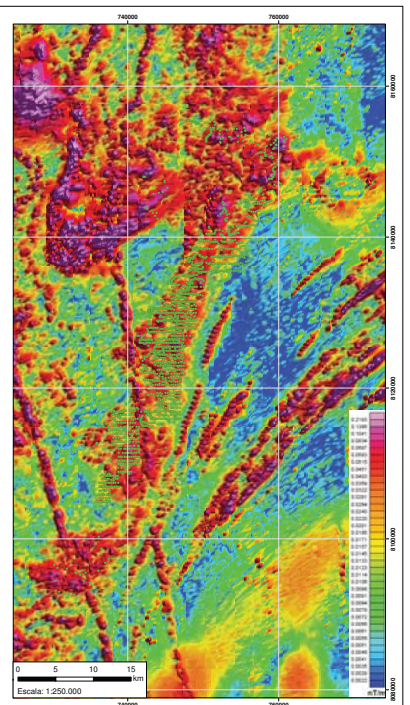
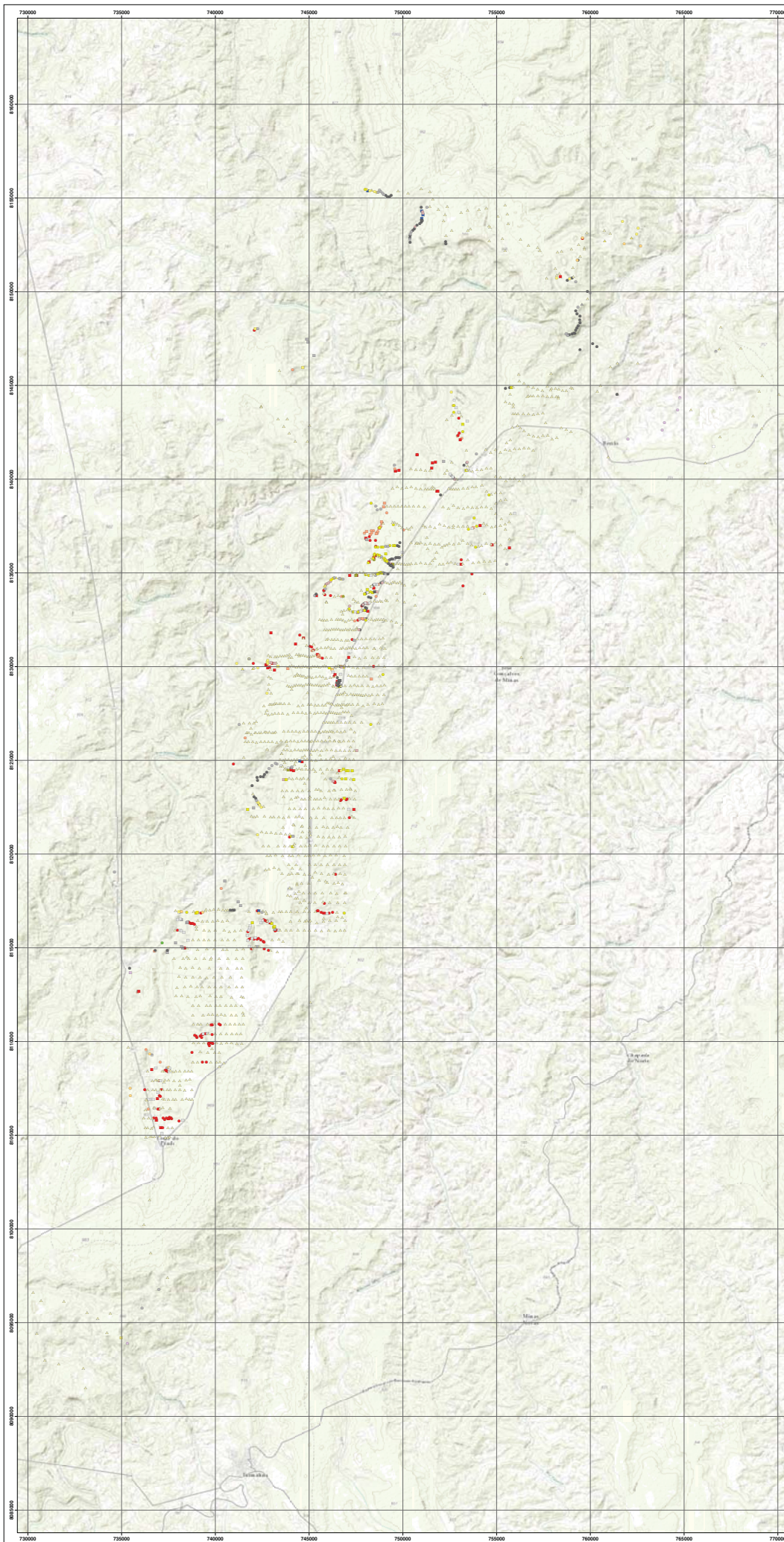
- ▲ Metadiamiclito
- ▲ Metadiamiclito Ferruginoso
- ▲ Metadiamiclito Hematítico
- ▲ Quartzito
- ▲ Quartzito Ferruginoso
- ▲ Solo
- ▲ Veio de Quartzito

Convenções Topográficas

- Drenagens
- Limites Municipais
- Estradas Não Pavimentadas
- Curvas de Nivel Mestras
- Curvas de Nivel Secundárias
- Pontos Colados

Mapa de Pontos Litológicos Formação Nova Aurora			
Escala	Projeto	Data	
1:30.000	Anexo B	Outubro/2015	
Autor André Felipe Gonçalves De Mariz			

Anexo C – Mapa de Pontos Litológicos – Formação Catutiba



Datum: World Geodetic System 1984
Zona UTM: 23S

Legenda

Pontos de Afloramento

- Canga Ferrífera
- Diabásio
- Filito
- Filito Ferruginoso
- Filito Grafítico
- Gnaíse
- Laterita
- Metadiamicito
- Metarenito
- Metarenito Ferruginoso
- Quartzito
- Quartzito Ferruginoso
- Veio de Quartzo

Pontos de Bloco

- Canga Ferrífera
- Caulim
- Filito
- Filito Ferruginoso
- Filito Grafítico
- Formação Ferrífera
- Gnaíse
- Laterita
- Metadiamicito
- Metarenito
- Metarenito Ferruginoso
- Quartzito
- Quartzito Ferruginoso
- Veio de Quartzo

Pontos de Solo

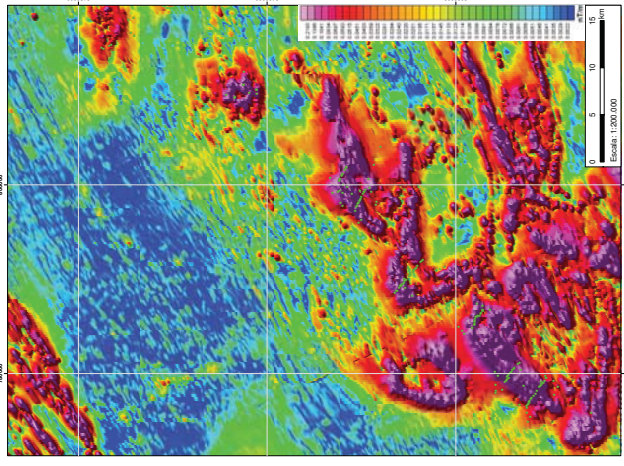
- ▲ Filito
- ▲ Metarenito
- ▲ Solo

Convenções Topográficas

- Drenagens
- - - - - Limites Municipais
- Principais Rodovias
- Rodovias Secundárias
- Curvas de Nivel Mestras
- Curvas de Nivel Secundárias
- Pontos Cotados

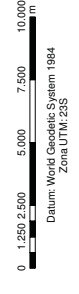
Mapa de Pontos Litológicos Formação Caturba		
Escala	Anexo	Data
1:25.000	Anexo C	Outubro/2015
Autor: André Felipe Gonçalves De Mello		

Anexo D – Mapa de Pontos Litológicos – Formação Capelinha



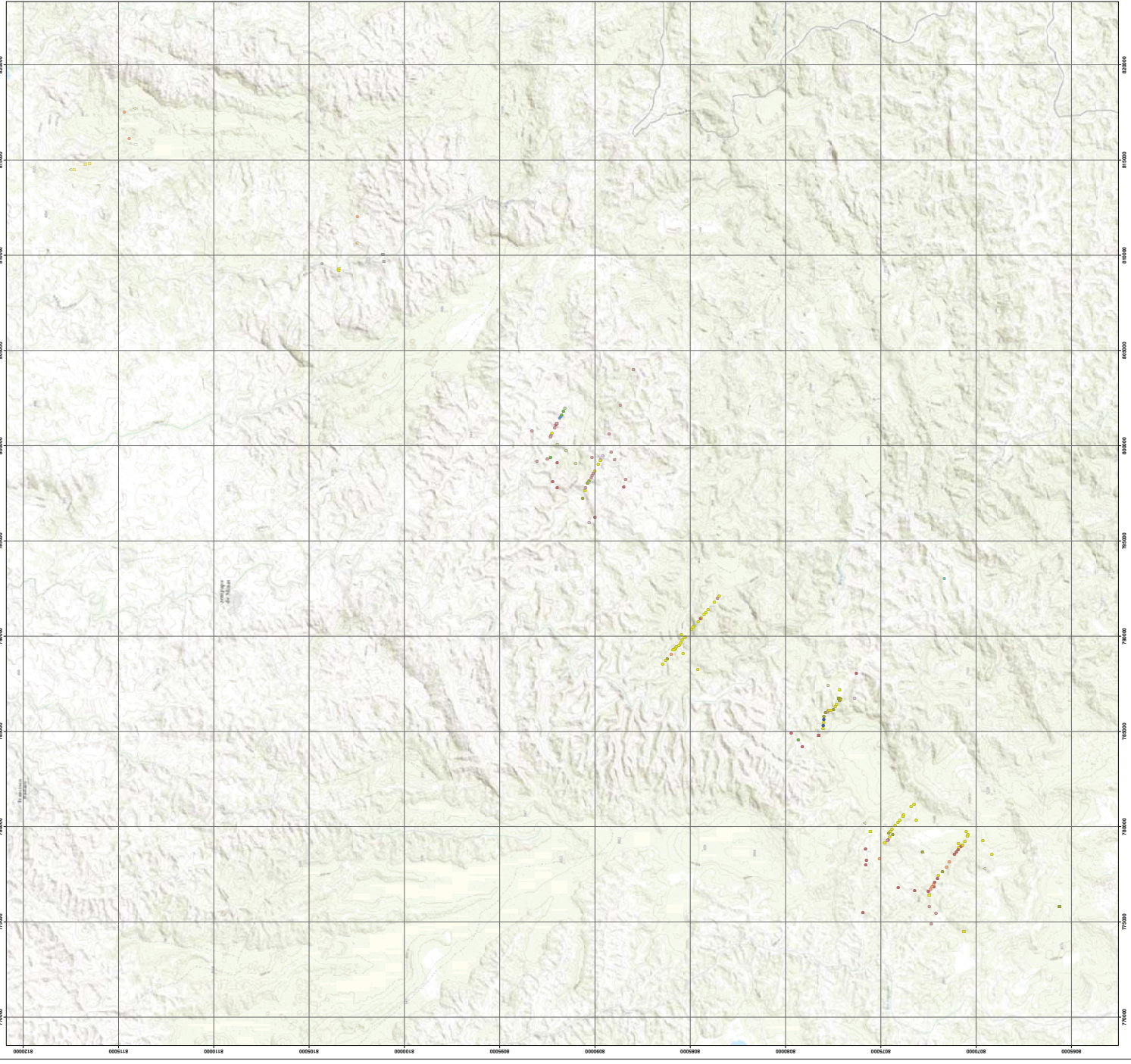
Legenda

- Pontos de Afloramento**
- Anfibolito
 - Formação Ferrífera Bandada
 - Filito
 - Gnaisse
 - Granada Mica Xisto
 - Laterita
 - Mármore
 - Metarenito
 - Quartzito Biótiá Xisto
 - Quartzito
 - Quartzito Ferruginoso
 - Pegmatito
 - Peridotito
 - Talco Xisto
 - Tremolita Xisto
- Pontos de Bloco**
- Metarenito
 - Quartzito
 - Quartzito Ferruginoso
 - Bloco, Quartzito Biótiá Xisto
 - Bloco, Granada Mica Xisto
 - Veio de Quartzo
- Pontos de Solo**
- Solo
- Convenções Topográficas**
- Drenagens
 - Limites Municipais
 - Principais Rodovias
 - Rodevias Secundárias
 - Curvas de Nivel Mestras
 - Curvas de Nivel Secundárias
 - Pontos Contados



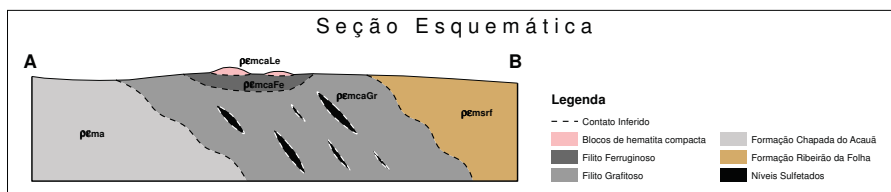
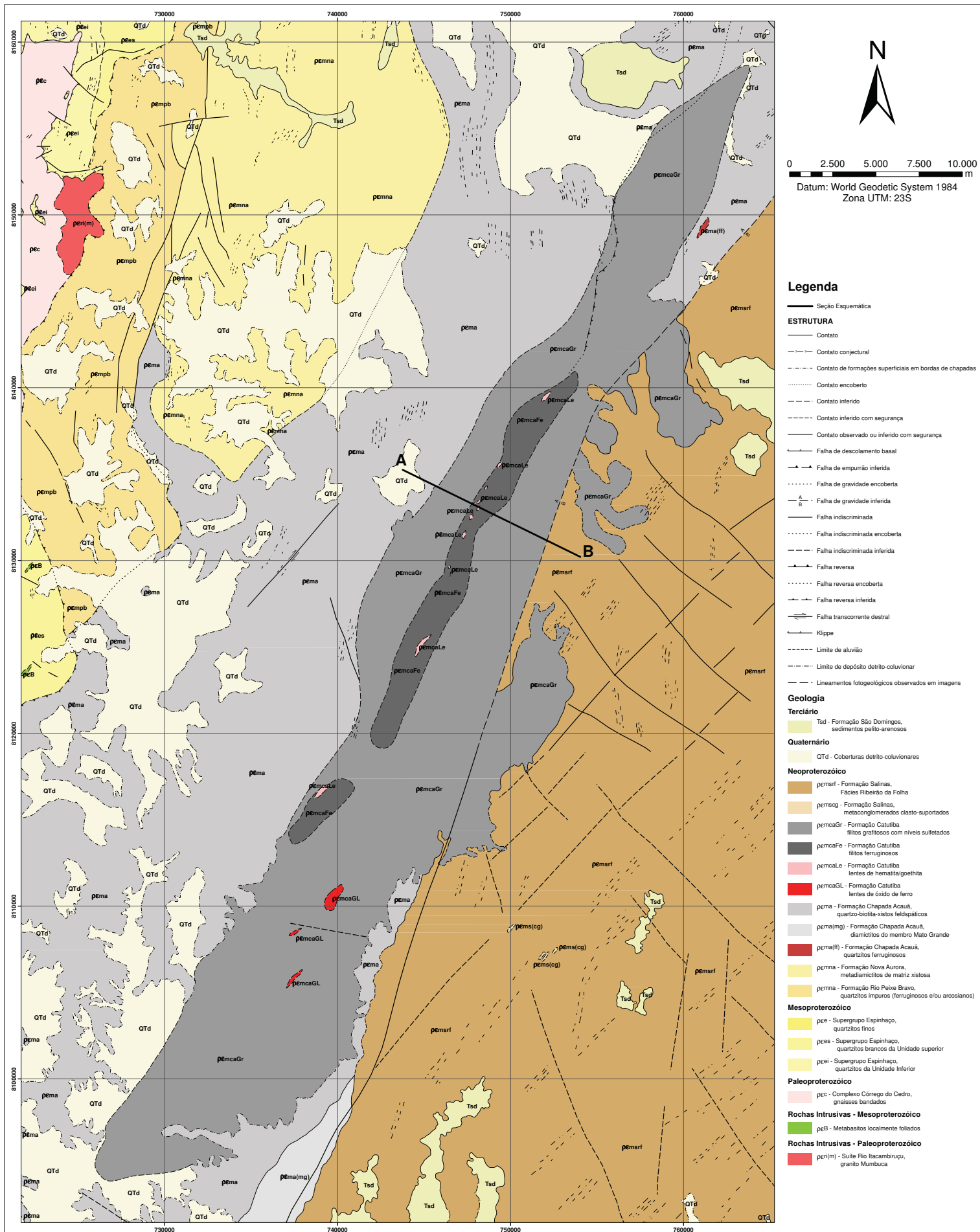
Datum: World Geodetic System 1984
Zona UTM: 23S

Mapa de Pontos Litológicos Formação Capelinha			
Escala	1:25.000	Projeto	Outubro/2015
Auto		Autores	André Felipe Gonçalves De Melo



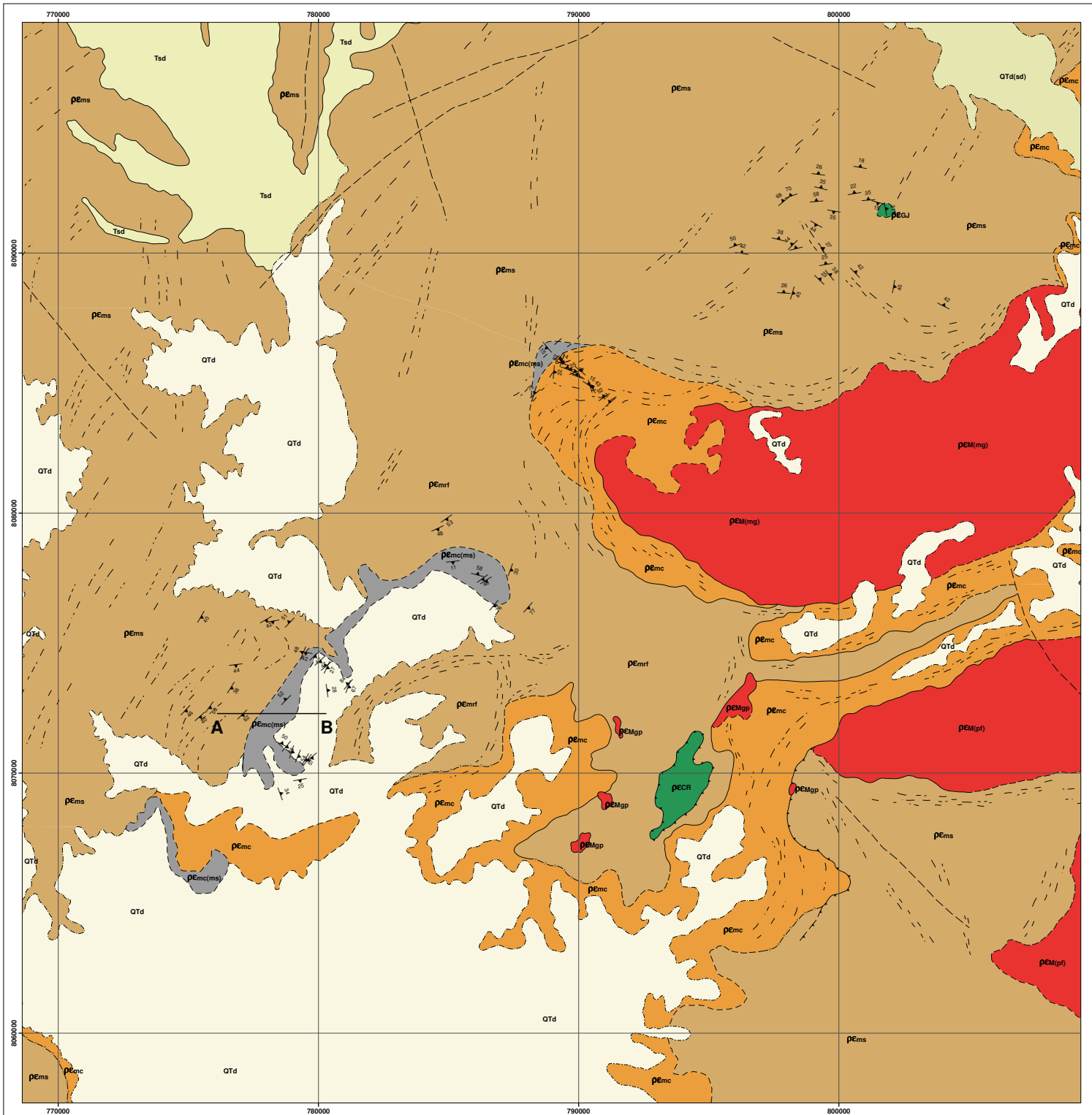
Anexo E – Mapa Geológico Regional – Membro Riacho Poções

Anexo F – Mapa Geológico Regional – Formação Catutiba



Mapa Geológico Formação Caturba		
Escala 1:100.000	Anexo Anexo F	Data Outubro/2015
Autor André Felipe Gonçalves De Mario		

Anexo G – Mapa Geológico Regional – Formação Capelinha



Legenda

- secao_capelinha
- Estruturas Medidas**
- ▲ Folição
- Estrutural**
- Contato
- - - Contato conjectural
- - - Contato de formações superficiais em bordas de chapadas
- - - Contato inferido
- - - Contato inferido com segurança
- Falha de empurrão
- Falha de empurrão inferida
- - - Limite de depósito detrito-coluvionar
- - - Lameamentos observados em imagens

Geologia

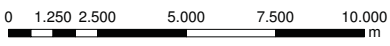
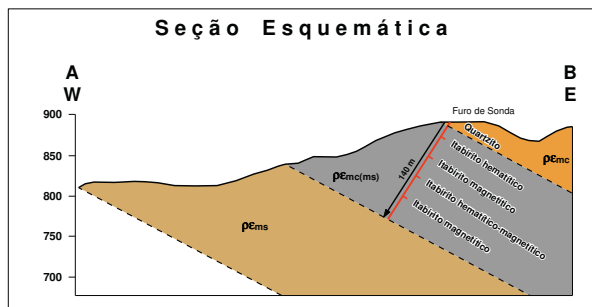
- QTd - Coberturas elúvio-coluvionares
- QTd(sd) - Coberturas elúvio-coluvionares, sedimentos da Formação São Domingos

Terciário

- Tsd - Formação São Domingos, sedimentos pelito-arenosos

Neoproterozóico

- pEmgp - Suite Mangabeiras, granitos Pegmatóides
- pEm(pf) - Suite Mangabeiras, corpo Pedra Formosa
- pEm(mg) - Suite Mangabeiras, corpo Morro Grande
- pEmc - Formação Capelinha, quartzitos
- pEmc(ms) - Formação Capelinha, formações ferríferas bandadas
- pEms - Formação Salinas, quartzo-mica-xistos
- pEmr - Formação Salinas, Fácies Ribeirão da Folha
- pEgJ - Corpo Metatramáfico Granjas
- pEcr - Corpo Metatramáfico do Corrego do Rubinho



Datum: World Geodetic System 1984
Zona UTM: 23S

Mapa Geológico Formação Capelinha		
Escala	Anexo	Data
1:75.000	Anexo G	Outubro/2015
Autor		
André Felipe Gonçalves De Mario		

Anexo H – Descrições Petrográficas

Amostra PT- 01 – Metadiamicrito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha cinza escuro, brilho metálico, bem foliada, com textura lepidoblástica dada pela orientação de cristais de hematita especular, cujo hábito é placóide. Observam-se cristais arredondados/hexagonais de magnetita distribuídos por toda rocha. Por fim, notam-se finas lentes e pequenos agregados quartzosos, de cor branca. As lentes atingem até 3 cm de comprimento e 0,5 cm de largura estando concordante à foliação.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha anisotrópica com laminação gerada por intercalações de delgados leitos (placas ou lâminas) rica em especularita, de espessuras médias de aproximadamente 0,1 mm, com leitos ricos em minerais granulares silicáticos contendo cristais euedrais a subedrais de martita de 0,3 mm de diâmetro médio, envolto por grãos alongados de minerais não opacos (Fig. 1). A foliação é gerada pela isorientação de cristais de especularita e em menor intensidade pelos cristais silicáticos (Fig. 1). A textura varia de lepidoblástica nos leitos mais ricos predominando especularita e a granuloblástica, inequigranular, nos leitos mais pobres em especularita.

Composição modal estimada visualmente:

Não opacos $\pm 63\%$ - (quartzo $\pm 50\%$; de muscovita/sericita $\pm 9\%$; apatita $\pm 4\%$; turmalina (traços); biotita (traços); clorita (traços); hidróxidos de ferro (traços).

Especularita $\pm 30\%$

Martita $\pm 7\%$

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Especularita – As palhetas de especularita apresentam imperfeições e inclusões de minúsculos grãos de quartzo arredondado em quantidades razoáveis (0,01%). O contato é paralelo entre si e

com os minerais não opacos. As maiores lâminas em perfil atingem quase que 1 mm de comprimento e menos de 0,1mm de largura (Fig. 1).

Martita – Alguns cristais chegam a atingir 1 mm, possui poucos resíduos magnetíticos, estando este concentrado geralmente no centro do cristal, no entanto a grande predominância é da hematita (Fig. 1). Encontram-se cavidades de dissolução irregulares, porém não foram verificadas inclusões minerais. Possuem forma hexagonal a quadrática, com formato bem definido, por vezes com bordas quebradas/corroídas.

Não Opacos:

Quartzo: Vários cristais com dimensões entre 0,4 e 1,5 mm, mostram-se detríticos e com pouca modificação na morfologia primária por dissolução e sobrecrecimento. Alguns cristais apresentam leve extinção ondulante com recuperação e recristalização nas bordas. Na sombra de pressão (Fig. 1), os grãos formam agregados policristalinos alongados e exibem contato poligonal.

Muscovita/sericita: palhetas bem orientadas, constituindo trilhas junto com a especularita e leitos lepidoblásticos em associação com apatita de até 1 mm de espessura.

Apatita: constitui prismas euedrais a subedrais que chegam a atingir 0,5 mm de comprimento, porém no geral são menores que 100 µm. Formam concentrações em leitos micáceos, dispersos na lâmina, e chegam a formar pequenas lentes como constituinte dominante.

Turmalina: pequenos cristais euedrais a anedrais mostrando ser metamórfico e detrítico.

Também foram identificados alguns cristais de biotita, clorita e películas de hidróxidos de ferro

Comentários petrogenéticos: A Rocha foi submetida à deformação e metamorfismo de baixo grau com passagem de fluidos associados, que favoreceram na transformação da magnetita em hematita. A evolução tectono-metamórfica imposta à rocha parece ter contribuído com a concentração do óxido de ferro e conseqüente migração de sílica no sistema

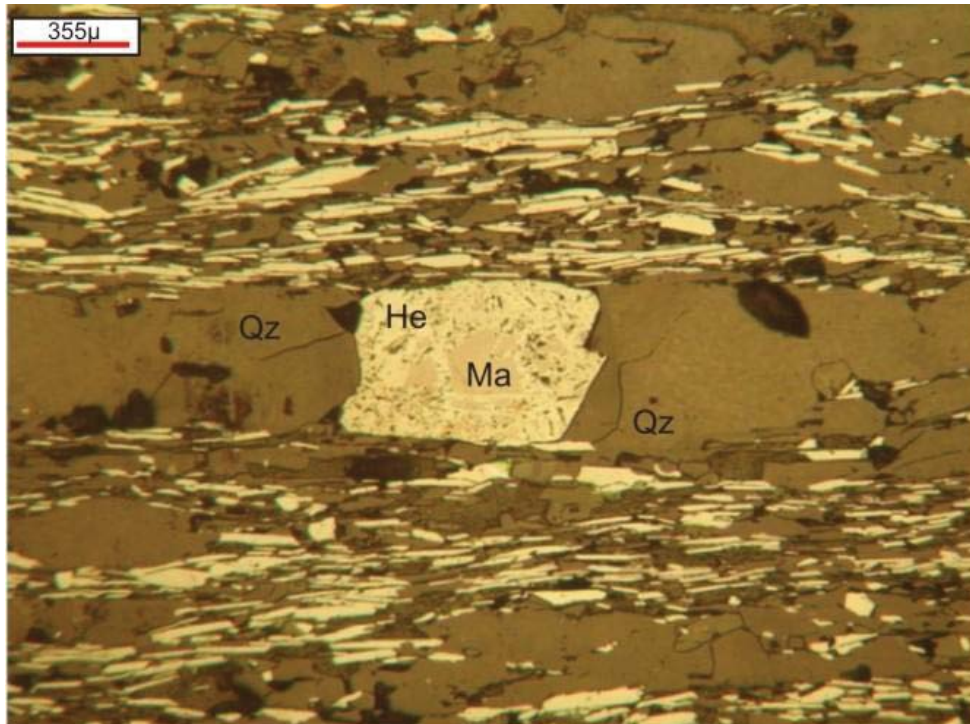


Figura 1- Fotomicrografia em aumento de 100x, em luz refletida. A imagem mostra o cristal de martita, restando porções de magnetita no núcleo e hematita já predominante no cristal. Nota-se a sombra de pressão dada pelo quartzo e intercalações de quartzo e especularita compondo a foliação

Amostra PT- 02 – Metadiamiccito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha cinza escura, bandada, cujas bandas são de milimétricas até 1 cm. As bandas brancas são constituídas de seixos de fragmentos líticos, ovalados, ferruginizados com até 2 cm de comprimento. As bandas de cor cinza são compostas predominantemente por hematita fina orientada paralelamente aos planos de acamamento. Essas bandas têm até 1,5 cm no testemunho.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha anisotrópica bandada, com bandamento contínuos, e com espessuras milimétricas constituídos por predominância de minerais opacos (especularita) com ripas em média de 0,1 mm sobre as bandas de não-opacos formado principalmente por quartzo, cujos grãos são alongados e atingem 3 mm. Nas bandas mais ricas em minerais transparentes observa-se maior

quantidade de cristais de martita subedrais a levemente arredondadas de 0,5 mm de diâmetro, sendo que alguns cristais de martita apresentam sombra de pressão.

Composição modal estimada visualmente:

Não opacos ± 65 ($\pm 40\%$ de quartzo, $\pm 8\%$ de sericita/muscovita, $\pm 5\%$ de apatita, $\pm 5\%$ de carbonato, $\pm 3\%$ de clorita, $\pm 2\%$ de biotita verde e $\pm 2\%$ de pseudomorfos de feldspato)

Especularita ± 20

Martita ± 15

hidróxido de ferro (traços)

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Especularita – Nas lâminas de especularita foram vistas razoáveis quantidades de inclusões silicosas micrométricas (0,01%), arredondadas. As lâminas possuem contato paralelo umas com as outras, estando fortemente orientadas e associadas a intercalações com não-opacos. O contato é reto entre os outros minerais, o que facilita na desagregação desta rocha.

Martita – Os cristais são da ordem média de 0,5 mm, e os maiores possuem em torno de 1 mm. Alguns destes possuem porções mais acinzentadas, e por sua vez maiores quantidade de microcavidades. Ainda é possível verificar a baixa presença de magnetita nesses cristais, dominando o teor hematítico. Notam-se preservados ainda pequenos cristais de magnetita com diâmetro inferior a 0,5 mm.

O indicador cinemático na lâmina é evidenciado pela sombra de pressão nos cristais de martita, e indica movimento sinistral na seção.

Não opacos:

O quartzo ocorre no *fabric* da amostra basicamente de três formas texturais. Na matriz como cristais recristalizados dinamicamente por migração de limites e, localmente com contatos retos em junções tríplices, neste caso os cristais tem de 40 a 100 μm . Também ocorrem como cristais arredondados maiores, ovalados de até 1,5 mm de comprimento, alguns com características sedimentares preservadas. Associado a estes ocorrem sombras de pressão com quartzo remobilizado. A terceira forma ovalada é dada por agregados de quartzo com carbonato associado cujos limites externos têm forma elíptica de até 5,0mm (fragmentos líticos).

A sericita/muscovita constitui palhetas bem orientadas dispostas na forma de trilhas junto com a especularita e leitos lepidoblásticos

A apatita: ocorre como cristais prismáticos finos bem orientados, com maior concentração nos leitos mais ricos em filossilicatos. Chega a formar agregados policristalinos de até 2 mm de comprimento, composto por apatitas de granulação fina e microlentes carbonáticas, aparentando tratar-se de fragmento de fosforita recristalizada.

O carbonato encontra-se associado ao quartzo formando agregados e também, porém mais raro, como pequenos cristais romboédricos (inferior a 0,1 mm).

A clorita ocorre sob a forma de placas de coloração verde claro, com baixa birrefringência, tamanho em torno de 0,1mm, pouco freqüente e isótropa quanto à estruturação. Em algumas porções muda seu tom de verde para um matiz mais forte e aumenta a birrefringência, sugerindo a presença de restos de biotita. A clorita aparece dispersa e não forma aglomerados.

A biotita verde ocorre como palhetas anedrais a subedrais relativamente grande, disposto nos micrólitos, onde pode estar orientado perpendicularmente a orientação geral.

Os pseudomorfos de feldspato possuem dimensões menores que 300 μm , estão dispersos entre os grãos de quartzo em certas bandas e são representados por uma massa fina de filossilicatos (sericita + caulinita?).

Localmente observam-se filmes de hidróxidos de ferro.

Comentários petrogenéticos: A Rocha foi submetida à deformação e metamorfismo de baixo grau com passagem de fluidos associados, que favoreceram na transformação da magnetita em hematita. A evolução tectono-metamórfica imposta à rocha parece ter contribuído com a concentração do óxido de ferro e conseqüente migração de sílica no sistema

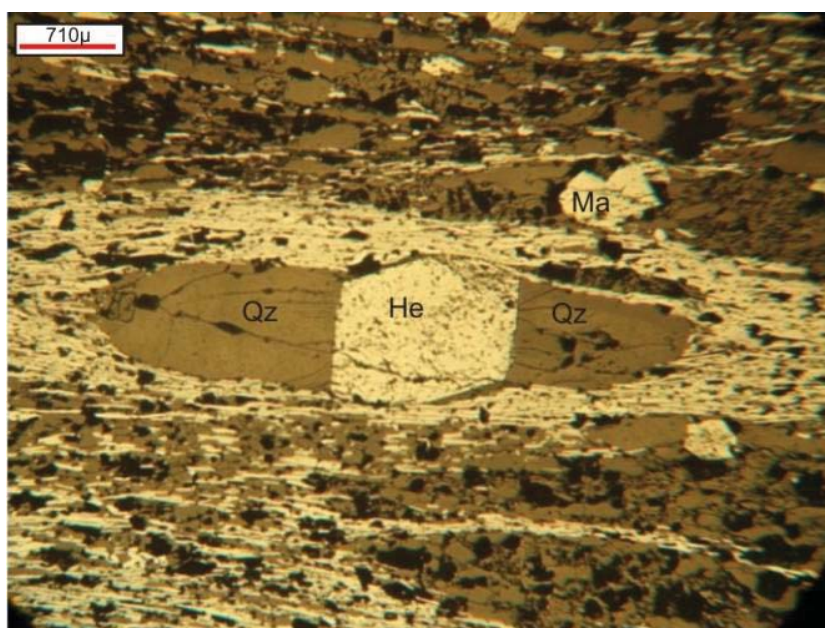


Figura 2- Fotomicrografia em aumento de 50x, em luz refletida. A imagem mostra o cristal de magnetita no centro estando totalmente martitizado. Nota-se a sombra de pressão dada pelo quartzo e a disposição dos mesmos, inferindo uma movimentação sinistral. As intercalações de quartzo e especularita compõem a foliação da rocha

Amostra PT- 03 – Metadiamictito

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha cinza clara com foliação contínua fina, com granulometria na fração areia média a fina, com raros seixos (fragmentos líticos) de cor cinza, arredondados de até 4 mm de diâmetro. Apresentam cristais de hematita submilimétricas placóides orientados paralelamente à foliação.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha lepidoblásticas dada pela orientação unidirecional de cristais de muscovita, biotita e quartzo recristalizado. Ocorrem clastos de quartzo de até 1,0 mm arredondados, com sinais de recuperação em subgrãos.

Composição modal estimada visualmente(%):

Quartzo	± 47	Apatita	(traços)
Muscovita	± 30	Zircão	(traços)
Carbonato	± 5	Clorita	(traços)
Biotita	± 5	Albita	(traços)
Magnetita	± 2	Turmalina detrítica e neoformada	(traços)
Rutilo	± 1		

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

O quartzo apresenta nítidos sinais de recristalização dinâmica dada por migração de limites, chegando a formar pequenos *ribbons* de até 0,5mm. De maneira geral a recristalização gerou contatos retos a engrenados. Foram observados aglomerados quartzosos cujos limites externos são arredondados e ricos em inclusões de sericita/muscovita final, sugerindo ali que o quartzo constitui produto de transformação de um mineral pretérito, possivelmente feldspato (Foto 3). De maneira semelhante foram observados aglomerados de cristais anedrais, submilimétricos de carbonato com quartzo associado, cujos limites externos desenham um formato ocelar à lenticular difuso (fragmentos líticos). Alguns grãos maiores mostram ainda feições sedimentares e a extinção ondulante quando aparece é fraca.

O carbonato ocorre sob a forma de cristais anedrais, chegando a apresentar aspecto prismático e mais raramente como romboedros subedrais a euedrais. Está disperso ocorrendo em maior teor em certas bandas.

A biotita é pleocróica marrom-esverdeada e, assim como a muscovita, ocorre na forma de cristais placóides de até 1,0mm, com discreta crenulação localizada. A biotita não está perfeitamente orientada e ocorre predominantemente nos micrólitos.

A magnetita ocorre como cristais euédricos a subédricos de até 0,7mm.

Comentários petrogenéticos: Na rocha ocorre registro de metamorfismo de fácies xisto verde médio, da ordem de 350-450°C, com passagem de fluidos associados a qual foi notada devido à carbonatação e cloritização incipiente. Os fantasmas de possíveis grãos de feldspatos e a grande quantidade de muscovita sugerem que o protólito trata-se de sedimentação imatura, possivelmente subarcosiano com matriz argilosa (Grauvaca), podendo ter sido depositado por corrente de turbidez.

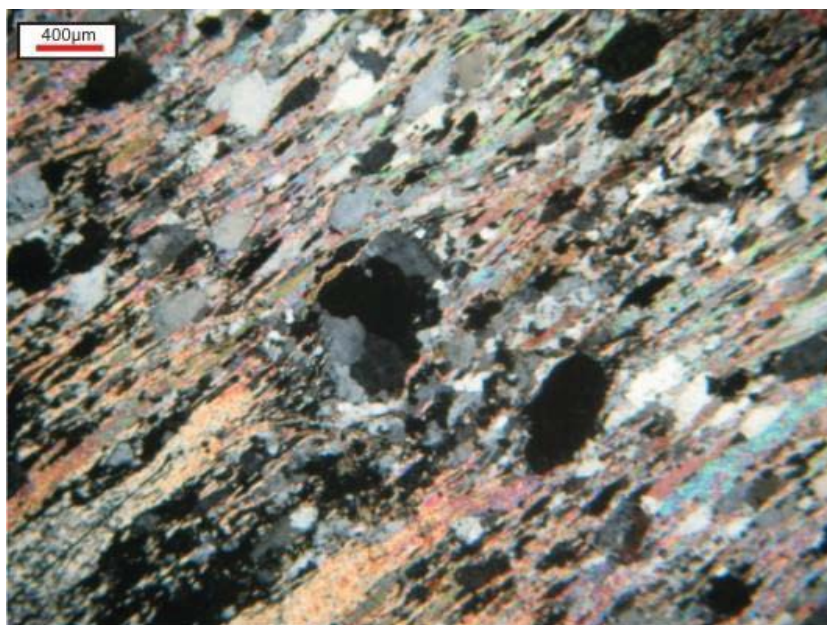


Figura 3. Fotomicrografia de um metadiamictito, que mostra no centro da foto, aglomerado quartzoso com limites externos arredondados, o que sugere possível dissolução de feldspato. Nicóis paralelos, luz transmitida

Amostra PT- 04 – Metadiamictito Hematítico

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha cinza escura a avermelhada, densa, anisotrópica, com bandamento composicional em cujas bandas variam de 0,4 a 2,5 cm de espessura, definidas por hematita, intercaladas com material claro avermelhado. Na fração areia fina, ainda ocorrem seixos de fragmentos líticos de 3 cm, os quais são lenticulares a ovóides e apresentam cristais submilimétricos a milimétricos de hematita em disposição espacial aleatória.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha com bandamento composicional bem desenvolvido, dado por bandas formadas essencialmente por plaquetas submilimétricas de hematita, magnetita e quartzo, intercalada com bandas quartzo-micáceas. Com hematita disseminada, estas têm até 2,0mm de espessura, enquanto que as bandas hematíticas chegam até 10,0mm. Paralelo ao bandamento ocorre uma foliação penetrativa contínua dada pela orientação de quartzo, mica e hematita (especularita). Ainda pode ser reconhecido um bandamento sedimentar gradacional entre níveis mais micáceos e níveis mais grossos e quartzosos, com restos de grãos detríticos de quartzo com até 700µm de diâmetro.

Composição modal estimada visualmente:

Não opacos ±40% (±24% de quartzo, ±12% de muscovita, ±2% de biotita e ±2% de apatita).

Hematita (especularita?) ±50%

Magnetita/martita ±10%

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

O quartzo ocorre como produto de recristalização com migração de limites, orientada segundo a foliação de rocha, com granulometria inferior a 0,5mm. Localmente atinge 1,0mm em sombras de pressão de cristais de magnetita e os grãos arredondados a ovalados de origem detrítica chegam a atingir 1 mm de comprimento ou diâmetro.

A muscovita é incolor e apresenta hábito característico micáceo, que em corte perpendicular a foliação gera aspecto acicular a ripiforme.

A biotita ocorre nas zonas de sombra de pressão e nos micrólitos, cujos cristais apresentam-se maiores que os da muscovita e são pouco orientados.

Os minerais metálicos são representados por cristais de specularita e magnetita, esta última forma cristais euédricos, parcial a totalmente martitizados, de 0,5mm de diâmetro em média. Em torno dos cristais de martita observam-se mobilizados de quartzo, com formas assimétrica indicando rotação sinistral. Nos cristais de martita também se observa micro a criptoporos e raras inclusões de micro grãos de quartzo. Já a specularita ocorre na forma de dois domínios granulométricos: um da ordem de 100 µm e outro de 0,4 µm de comprimento, os quais formam bandas que se intercalam (Figura 4).

Comentários petrogenéticos: Rocha foi submetida a uma deformação e metamorfismo da fácies xisto verde médio a inferior, com passagem de fluidos associados. A deformação imposta parece ter contribuído para concentração dos óxidos de ferro e remoção parcial da sílica do sistema.

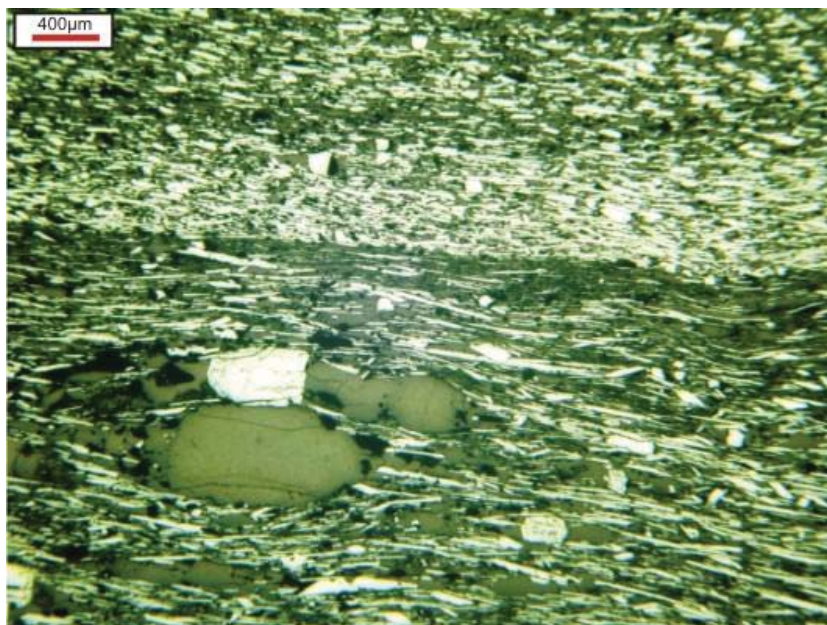


Figura 4 Fotomicrografia de metadiamicctito ferruginoso que mostra placas euédricas de especularita orientadas unidirecionalmente e cristais anedrais de magnetita. Nicóis paralelos. Luz transmitida

Amostra PT- 05 – Metadiamicctito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Metassedimento mal selecionado, cinza escuro, com grânulos e pequenos seixos (dimensões de 1 mm até 2,5 cm). Estes apresentam composição variada, são angulosos a subarredondados, estando envoltos por uma matriz ferruginosa muito fina.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha anisotrópica, com matriz lepidoblástica dada por placas ou lâminas de especularita (com comprimento médio de 0,2mm), ressaltando cristais euedrais de magnetita martitzada, envolta por não opacos, que também se encontram dispersos por toda lâmina, orientado segundo a direção das lâminas de especularita, compondo a foliação. Não há bandamento definido.

Composição modal estimada visualmente:

Não opacos ± 50% (± 40% de quartzo, ± 5% de muscovita/sericita, ± 3% de biotita, ± 2% de apatita e traços de clorita).

Especularita ± 40

Martita ± 10

Muscovita/sericita (traços)

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Martita – Veem-se pouquíssimos resíduos de magnetita, dominando hematita, mas conservando a forma do cristal de magnetita. Alguns ultrapassam 1,5 mm, outros são micrométricos. Nestes cristais observam-se imperfeições representadas por microcavidades irregulares e raras ($\pm 0,005\%$) inclusões de sílica em alguns desses cristais.

Especularita – Foram vistos várias inclusões não opacas, possivelmente quartzo, em algumas lâminas de specularita ($\pm 0,05\%$). (Foto 0,3, uma das primeiras)

Não Opacos:

O quartzo ocorre sob três formas: detrítico, recristalizado e neoformado; alguns de aspecto *fish* sugerem grãos detríticos ou paleo sombra de pressão.

A biotita cloritizada constitui cristais relativamente grandes, que se encontram tanto dispersas como contidas juntamente com o quartzo na sombra de pressão de cristais de magnetita martitizados.

A apatita forma cristais prismáticos bem desenvolvidos, agregados lenticulares de granulação fina, sugerindo tratar-se de micro seixos líticos de fosforita ou fragmento de material fosfático.

Os filossilicatos incolores (muscovita/sericita) ocorrem como palhetas finas, dispersas e, localmente, aparecem formando agregados com disposição caótica e granulação fina (microcristalino) sugerindo tratar-se de pseudomorfos de feldspatos detríticos.

O carbonato aparece sob a forma de cristais isolados anedrais a euedrais (romboedros) e formando pequenos agregados; a turmalina constitui cristais euedrais a subedrais minúsculos sugerindo ser de origem metamórfica e a clorita aparece como palhetas se confundindo com a biotita e muscovita.

Comentários petrogenéticos: A rocha foi submetida à deformação e metamorfismo de baixo grau com passagem de fluidos associados, que favoreceram na transformação da magnetita em hematita. A evolução tectono-metamórfica imposta à rocha parece ter contribuído com a concentração do óxido de ferro e conseqüente migração de sílica no sistema

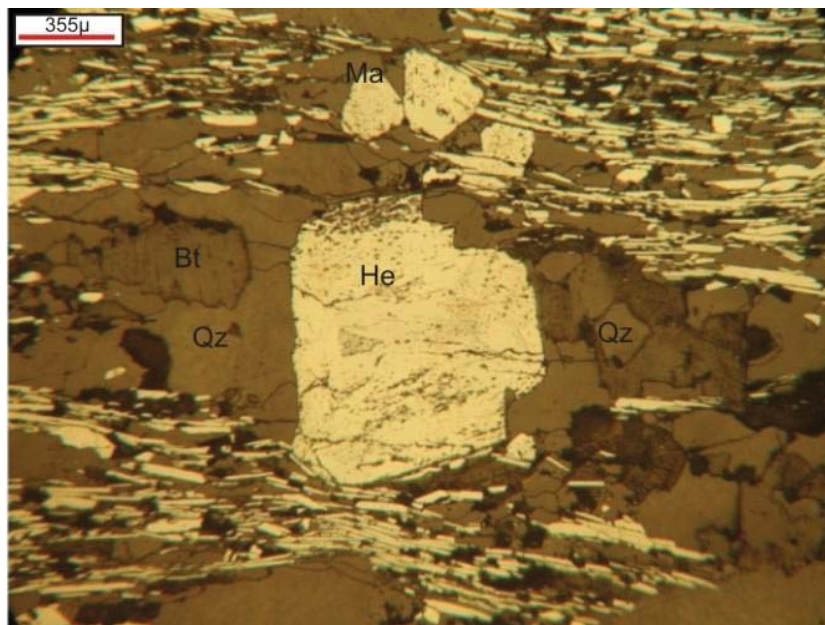


Figura 5- Fotomicrografia em aumento de 100x, em luz refletida. A imagem mostra o cristal de magnetita no centro, estando totalmente martitizado e exibindo microcavidades, estando as bordas levemente quebradas. Nota-se a sombra de pressão dada pelo quartzo. As intercalações de quartzo e especularita compõem a foliação da rocha

Amostra PT- 06 – Metadiamicrito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha cinza escura com leitos esbranquiçados que definem o bandamento composicional da amostra, o qual é paralelo a foliação principal que se encontra localmente crenulada. A hematita forma bandas de até 0,5 cm de espessura com cristais submilimétricos.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha anisotrópica composta por porções lenticulares, lepidoblásticas e porções granoblásticas a granolepidoblásticas. As primeiras constituídas por especularita fina com tamanho médio inferior à 0,1 mm e bem orientada e a segunda, com matriz essencialmente granoblástica, constituída por não-opacos e especularita micrométrica. Nesse domínio as palhetas de especularita são mal orientadas, aparecendo quartzo com diâmetro médio em torno de 0,5 mm e clastos líticos maiores que 8 mm.

Composição modal estimada visualmente:

Especularita \pm 40%

Não opacos ± 60 ($\pm 50\%$ de quartzo e $\pm 10\%$ de sericita/muscovita)

Martita (traços)

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Especularita – Apesar de estarem bem finas/micrométricas foi possível identificar em algumas placas algumas inclusões de não-opacos, possivelmente quartzo com forma arredondada a elíptica. Estima-se que estas inclusões representem cerca de 0,01% do volume ocupado pelos cristais de specularita. As imperfeições como buracos, são facilmente identificáveis. O contato entre esses minerais é plano paralelo, o que facilita na desagregação da rocha.

Não opacos :

Quartzo: Atingem dimensões próximas a 1 mm e média de 0,3mm, exibindo contato retilíneo, por vezes serrilhado, compreende também clastos de rocha arredondados, alongados (metarenito siltoso de 8 mm). Os grãos detríticos preservados apresentam formas arredondadas, sendo que alguns contêm acículas de rutilo.

Sericita/Muscovita: encontram-se como palhetas dispersas na lâmina, constituindo o bandamento na forma de concentrações difusas junto com a hematita especular. Nos domínios ricos em quartzo com formas sedimentar residual e rara; a não ser quando há presença de fragmentos de argilito metamorfisado, onde este é o constituinte dominante.

Também foram observadas pequenas quantidades (traços) de turmalina esférica de cor verde (grãos detríticos); pequenos cristais de apatita; e martita – Grãos de 0,1 mm de diâmetro, subedrais, exibindo imperfeições e inclusões não opacas.

Comentários petrogenéticos: A presença de seixos de silito e argilito, e também alguns grãos de quartzo rico em pequenas palhetas de sericita, que sugerem tratar-se de grãos detríticos de feldspato substituídos por quartzo e sericita. O protólito desta rocha pode tratar-se de uma metadiamictito ferruginoso, cujo processo tectono-metamórfico pode ter enriquecido esse material em ferro.

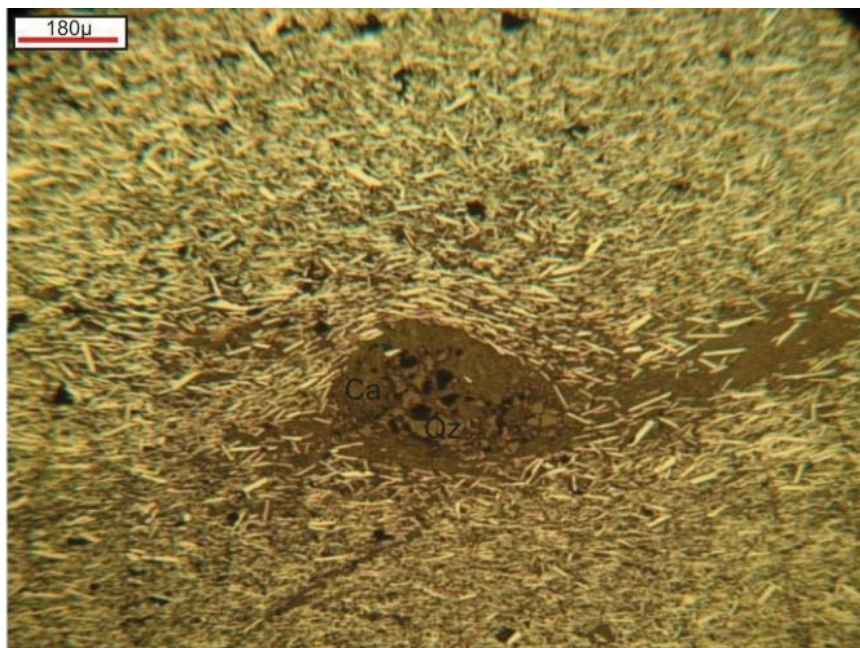


Figura 6 - Fotomicrografia em aumento de 200x, em luz refletida. A imagem mostra agregado de quartzo e sericita envolto por cristais de especularita. A porção de especularita com tamanho inferior a 0,1mm encontra-se orientada, porém os maiores cristais (tamanho em torno de 0,1mm) não se encontram orientados

Amostra PT- 07 – Quartzito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: quartzito de cor cinza escuro, friável, bandado difusamente por níveis mais ou menos hematíticos, com clastos milimétricos de fragmentos líticos. No plano da foliação paralela ao bandamento observou-se lineação de crenulação.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura : Rocha pouco orientada, apresentando domínios de textura mista (lepidoblástica com granoblástica) e pequena porção predominantemente granoblástica com cristais de martita e não opacos (Fig. 7). A textura lepidoblástica se deve a leve orientação da fração de especularita de granulação menor (<0,1 mm). Na porção em que as lamelas de especularita possuem maiores dimensões (~0,3 mm) não há isorientação nítida. Ainda, tem-se a porção granoblástica dada por cristais de martita subedrais a euedrais de diâmetro entre 0,1 mm a 1 mm e quartzo. Os minerais não-opacos variam de micrométrico a 2 mm e possuem contato engrenado entre si.

Composição modal estimada visualmente(%):

Não opacos $\pm 45\%$ ($\pm 35\%$ de quartzo, $\pm 7\%$ de sericita, $\pm 2\%$ apatita, $\pm 1\%$ de pseudomorfos e traços de clorita e zircão).

Especularita $\pm 45\%$

Martita $\pm 10\%$

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Especularita- As lâminas de specularita apresentam pequenas quantidades de inclusões e imperfeições, e localmente, por não apresentarem boa orientação, os contatos são retos, porém paralelos ou imbricados.

Martita – A maior parte dos grãos de martita está envolto por não opacos, e estão presentes, predominantemente, nos locais que apresentam menor deformação, sendo possível reconhecer textura primária sedimentar clástica. Os cristais de martita com maior teor em hematita possuem maior quantidade de imperfeições dadas por pequenos microporos, e são na maior parte subedrais. Verificou-se baixíssima quantidade de inclusões silicosas nesses cristais.

O quartzo ocorre como grãos detriticos parcialmente preservados, com feições de rotação e produto de recristalização de granulação mais fina.

A sericita é fina, distribuída de forma irregular, estando em maior quantidade nos bandamentos difusos e leitos mais ricos em specularita bem orientada, onde ocorre intercrescida com essa.

A apatita chega a formar concentrações de minúsculos cristais, com aparência de pequenos seixos de fosforita impura e associa-se aos níveis mais ricos em sericita e hematita.

Os pseudomorfos exibem estrutura fibrosa, são alongados e sugerem tratar-se de “anfíbólios” alterado para filossilicato microcristalino intercrescido com hidróxido de ferro.

O zircão aparece como grãos arredondados menores que 40 μm . A clorita aparece localmente, constituindo massas fibrosas, podendo tratar-se de produto de alteração da biotita ou do anfibólio.

Comentários petrogenéticos: Sedimento predominantemente clástico, aparentemente bandado, em função da presença de porção mais fina (lamito) com arenito impuro, rico em ferro sin-sedimentar submetido a metamorfismo de fácies xisto verde de intensidade média (350°C a 400°C), com retrometamorfismo leve. Pode tratar-se de turbidito.

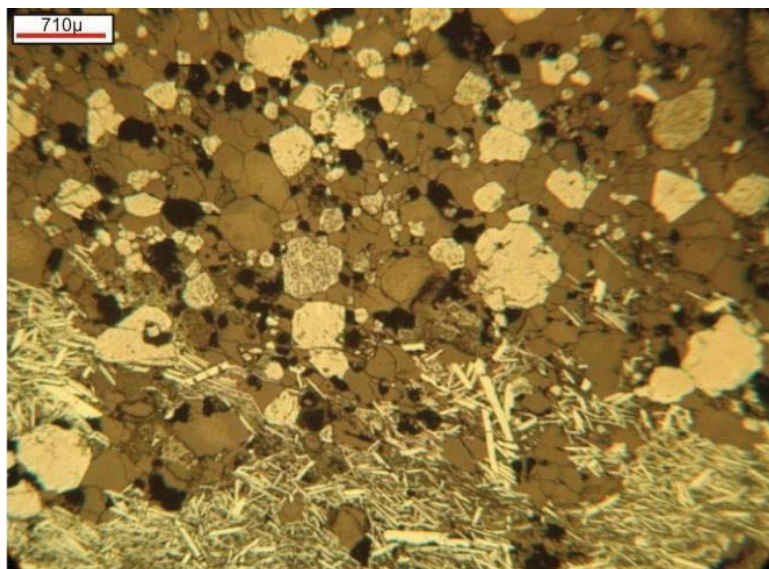


Figura 7 - Fotomicrografia de quartzito ferruginoso que mostra dois domínios texturais diferentes. Um granoblástico e outro lepidoblásticos. Nicóis paralelos. Luz refletida

Amostra PT- 08 – Metadiamicrito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha de cor cinza com níveis esbranquiçados, com matriz arenosa fina contendo hematita disseminada. Ocorrem vênulas e seixos angulosos de cor branca e cristais euédricos milimétricos discordante da magnetita com sombras de pressão associada.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha formada por dois domínios texturais. Um essencialmente granoblástico, com predominância de quartzo recristalizado da ordem de 50 μm, com vênulas de carbonato e quartzo mobilizados e trilhas difusas de espessura milimétrica de magnetita que geram difuso bandamento composicional. O outro domínio é formado por rocha mal selecionada com fragmentos líticos, que na maior dimensão ultrapassa 1,0 cm. Possui matriz ferruginosa predominantemente hematítica, que constitui cristais placóides orientados, gerando discreta foliação. Os fragmentos líticos (meta-siltito, meta-arenito, meta-lamino e meta-calcário) são angulosos a elípticos.

Composição modal estimada visualmente:

Quartzo	±36%	Apatita	±2%
Hematita	±20%	Biotita	±1%
Magnetita	±15%	Clorita	±1%
Carbonato	±15%	Turmalina (traços)	
Sericita	±10%	Zircão	(traços)

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

O quartzo ocorre por toda a rocha, sendo o principal constituinte da matriz granoblástica com sericita, submilimétrica. Também ocorre na forma de vênulas contínuas de mesma espessura. Os maiores grãos detríticos atingem cerca de 600 µm.

A rocha é caracterizada por duas texturas. No domínio granoblástico predominam cristais de magnetita, não martitizada, euédricos a subeuédricos de 50 a 500 µm de comprimento, todos os cristais apresentam poros irregulares dispersos pelo cristal.

A hematita predomina na porção mal selecionada; ocorre como lâminas, de 100 µm de comprimento em média, orientadas unidirecionalmente em contato reto a engrenado com quartzo recristalizado e vênulas carbonáticas. Nesta porção além dos fragmentos líticos também aparece maior quantidade de filossilicatos (muscovita/sericita, biotita e clorita).

A sericita/muscovita ocorre dispersa, ou concentrada destacando os seixos de natureza lamítica, bem orientada. A biotita exibe cor verde a castanho esverdeado, é anedral a subedral e está dispersa pela porção mais xistosa, com seixos líticos.

O carbonato ocorre sob a forma de pequenos cristais romboédricos a irregulares dispersos e por vezes concentrados compondo leitões micrométricos orientados de acordo com a foliação. Distribui-se heterogeneamente pela lâmina e os cristais atingem dimensões máximas da ordem de 800 µm.

A apatita aparece sob a forma de pequenos cristais euedrais a anedrais isolados e dispersos, ou como agregados associados ao quartzo e carbonato, sugerindo tratar-se de micro-seixos de fosforitas impuras, e como micro inclusões em alguns domínios carbonáticos de aspecto turvo (possíveis micro-seixos) com recristalização.

Comentários petrogenéticos: O protólito provavelmente foi um sedimento formado em ambiente altamente energético, com rápida deposição (turbidito?). Posteriormente foi metamorfoisado em fácies xisto verde, com circulação de fluidos associado os quais ocorre à formação de vênulas de carbonato.

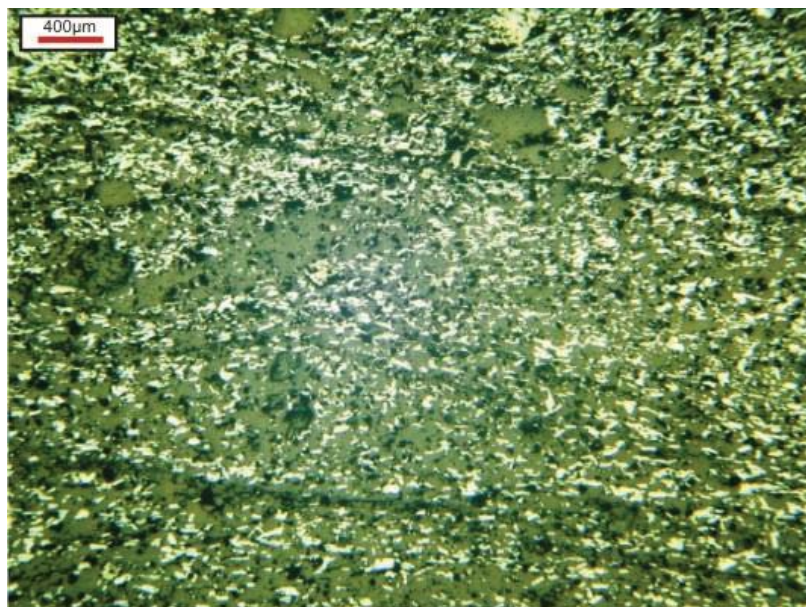


Figura 8. Fotomicrografia de diamictito ferruginoso que mostra textura do domínio granoblástico. Nicóis Paralelos. Luz transmitida

Amostra PT- 09 – Metadiamictito

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha cinza clara a esbranquiçada, com *fabric* predominantemente arenoso, fino, com especularita disseminada, submilimétrica. Ocorrem seixos angulosos de até 1,5 cm de cor branca.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha anisotrópica com textura lepidoblástica, caracterizada por foliação penetrativa gerada por cristais micáceos muscovita e cristais achatados de quartzo. Ocorrem grãos ovóides de até 2,0mm de comprimento, orientados paralelamente à foliação e a granulação é serial, com média ao redor de 350 μ m.

Composição modal estimada visualmente:

Quartzo	$\pm 65\%$	Clorita	$\pm 1\%$
Muscovita	$\pm 20\%$	Zircão	(traço)
Biotita	$\pm 5\%$	Plagioclásio (albita)	(traços)
Carbonato	$\pm 5\%$		
Opacos	$\pm 5\%$		

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

O quartzo preserva parcialmente a textura primária sedimentar aparecendo como grãos elípticos quase circulares a bem achatados, mostrando dissolução paralelamente a foliação e crescimento em continuidade óptica perpendicularmente a foliação, onde também se observa recristalização dinâmica, gerando domínios intersticiais de granulação mais fina (Figura 9). Nesses locais também ocorre intercrescimento de quartzo com muscovita fina gerando textura do tipo “mica birds”. Ainda, em alguns locais o quartzo ocorre formando aglomerados sigmoidais com contatos retos em junções tríplexes.

A muscovita constitui palhetas bem orientadas, de dimensões bem variadas, porém sempre inferior a 500 μm . Constitui-se de filetes descontínuos a relativamente contínuos, bem orientados, porém com certo anastomosamento formando malha lenticular e envolvendo agregados de quartzo.

O carbonato também ocorre formando agregados ocelares a irregulares, submilimétricos, com quartzo associado e principalmente como pequenos cristais (micrométricos) romboédricos a irregulares dispostos intersticialmente de forma isolada ou constituindo difusas trilhas.

A biotita é subeuédrica, submilimétrica, verde pleocróica, ocorre intercrescida com muscovita.

A clorita ocorre localmente como cristais isolados ou formando concentrações de poucos cristais.

Os opacos, cujo formato sugere ser óxido de ferro (hematita ou magnetita/martita), são subédricos, com até 0,2mm, estão orientados paralelamente à foliação. A albita é anedral, com geminação polissintética, e aparenta ser de origem metamórfica.

Comentários petrogenéticos: A textura assim como a mineralogia, sugere tratar-se de uma rocha sedimentar impura, que foi pouco deformado e metamorfoisado na fácies xisto verde com passagem de fluidos, o qual permitiu a migração de carbonatos e sílica).

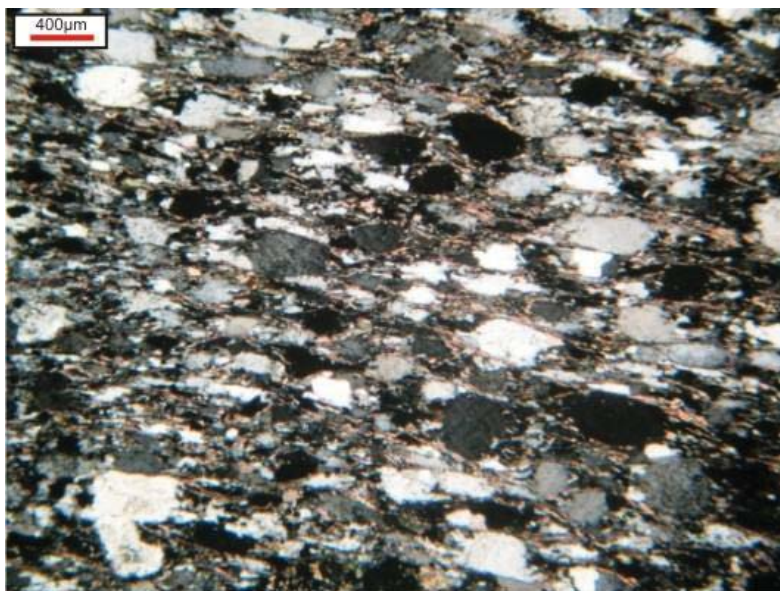


Figura 9 - Fotomicrografia de metadiamicrito com hematita com grão elípticos e textura sedimentar parcialmente preservada. Nicóis cruzados. Luz transmitida

Amostra PT- 10 – Metadiamiccito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Diamictito com matriz fina ferruginosa formada por plaquetas submilimétricas de especularita e grãos de quartzo. Apresenta clastos da ordem de 5 cm, de limites angulosos e cor branca.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha fortemente anisotrópica, estrutura xistosa e textura lepidoblástica com porções granoblásticas. O *fabric* formado por especularita e quartzo fino, formando agregados lenticulares com porfiroblastos euédricos de martita, nos quais se observa sombra de pressão formada por mobilizados de sílica e carbonatos. Localmente aparecem delgadas lentes granoblásticas de granulação mais fina composta basicamente por albita e carbonato.

Composição modal estimada visualmente:

Não opacos $\pm 55\%$ ($\pm 25\%$ de quartzo, $\pm 18\%$ de carbonato, $\pm 10\%$ de albita, $\pm 5\%$ de biotita, $\pm 2\%$ de apatita)

Especularita $\pm 35\%$ Martita $\pm 10\%$

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Especularita – Ocorre como plaquetas ripiformes com 0,35 mm de comprimento médio, bem orientadas e nos interstícios das ripas têm-se preenchimento por não opacos (quartzo mobilizado). Observaram-se inclusões de quartzo em algumas ripas de especularita. Tais inclusões de quartzo micrométrico, se em muita quantidade, pode afetar no beneficiamento do minério.

Martita – Alteração total à parcial das magnetitas para hematita. São cristais euédricos, às vezes superiores a 1 mm. Ainda é possível verificar pequenos cristais euedrais de magnetita com 0,2 mm. Foram verificadas microporosidades nas superfícies desses minerais.

Não Opacos: Ocorrem como agregados micrométricos, recristalizados, de grãos angulosos a subangulosos, formando lentes milimétricas a centimétricas, que chegam a atingir o diâmetro do testemunho (6 cm) e possuem textura granular. O quartzo ocorre como grãos arredondados com textura sedimentar parcialmente preservada e com diâmetro máximo de 1 mm. Apresenta recristalização e neoformação em zonas de sombra de pressão.

O carbonato ocorre concentrado em domínios lenticulares sob a forma de pequenos cristais anedrais (poligonais a engrenados), com granulação média variando de domínio para domínio, porém os maiores cristais raramente atingem 500 μm de comprimento. Também ocorre associado ao quartzo na sombra de pressão.

A albita é granular, anedral a subedral, e exibe ou não geminações características. Os maiores cristais atingem cerca de 300 µm de comprimento. Ocorrem concentrados em lentes associadas ao carbonato, onde pode ser secundário ou amplamente dominante, gerando textura granular poligonal a lobulada. Nessas lentes o quartzo é raro e mostra substituição por filossilicatos microcristalinos.

A biotita constitui palhetas anedrais a subedrais de cor verde e não está bem orientada. Alguns cristais exibem halos pleocróicos marrom alaranjado pela presença de minúsculas inclusões radiais (zircão?, monazita?)

A apatita ocorre sob a forma de raros cristais micrométricos dispersos e formando uma massa de granulação muito fina, dimensões milimétricas, contendo cristais de opacos mal formados a subedrais (hematita e magnetita). Aparenta tratar-se de fragmentos de fosforita ferruginosa, que foi metamorfisada e deformada.

Comentários petrogenéticos: Rocha ferruginosa de origem sedimentar clástica, com fragmentos líticos de fosforita e possivelmente sedimentos pelíticos-químicos (argila com carbonato e halita), submetido a metamorfismo de fácies xisto verde e deformação relativamente baixa.

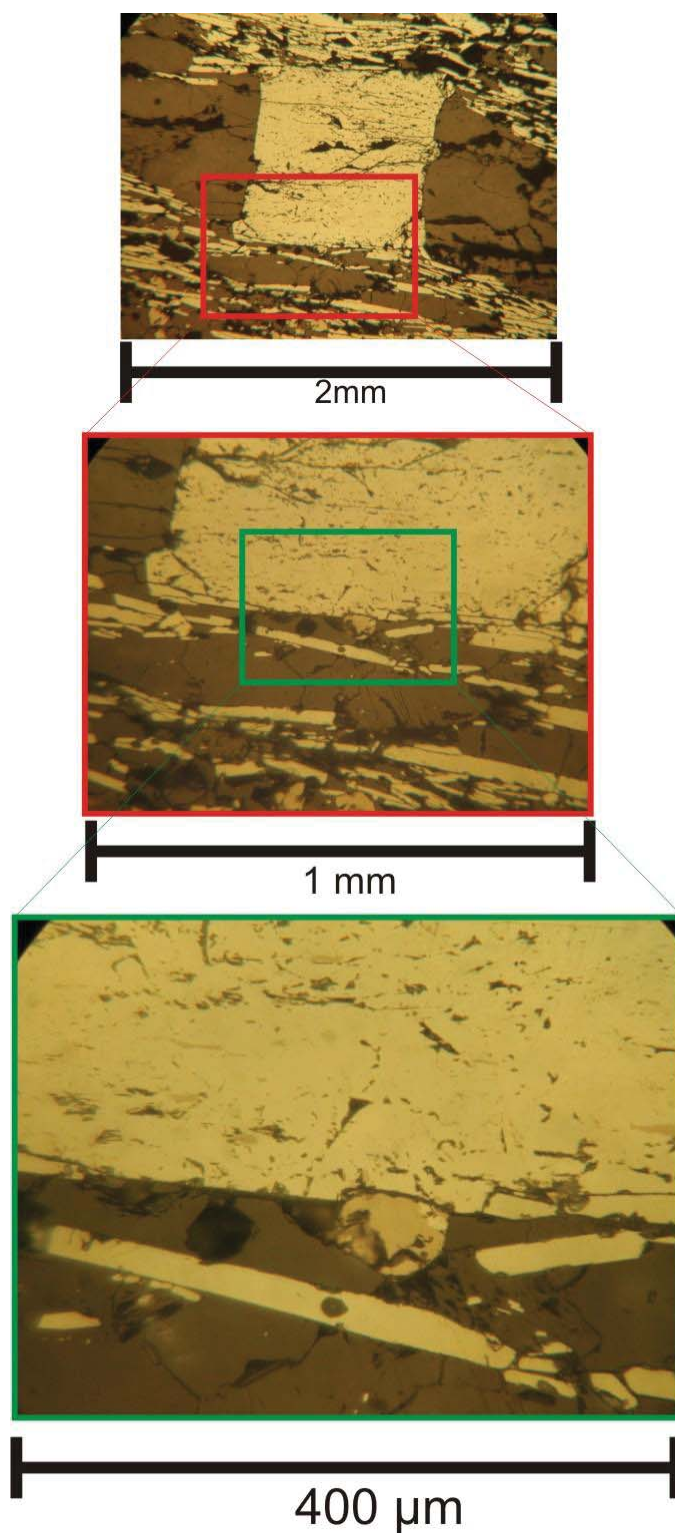


Figura 10 -. Fotomicrografias em diferentes aumentos que mostram a porosidade em cristais de magnetita martitzada e especularita intercrescida com sílica mobilizada. Nicóis paralelos. Luz refletida

Amostra PT- 11 – Metadiamictito Hematítico

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha cinza escura, com bandamento composicional marcado, foliação marcante, dada por isorientação das fases de hábito planar, micas e hematita, sendo observável lineação de intersecção So-Sn. Sua granulometria é fina, e os minerais compreendidos na rocha são: quartzo, hematita, magnetita, biotita, carbonatos e sericita. Apresenta superfícies de intemperismo avermelhado, característica de materiais ferrosos. Os minerais apresentam-se alongados, fato observável perpendicularmente ao bandamento composicional (So), fato marcante é a extensão dos leitos carbonáticos (calcita ou ankerita) e dos diminutos cristais de quartzo. Observam-se sombras de pressão macroscópicas ao redor de cristais de magnetita.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/Textura: Rocha anisotrópica, fortemente orientada, com foliação contínua fina, penetrativa, definida predominantemente pela isorientação das lâminas de hematita e grãos de quartzo inequidimensionais, lenticulares a ocelares. Grãos de quartzo são dispersos mais ou menos homoganeamente, possuem dimensão serial, onde os maiores ultrapassam 2,0mm de diâmetro. Ocorrem também fragmentos líticos de origem sedimentar, normalmente, elípticos a lenticulares, com dimensões micrométricas a centimétricas. Os grãos de quartzo e seixos líticos estão sustentados por cimento ferruginoso de textura lepidoblástica.

Alguns grãos de quartzo de até 2,0mm são policristalinos, com junções tríplexes, angulosas e também sinuosas, sendo os grãos recristalizados muito freqüentes e morfologicamente variáveis.

Alguns fragmentos são de material carbonático impuro, angulosos a lenticulares, alongados segundo a foliação. Além deste observam-se corpos lentiformes de carbonatos, com dimensões muito variáveis desde 3,0mm até 1,0 cm, coerentes à foliação, contém grãos de quartzo muito finos de granulação inferior a 50 micrometros, sendo provavelmente originados a partir de atividade fluidal. Ausência de descontinuidades estruturais lineares (micro fraturas), e porosidade.

Composição modal estimada visualmente(%):

Hematita	±51%
Quartzo	±35%
Martita	± 4%
Micas	± 3%
Carbonato	±2%
Clastos (rochas quartzosa e carbonática)	±2%
Magnetita	±1%
Feldspato potássico	(traços)

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Quartzo ocorre sob a forma de grãos finos a grossos (0,5 mm a 2mm), angulosos até ocasionais bem arredondados, recristalizados e a extinção ondulante é pouco freqüente. Constituem populações alongadas ou não, porém sempre respeitando a foliação. Forma ribbons e ocelos apresentam poucas inclusões. Sombras de pressão registram movimentos sinistral. Seus contatos são sinuosos. Os grãos maiores tratam-se de clastos sedimentares com texturas primárias parcialmente preservadas.

Feldspato é pouco frequente, geminado na maioria das vezes, anguloso e estirado, grãos finos menores que 1mm, caulinitizados nas bordas.

Carbonatos ocorrem como pequenas lentes delgadas e pouco extensas, os cristais que as compõem são finos; também constitui clastos angulosos, de cristais finos, sendo que nos domínios mais carbonáticos a quantidade de opacos é sensivelmente menor ou até mesmo ausente.

Os opacos são representados por hematita (especularita) de até 1mm, com população mais representativa entre 0,3 e 0,7mm, seu hábito é laminar, exibindo na seção aspecto ripiforme a tabular (Fig. 11 A), contatos retos bem definidos marcam fortemente a foliação formando bandas descontínuas porém representativas. É muito pouco porosa, ocorrendo em locais concentrados onde se torna considerável. As inclusões de quartzo nos cristais de specularita são ocasionais, apresentam diminutas dimensões, com pouca representatividade em área, correspondendo em torno de 0,5% do volume dos cristais.

A martitização foi ampla, porém com substituição parcial a total dos cristais de magnetita euedrais a subedrais. Resultaram em cristais finos, muito porosos e com poucas inclusões sendo normalmente resquícios de magnetita (Figura 11 B). Magnetita é pouco freqüente, limitada a grãos finos desde anedrais a euedrais, não orientados, com distribuição errática na lâmina, intensamente martitizados, tem contatos retos com os minerais adjacentes.

A sericita ocorre sob a forma de finas palhetas especialmente em associação a domínios mais carbonáticos e/ou nos fragmentos líticos de siltito e calco-siltito ou arenito.

Comentários petrogenéticos: Sedimento de granulação grossa à média com clastos líticos de siltito e calcoarenito ou calcosiltito, pouca contribuição silicática fina, apresenta minerais ferrosos atribuíveis a possível sedimentação química. Também existe evidência de processo tectono-metamórfico promovendo a concentração de ferro (especularita) em bandas de maior deformação, correlata ao metamorfismo de baixo grau (fácies xisto verde) caracterizado pela recristalização do quartzo e à presença de micas finas. Atividade de fluidos pós-cinemática pode ser a responsáveis pela substituição magnetita-hematita.

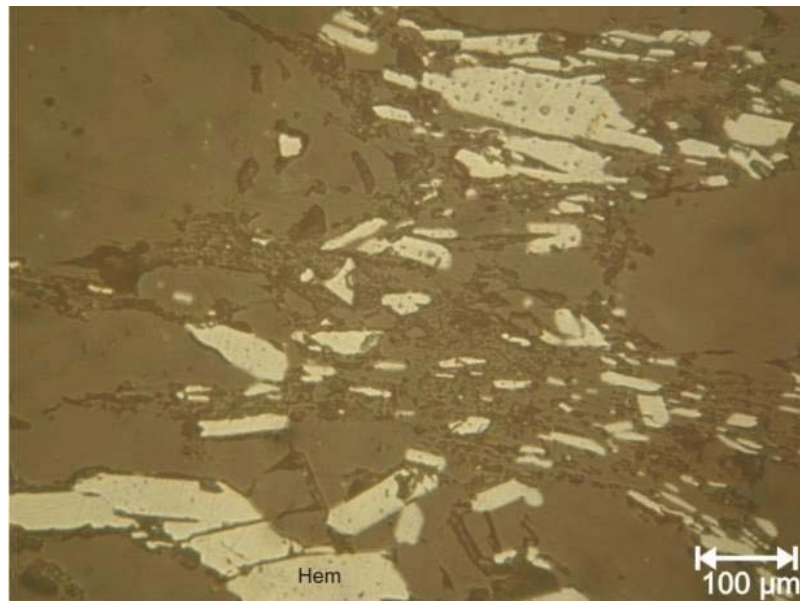


Figura 11 a. Fotomicrografias da seção polida PT13 obtida por luz refletida. Nicóis paralelos. Detalhe dos cristais de hematita ripiformes, apresentando orientação, que é penetrativa na rocha, observa-se alguns poros e inclusões de quartzo, com alguns cristais apresentando quantidade relativamente alta de inclusões a exemplo do cristal maior posicionado na porção superior da imagem. Hem=Hematita

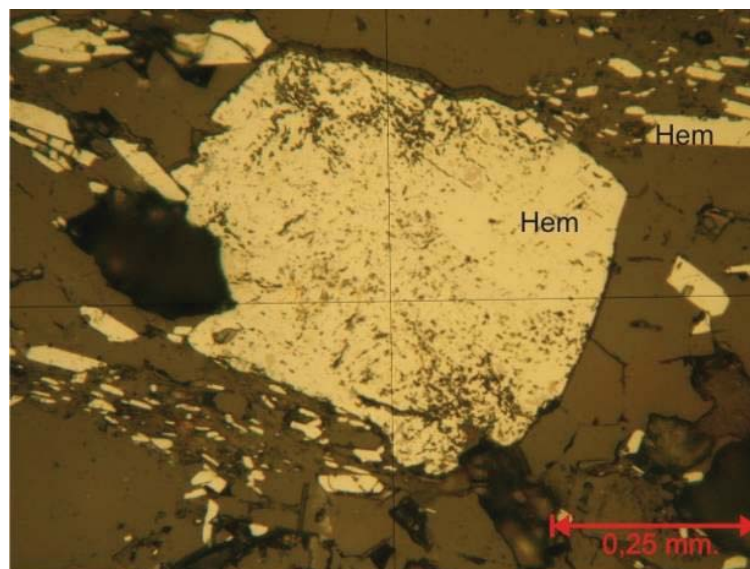


Figura 11b. Fotomicrografia da seção polida PT13, sob luz refletida, aumento de 20x e polarizadores paralelos. Porfiroclasto de magnetita martitizada apresentando intensa porosidade e 1% de inclusões sendo principalmente de quartzo. Hem= Hematita e Mag=Magnetita

Amostra PT- 12 – Metadiamicrito Hematítico

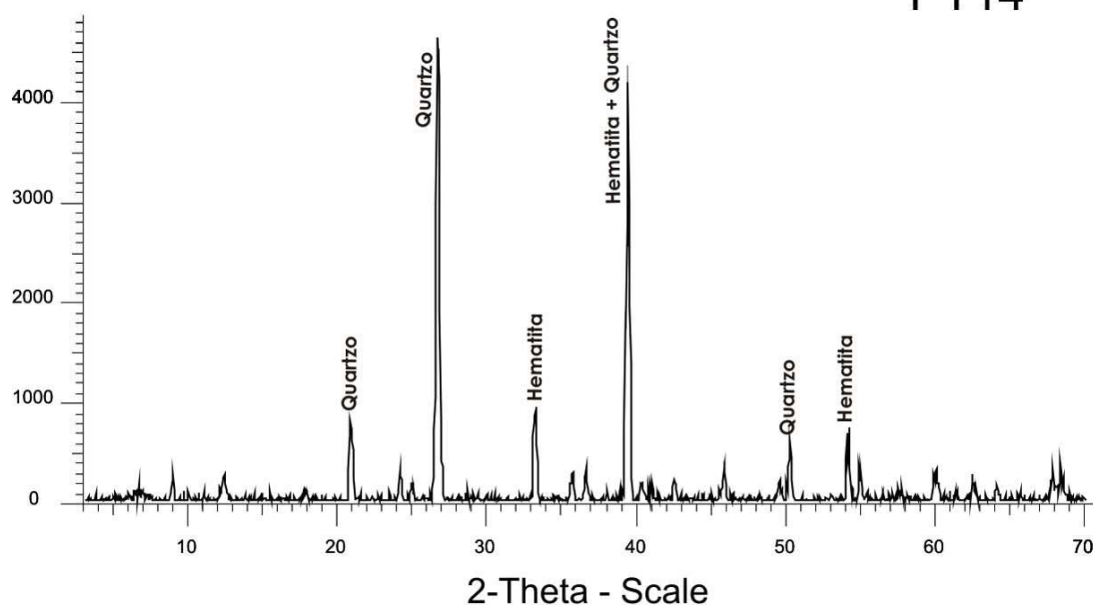
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA:

Rocha friável, de granulação média a grossa, cinza escura, brilho metálico, predominando o mineral specularita disseminada na matriz da rocha. Ainda, ocorrem clastos líticos, quartzíticos, de cor clara e aspecto ovóide podendo ultrapassar 1 cm de comprimento.

Em virtude de a rocha ter se desagregado, não permitindo a confecção da lâmina polida, foi feita a cominuição e preparação desta rocha para a difração de raios x.

O resultado se encontra abaixo, tendo sido eliminado grande parte dos ruídos, a fim de ressaltar os minerais predominantes e sua relação cristalográfica.

DIFRATOGRAMA:



PT14 - D5MEAS - Program:MEDD.DQL

Figura 12. Difratoograma da amostra PT-14, interpretado

O difratograma mostra que o pico de maior intensidade é o ($d=3.34$), que corresponde ao pico 100 do quartzo. Cabe ressaltar que o pico $d=2.29$ corresponde ao plano basal da specularita. A esse pico da specularita também soma-se um pico secundário do quartzo, e a alta intensidade desse pico em relação aos outros picos da hematita evidencia que a variedade specular é amplamente dominante.

A análise conjunta do espectro de difração com as observações macroscópicas sugere que a quantidade de hematita e quartzo é aproximadamente equivalente, com aparente predomínio volumétrico do quartzo. Também foram detectadas baixa quantidade de sericita/muscovita e clorita, os quais não foram plotados no difratograma, afim de não poluir na visualização deste. A quantidade desses filossilicatos é da ordem de 5% ou menor.

Amostra PT- 13 – Metadiamicrito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA:

Rocha de cor cinza a cinza escuro, com pontual brilho metálico, bandamento composicional marcado por cristais finos de quartzo, especularita e micas, estando os mesmos alongados de forma concordante com a foliação marcante na rocha, dada principalmente pela isorientação da especularita. Observam-se leitos de minerais carbonáticos, delgados a espessos, longos e alongados, observável paralelamente ao bandamento composicional. Apresenta clivagem disjuntiva fina.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha anisotrópica difusamente bandada, marcada por distribuição de domínios de texturas lepidoblástica e granoblástica e transição entre estes. Também ocorrem relictos de textura sedimentar (blastopsamo pelítica) marcada pela presença de grãos arredondados de quartzo e “seixos” angulosos de sedimento carbonático (Figura 13i).

Os “seixos” carbonáticos estão dispostos com a maior dimensão paralela à foliação e bandamento e também à foliação, que normalmente é fraca e está paralela à foliação geral.

As bandas são compostas, genericamente, por cristais diminutos (menores que 0,5mm), sendo que tanto os leitos mais ricos em quartzo, como os mais ricos em sericita, que se intercalam, são geralmente mais finos que os leitos mais ricos em hematita, os quais exibem textura lepidoblástica. A rocha apresenta poucas descontinuidades físicas e setores com intemperismo perceptível. Os maiores cristais de especularita atingem 500 μm , de magnetita cerca de 600 μm , os maiores grãos de quartzo cerca de 800 μm e os fragmentos líticos chegam a 1cm de comprimento.

Composição modal estimada visualmente:

Quartzo	$\pm 50\%$
Hematita	$\pm 15\%$
Clorita	$\pm 12\%$
Martita	$\pm 8\%$
Carbonato	$\pm 5\%$

Muscovita/Sericita	±5%
Biotita	±3%
Apatita	±2%
Feldspato potássico (traços)	

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Quartzo ocorre como cristais de no máximo 1,0mm, como grãos arredondados e recristalização localizada. Formam pequenos *ribbons* policristalinos sem extinção ondulante, tais *ribbons* não englobam especularita nem outro mineral. O quartzo apresenta-se também em aglomerados de cristais, diversos, com associações de filossilicatos ao seu redor e em contatos retilíneos; encontra-se dentro dos leitos de carbonato, sugerindo a natureza de remobilização do mesmo, ainda assim apresenta contatos retos e engrenados com os carbonatos. Marca também a foliação por seu caráter predominantemente alongado; grãos orientados formados por precipitação estão presentes além dos detríticos. Localmente aparece agregado poligonal de granulação fina e não são raros os grãos com estrutura sedimentar pouco modificada por sobrecrescimento e dissolução.

Filossilicatos são compreendidos por clorita (predominante), sericita/muscovita e traços de biotita, possuem hábito micáceo característicos, no corte com aspecto ripiforme a ligeiramente tabulares, comprimentos de até 0,5mm, dispostos de acordo com a foliação principal, marcando-a. Biotita é, de coloração acastanhada, apresenta transformações parciais a total para clorita. Clorita é esverdeada em tom claro à pálido, contatos retos a sinuosos, apresenta bordas de transformação em óxidos secundários de Ferro; substitui biotita em alguns casos; segue a foliação onde as palhetas estão intercrescidas com muscovita/sericita e biotita e como cristais maiores, que frequentemente estão dispostos transversalmente à foliação (*clorita stack*); ocasionalmente a clorita encontra-se com observável reação com especularita, formando finos bordos micro granulares.

A muscovita é de granulação fina e forma delgadas palhetas bem orientadas e comumente intercrescidos com clorita exibindo na secção de corte aspecto ripiforme a acicular, isorientada, pouco tortuosa, tem contatos retos, ampla distribuição na lâmina, aparecendo intersticialmente ao quartzo e concentrada formando domínios lepidoblásticos.

Os cristais de carbonatos apresentam pequena dispersão sendo finos, não tingidos, possivelmente calcita não geminada. Formam concentrações definindo fragmentos líticos e aparecendo também como cristais isolados dispersos. Sua principal ocorrência é como leitos de grânulos finos agrupados constituindo lentes ou domínios fusiformes, restritos e bem orientados paralelamente a foliação. Os cristais apresentam bordos sinuosos a angulosos e estão orientados segundo a foliação e aparentam constituir sombras de pressão em suas extremidades. Esses domínios podem corresponder a leitos boudinados ou transpostos, concreções ou mesmo seixos. Notável é

a ausência de hematita e magnetita ou martita no interior dos aglomerados de carbonatos. Quartzo encontra-se alojado dentro desses leitos.

Feldspato alcalino anedral, ocasionalmente anguloso a retangular, geminado, pouco freqüente, com bordas de carbonatos e quartzo microcristalino.

Apatita ocorre sob a forma de cristais pequenos, normalmente menores que 50 μm , isolados, com formas euedrais, e formam pequenas concentrações lenticulares irregulares, orientados sugerindo tratar-se de fragmentos de fosforita ou seixo rico em fosfato recristalizado pelo metamorfismo.

Especularita ocorre isorientada, com hábito placóide, com granulometria entre 0,1 e 0,5mm, pouco porosa, está amplamente dispersa pela lâmina. Ocorre pseudomorfoseando cristais euédricos a subedrais de magnetita, tais cristais de granulometria fina, não orientados.

A magnetita/martita é normalmente euedral a subedral e os cristais estão dispersos mais ou menos homogeneamente pela rocha, a granulometria é serial e os maiores cristais atingem 500 μm de diâmetro.

Comentários petrogenéticos: Rocha meta-sedimentar clástica terrígena, com contribuição química ferrosa (?), em ambiente de energia média a baixa (fração areia e lentes de carbonatos). Metamorfisada em fácies xisto verde baixo, com cloritização e retrometamorfismo, deformação de intensidade moderada a baixa, com foliação, mobilização de carbonato e sílica. A última transformação observada é de natureza pós-tectônica e trata-se da transformação de magnetita para hematita, em função da passagem de fluido oxidante.

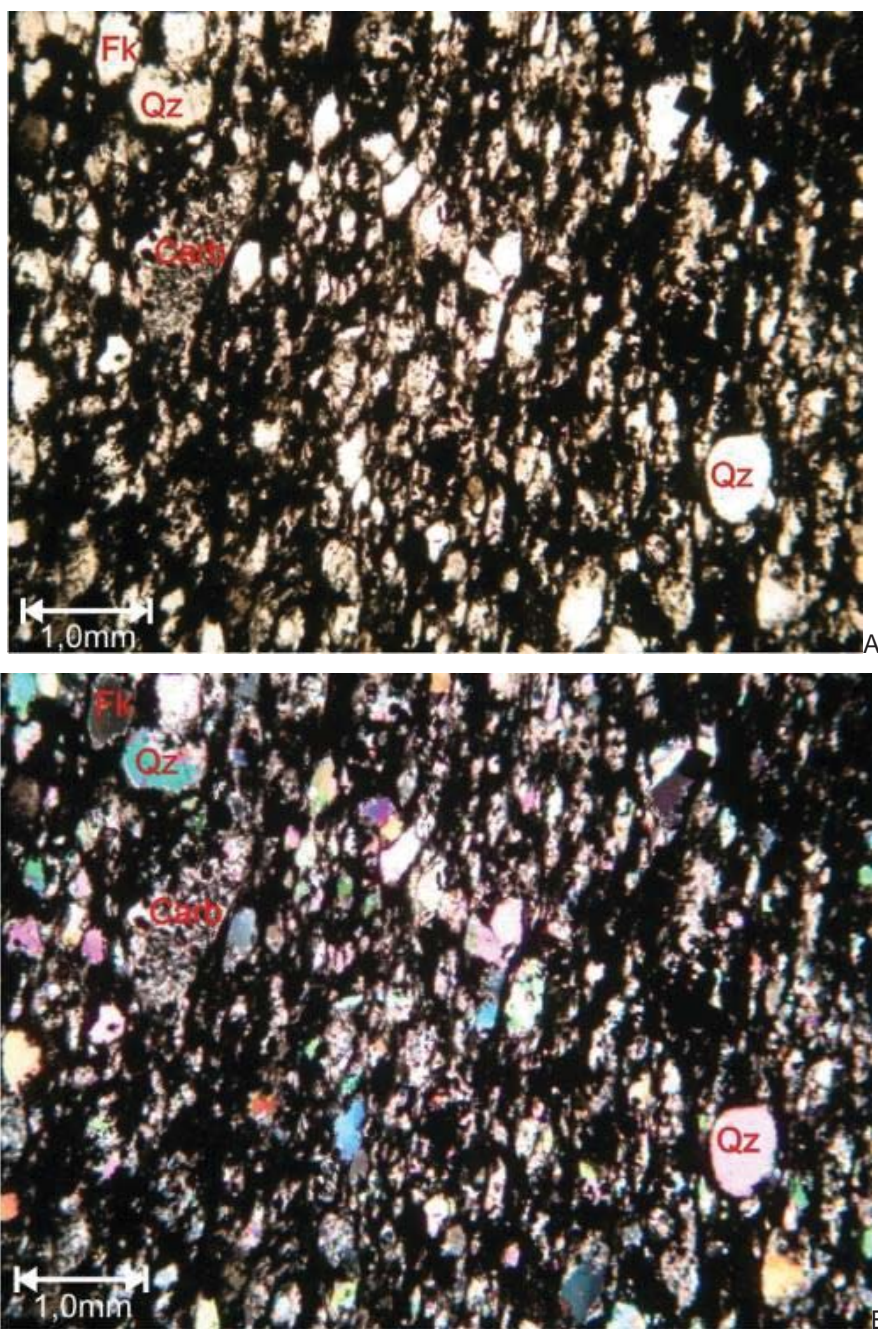


Figura 13i. Fotomicrografias da secção PT15, obtida por luz transmitida: (A) polarizadores descruzados (B) polaróides cruzados. Observa-se forte orientação dos cristais, com a formação de fabric orientado por hematita lamelar e quartzo alongado. Carb=Carbonatos, Fk=Feldspato Potássico e Qz=Quartzo

DIFRATOGRAMA:

PT15

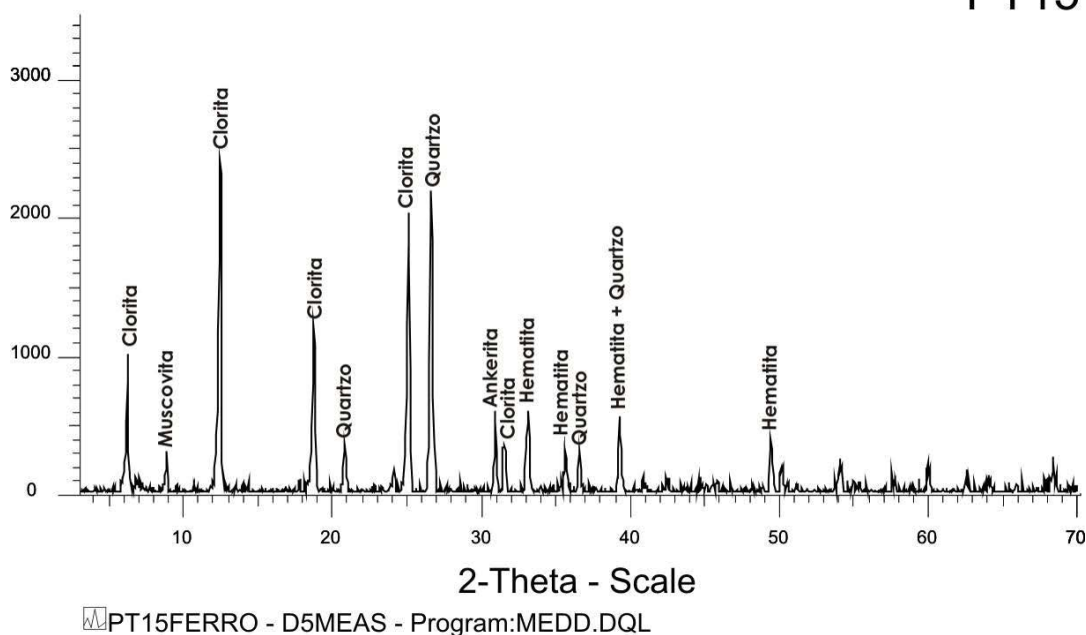


Figura 13ii. Difratoograma da amostra PT-15 interpretado

O difratograma mostra que a mineralogia principal é constituída por quartzo, hematita, clorita, mica e ankerita. Os outros minerais por representarem porcentagens inferiores a 5% não formaram picos no difratograma. Outro aspecto que o gráfico registra é a maior quantidade de clorita em relação as micas (sericita, muscovita e biotita).

Amostra PT- 14 – Metadiamiccito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha arenosa de cor cinza escura com bandamento composicional fino e difuso, o qual é dado por filetes de especularita intercalados com níveis arenosos, que apresentam especularita disseminada intersticialmente aos grãos de areia. Ocorrem raros seixos de fragmentos líticos apresentando cores entre vermelho e branco.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha anisotrópica de textura lepidoblástica dada pelas placas de especularita, apresentando clivagem de crenulação, cujos septos são constituídos pela concentração de especularita, e os micrólitos constituídos basicamente de não opacos e especularita, que formam lâminas descontínuas, dobradas (Fig. 14). Ainda, tem-se domínios com textura granoblástica e retos de textura blastopsamítica a blastopsefítica, dada por clastos granulares, por vezes alongados de quartzo, cujos maiores grãos, na lâmina, atingem dimensões próximas a 2,5 mm, e

seixos líticos com até 5 mm de comprimento. A textura sedimentar encontra-se parcialmente preservada.

Composição modal estimada visualmente:

Não opacos $\pm 68\%$ ($\pm 60\%$ de quartzo, $\pm 8\%$ de sericita/muscovita e traços de turmalina e apatita)

Especularita $\pm 30\%$

Martita $\pm 2\%$

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Martita - cristais euedrais a subedrais, com pouquíssimo resto de magnetita, dominando a porção hematítica. A superfície desses cristais exibe grande quantidade de imperfeições (microporos), porém não foram verificadas inclusões silicosas. Alguns cristais exibem, em lâmina, sombra de pressão com indicador cinemático de movimentação sinistral. Os maiores cristais atingem 0,35 mm.

Especularita – Encontra-se com freqüência inclusões silicosas nas lâminas de specularita. As inclusões exibem desde formato arredondado a poligonal. As placas de specularita apresentam poucas imperfeições, estando a maior parte nas bordas, na forma de corrosão/desgaste. O tamanho médio das ripas é de 0,1 mm, sendo que as maiores chegam a atingir 1 mm.

O quartzo ocorre como grãos detriticos arredondados a subarredondados, pouco modificados por processos metamórficos e deformacionais; em seixos formando agregados policristalinos, como produto de recristalização e de neoformação em zonas de sombra de pressão. Alguns grãos possuem acículas de rutilo.

A muscovita/sericita ocorre sob a forma de palhetas pequenas a muito pequenas, dispostas de forma isolada, formando lâminas e trilhas marcando a foliação juntamente com a specularita. Localmente forma pequenas concentrações lenticulares a elípticas, que sugerem tratar-se de grãos de feldspato alterados ou mesmo fragmentos de argilitos.

Observou-se ainda a presença de raros cristais de apatita sob a forma de raros grãos minúsculos e um grão anedral, aparentemente detritico de turmalina.

Comentários petrogenéticos: Rocha sedimentar clástica com deposição química de ferro durante ou logo após a deposição dos clastos, formando cimento. Esse material foi submetido a metamorfismo de fácies xisto verde (temperatura ao redor de 350°C), acompanhado de deformação moderada a leve, insuficiente para destruir totalmente a textura sedimentar.

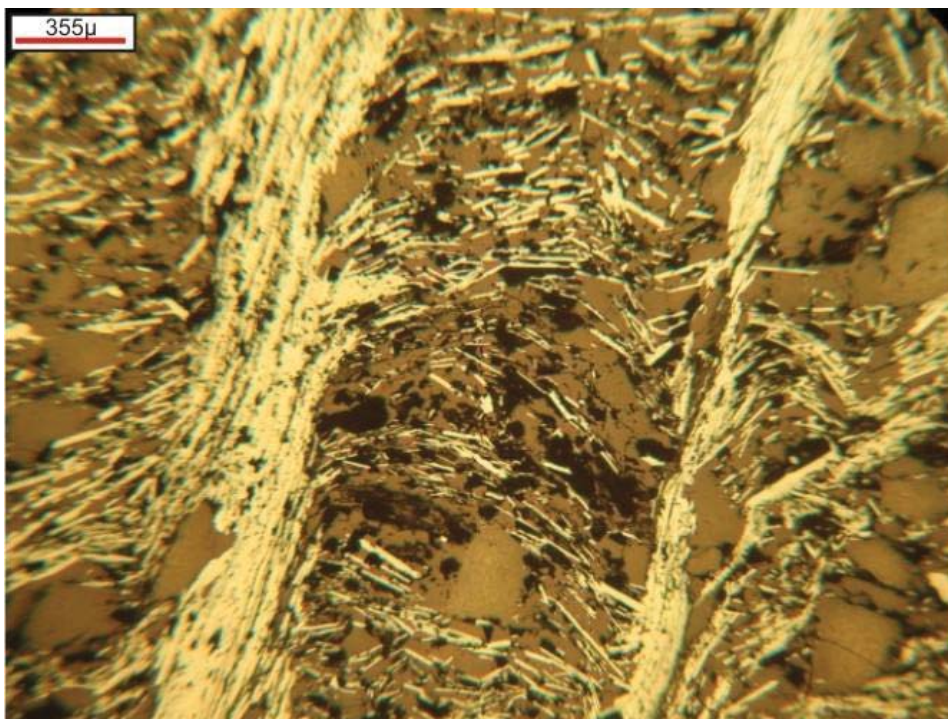


Figura 14 - Fotomicrografia de metarenito conglomerático ferruginoso

Amostra PT- 15 – Metadiamictito Hematítico

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha de cor cinza escura, com anisotropia dada por clivagem de crenulação bem desenvolvida, na qual os micrólitos são claros e contêm quartzo, já os septos são escuros e contêm predominantemente especularita. Ocorrem seixos arredondados a ovóides, esbranquiçados.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha anisotrópica de textura lepidoblástica a nematoblástica, apresentando também clivagem de crenulação penetrativa (Figura 15), cujos septos são formados pela concentração e orientação de lâminas de especularita e os micrólitos constituídos basicamente de quartzo e especularita que formam bandas dobradas.

Composição modal estimada visualmente(%):

Especularita \pm 60%

Não opacos \pm 40% (\pm 33% de quartzo, \pm 4% de filossilicatos, \pm 1% de carbonato e \pm 2% de apatita)

Obs.: A seção polida está muito grossa aspecto que dificulta a estimativa volumétrica dos minerais não opacos.

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

A especularita ocorre como plaquetas de até 1mm de comprimento. Nos septos da clivagem de crenulação os cristais de especularita apresentam micro fraturas extensionais, com orientação perpendicular ao comprimento, cuja abertura é inferior a 25 µm. Nos micrólitos esse micro fraturamento não ocorre. Os cristais de magnetita hematitizados (martita) são raros e normalmente pequenos, menores que 400 µm e estão nos micrólitos.

O quartzo é anedral, lentiforme a ovalado, com até 1,0mm de comprimento ou diâmetro; os maiores são arredondados e ocorrem em disposição aleatória e ainda ostentam estrutura primária sedimentar. Nos micrólitos o quartzo apresenta-se estirado, com migração assimétrica de limites, nas zonas de charneira ocorre sob a forma de mobilizados de sílica, sendo pouco os cristais que preservam a estrutura sedimentar indicando bom arredondamento e esfericidade. Os grãos detríticos são monos e policristalinos, sendo alguns grãos ricos em acículas de rutilo.

Os filossilicatos são representados predominantemente por sericita e/ou muscovita fina e ocorre como palhetas isoladas e concentrações micrométricas, sugerindo tratar-se de fragmentos líticos de argilito ou produto de alteração de grãos detríticos de feldspato.

O carbonato ocorre sob a forma de raros cristais isolados, micrométricos e formando leitões delgados.

A apatita ocorre sob a forma de minúsculos cristais, normalmente menores que 50 µm, isolados e dispersos ou como pequenos aglomerados de cristais mal definidos (massa microcristalina) de dimensões micrométricas, angulosas a lenticulares, sendo que um agregado (0,6 x 0,14 mm) ocorre envolto por hematita compacta que constituem um dos septos.

Comentários petrogenéticos: A rocha apresentava um paleobandamento composicional sedimentar difuso, o qual foi tectonizado em condições de temperatura entre 350 e 400°C, dando origem à clivagem de crenulação, concentração da hematita nos septos, e a

mobilização e precipitação de sílica no sistema, aspecto deduzido a partir das microestruturas e texturas do quartzo.

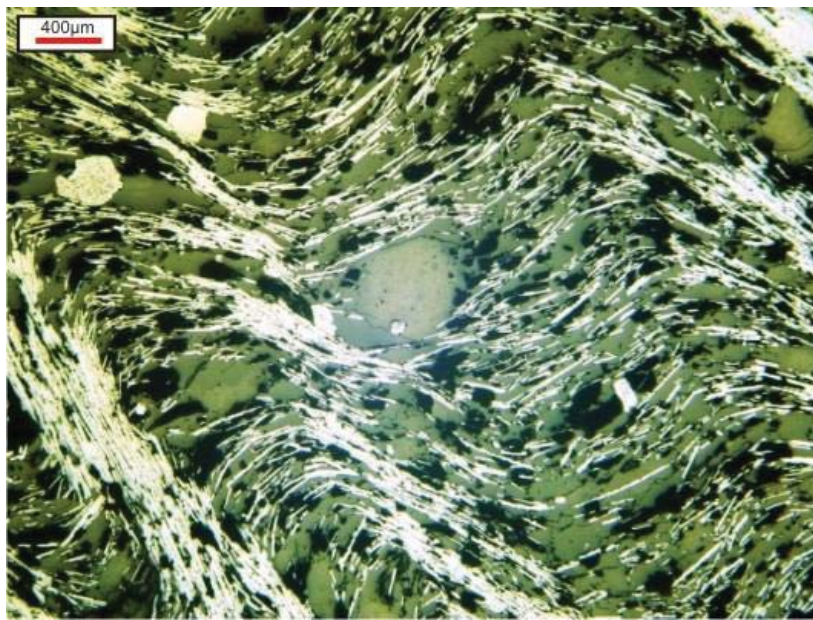


Figura 15 - Fotomicrografia de metadiamictito hematítico que mostra clivagem de crenulação dada pela orientação de plaquetas de especularita. Nicóis paralelos. Luz refletida

Amostra PT- 16 – Metadiamictito Hematítico

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha de cor cinza escura, bandada, apresentando leitos ricos em especularita, de cor escura, intercaladas com bandas quartzosas de coloração branca. Apresenta dobras abertas e parasíticas ou de arrasto apertadas. São comuns seixos arredondados e veios subconcordantes de material claro.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha de estrutura bandada e textura lepidoblástica dada por cristais de especularita e domínios granoblásticos de quartzo recristalizado. Possui cristais de magnetita martitizadas, euédricas, cujos maiores cristais atingem 1 mm, e estão envoltas por quartzo, formando sombra de pressão (Figura 16 A). A rocha apresenta estrutura bandada e contém padrão de dobras abertas predominantemente, e porções com dobras fechadas onde se observa intercalações de não-opacos (quartzo e sericita) com as especularita. Os cristais de martita juntamente com o quartzo formam bandamento descontínuos.

Composição modal estimada visualmente(%):

Não opacos $\pm 40\%$ (28% de quartzo, $\pm 10\%$ de muscovita/sericita $\pm 2\%$ de apatita e traços de Traços de clorita e estilpnomelano).

Especularita $\pm 57\%$

Martita $\pm 3\%$

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

Martita – A porção mais rica em martita é a que mais se encontra quartzo (micrólitos). Os cristais de martita exibem baixíssimo teor de magnetita, estando o cristal bem hematizado, com média de 0,3 mm de diâmetro. Contém imperfeições, mas não foram vistas inclusões minerais.

Especularita – Lâminas com dimensões médias de 0,3 mm. Nas porções mais caóticas os contatos entre grãos são angulares (imbricado), enquanto que nas áreas mais comprimidas e de dobras suaves/abertas os contatos são paralelos (Figura 16 B). Foram observadas pouquíssimas inclusões silicosas nas placas de specularita. Em maior detalhe, é possível ver corrosões nas extremidades e imperfeições micrométricas nas superfícies dos cristais. O enriquecimento de specularita é dado por processo tectono-metamórfico, sendo as dobras mais fechadas interpretadas como dobras de arrasto.

O quartzo ocorre como produto de recristalização e de mobilização para zonas de distensão (sombra de pressão, boudinagem, etc.), exibe granulometria serial com dimensões médias variando de domínio para domínio, sugerindo a presença de grãos líticos de diferentes composições. Exibe formas poligonais de recristalização em equilíbrio a formas tabulares, onde o crescimento foi balizado por cristais de specularita. Os maiores cristais raramente atingem 1 mm e a granulação média é da ordem de 250 μm .

A muscovita/sericita ocorre sob a forma de palhetas isoladas intersticiais ao quartzo e concentradas em bandas e/ou lâminas intercrecidas ou não com a specularita. Encontra-se bem orientada e desenha o bandamento descontínuo e as dobras, junto com os outros minerais.

A apatita aparece concentrada no domínio mais quartzoso de granulação mais fina e com maior quantidade de micro cristais de hematita. Esses domínios possuem formas lenticulares e sugerem tratar-se de micro seixos líticos de sedimento síltico com fosfato. Nesse contexto também aparece lentes ou corpos elípticos milimétricos com maior quantidade de muscovita/sericita gerando domínios de textura granolepidoblástica, neste caso sugerindo tratar-se de micro seixos de siltito argiloso. O fosfato ocorre também como pequenas massas com formas cristalinas mal definidas na porção central e cristais bem formados nas bordas, sugerindo tratar-se de micro seixos de fosforita ou colofano. Também, aparecem raras micro massas com estrutura fibro-radial.

Comentários petrogenéticos: Rocha de origem sedimentar clástica com bandas lamíticas intercaladas com bandas ferruginosas e de quartzo de granulação média a grossa, rico em grãos líticos de sedimentos mais finos (siltitos, fosforitas). Esse material foi submetido a metamorfismo de

fácies xisto verde com deformação de intensidade média a alta, que destruiu quase toda a textura sedimentar, restando evidência de bandamento e fantasmas de grãos e micro seixos lítico.



Figura 16 A. Fotomicrografia de metadiamicrito hematítico bandado, que mostra cristal de magnetita com sombras de pressão. Nicóis paralelos. Luz refletida

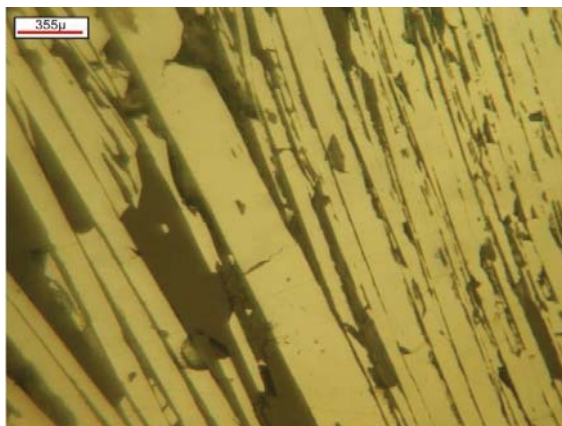


Figura 16 B. Fotomicrografia de metadiamicrito hematítico bandado que mostra plaquetas de hematita com contatos retos nas regiões mais comprimidas da amostra. Nicóis paralelos. Luz refletida

Amostra PT- 17 – Metadiamicrito Ferruginoso

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA: Rocha de cor cinza, anisotrópica, micácea, foliada, com *fabric* formado por grãos de quartzo na fração areia, estirados paralelamente a foliação principal composta por especularita, também orientadas na mesma direção. Ocorrem seixos de até 1 cm, ocelares a arredondados, de fragmentos líticos brancos. No plano da foliação observou-se lineação mineral perpendicular ao eixo de crenulação.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA:

Estrutura/textura: Rocha fortemente anisotrópica, sem bandamento perceptível com foliação penetrativa contínua e fina, dada pela orientação de clastos recristalizados, ocelares a lentiformes de quartzo, palhetas de sericita e placas de hematita, que formam agregados na forma filetes de espessura submilimétrica, que se intercala com faixas quartzo-micáceas, definindo assim o microbandamento composicional. A textura é lepidoblástica com grãos de quartzo monocristalino e mais raramente policristalinos com estruturas sedimentares pouco modificadas por processos metamórficos (dissolução, reprecipitação, deformação). Os seixos líticos de granulação mais fina (siltito carbonático, lamito e fosforita) foram lenticularizados, constituindo corpos lenticulares ou micro-leitos descontínuos. O maior grão de quartzo policristalino atinge pouco mais de 2 mm e os monocristalinos raramente atingem 1 mm.

Composição modal estimada visualmente(%):

Não opacos $\pm 37\%$ ($\pm 7\%$ de quartzo, $\pm 20\%$ de sericita, $\pm 5\%$ de carbonato, $\pm 5\%$ de biotita/clorita e $\pm 2\%$ de apatita e traços de goethita e zircão).

Especularita $\pm 30\%$

Magnetita $\pm 1\%$

Descrição dos minerais e suas relações mútuas:

O quartzo ocorre como cristais de até 1 mm de diâmetro arredondados, ocelares e lenticulares a poligonais, evidenciando cristalização dinâmica. Localmente ocorre como cristais com contato reto a engrenado, formado possivelmente pela mobilização da sílica por passagem de fluidos. Alguns grãos de quartzo detríticos apresentam sombras de pressão simétrica, em geral moldados em bandas sericíticas e distribuição granulométrica serial.

A hematita apresenta-se predominantemente como specularita placóide, de até 0,2mm de comprimento, formando difuso microbandamento composicional. Ocorrem raros cristais euédricos octaédricos de magnetita com 0,4mm, os quais estão parcialmente martitizados e apresentam sombras de pressão com quartzo precipitado. Nas porções da amostra onde a migração de limites de quartzo foi mais intensa o engrenamento destes com a specularita é maior.

A muscovita apresenta granulometria variando de muito fina (sericita) raramente atingindo 1 mm de comprimento. Forma lentes descontínuas e lâmina relativamente contínua bem orientada de aspecto fibroso.

A biotita apresenta-se menos orientada que a muscovita, coloração verde e transformação para clorita. Algumas apresentam halos pleocróicos em função de inclusões de minerais radioativos.

A apatita ocorre sob a forma de cristais isolados anedrais a euédrais podendo atingir 500 μm de comprimento, em concentrações com carbonato e concentrações praticamente monominerálica de granulação muito fina. Um agregado monominerálico alongado possui comprimento da ordem de 4 mm, sugerindo tratar-se de micro seixo deformado.

O carbonato ocorre como grãos anedrais submilimétricos associados às bandas quartzo-micáceas, possivelmente constituindo produto de alteração de grãos de feldspato e principalmente de grãos líticos ou micro-seixos de material margoso ou síltico com cimento carbonático.

Comentários petrogenéticos: O arredondamento dos grãos de quartzo mono e policristalino, sugere origem sedimentar da rocha com posterior deformação e metamorfismo de baixo grau com circulação de fluidos associada, favorecendo a migração ou formação de carbonato, a mobilização da sílica e a transformação da magnetita em hematita.

Os aspectos texturais/estruturais associados a mineralogia sugerem que o protólito trata-se de sedimento com grãos de areia fina a grânulos, imaturo com matriz argilosa e cimento ferruginoso de provável origem química sin-deposicional ou mesmo sin-compactação. A presença de seixos líticos sedimentares (siltito, lamito, marga?, fosforita?, etc.) associada a presença significativa de argilominerais sugere que o material original trata-se de grau vaca, que pode ser de origem turbidítica. Durante a deposição e possivelmente também após a deposição deve ter ocorrido a precipitação do material ferruginoso (hidróxidos ou óxidos de ferro) nos interstícios do material em compactação, em função de circulação de água rica em ferro.

O material foi soterrado, metamorfoisado em fácies xisto verde e deformado, porém não o suficiente para destruir totalmente a textura sedimentar, aspecto que atesta que a deformação não foi muito intensa e que o metamorfismo não atingiu o limite superior da fácies xisto verde, ou seja, a temperatura não atingiu a magnitude de 450⁰C.

A deformação associada a reações metamórficas aparenta ter favorecido a concentração dos óxidos de ferro na rocha, com a migração de parte da sílica.



Figura 17 - Fotomicrografia de metadiamicctito ferruginoso com apatita. A elipse em vermelho mostra seixo de fosforita lenticular. Nicóis cruzados. Luz transmitida