



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



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CONTROLE DA MINERALIZAÇÃO AURÍFERA DE LAMEGO,
SABARÁ, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG.**

AUTOR: Breno de Souza Martins

ORIENTAÇÃO:

Orientadora: Prof^a. Dra. Lydia Maria Lobato

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Rosière

Nº 111

**BELO HORIZONTE
DATA: 08/02/2011**

Breno de Souza Martins

**CONTROLE DA MINERALIZAÇÃO AURÍFERA DE
LAMEGO, SABARÁ, QUADRILÁTERO
FERRÍFERO, MG.**

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Colegiado de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Área de Concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Orientadora: Prof^a Dra. Lydia Maria Lobato

Co-Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Rosière

M379c Martins, Breno de Souza.
2011 Controle da mineralização aurífera de Lamego, Sabará,
 Quadrilátero Ferrífero, MG [manuscrito] / Breno de Souza Martins –
 2011.
 250 f.: il. (color.)

 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
 Instituto de Geociências, 2011.

 Orientadora: Lydia Maria Lobato.

 Co-Orientador: Carlos Alberto Rosière.

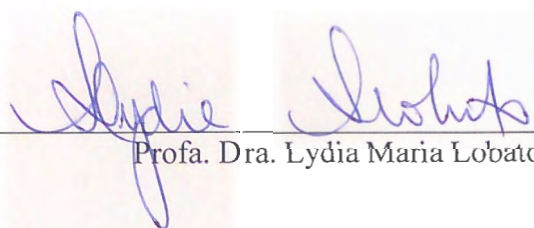
 Bibliografia: f. 229-235.

 Inclui anexos.

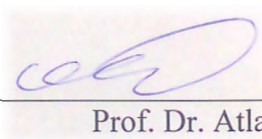
 1. Quadrilátero ferrífero (MG) – Teses. 2. Mapeamento geológico –
 Teses. 3. Ouro – Teses. 4. Alteração hidrotermal – Teses. I. Lobato,
 Lydia Maria. II. Rosière, Carlos Alberto. III. Universidade Federal de
 Minas Gerais, Instituto de Geociências. IV. Título.

 CDU: 627.7:622.342

Dissertação defendida e aprovada, em 08 de fevereiro de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Profa. Dra. Lydia Maria Lobato



Prof. Dr. Atlas Corrêa Neto



Dr. Ulisses Cyrino Penha

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e familiares pelos incentivos e por estarem sempre me apoiando, principalmente nos momentos mais difíceis.

À professora Lydia Lobato, pela dedicação, paciência, esforço, bom humor e incentivo que me foi dado incondicionalmente durante todo o trabalho. MUITÍSSIMO obrigado!

Ao professor Carlos Alberto Rosière pelas discussões, observações, “puxões de orelha” e incentivo. Valeu mesmo!

Ao geólogo consultor Franciscus Jacobus Baars pelos papos, troca de idéias e orientações diversas.

À professora Rosaline Cristina Figueiredo e Silva pelas discussões e orientações na parte petrográfica.

À empresa AngloGold Ashanti Brasil Mineração (AGA), pelo auxílio financeiro, logístico e técnico durante todo o desenvolvimento dos trabalhos de campo. Essa Dissertação de Mestrado associa-se a um projeto concebido originalmente pelo Dr. Ulisses Cyrino Penha da AGA, que acompanhou todas as fases do seu desenvolvimento. A Gerência de Recursos Minerais, a cargo do geólogo Paulo de Tarso Ferreira, assumiu o apoio ao projeto. O projeto também contou com o apoio operacional irrestrito do engenheiro Leonardo Nunes Coelho, Gerente da Mina Lamego, que disponibilizou sua equipe para o bom êxito do trabalho. O geólogo Hebert Lopes de Oliveira, Gerente da Geologia da Mina Lamego, prestou auxílio na coordenação logística e técnica. O Coordenador GIS/Database André de Rezende

Jardim ficou a cargo do fornecimento e consistência da base de dados. O treinamento para o mapeamento no subsolo foi fornecido pelo geólogo consultor Frederico Wallace Vieira. Os trabalhos de mina contaram ainda com os geólogos Fábio André Batista, Jacqueline de Lemos Coelho, Cláudia Mara Neves, Eduardo Zenha Cordeiro e Samuel Nunes Ferreira. O técnico Misael Nazário exerceu papel fundamental durante os levantamentos no subterrâneo, tendo sua participação sido negociada pelo geólogo Raphael do Carmo Fernandes, da Mina Cuiabá, com autorização do Gerente de Geologia daquela mina, geólogo Anderson Gonçalves Cândido.

A todos esses profissionais meu sincero agradecimento.

A CAPES pela concessão durante toda a realização dos trabalhos.

À Universidade Federal de Minas Gerais, que nos propiciou as condições necessárias para realização do presente trabalho.

E por fim, aos nossos colegas de curso, que sabem das dificuldades que temos enfrentado até aqui e que ainda iremos enfrentar.

E, acaso tenha esquecido alguém, o que é possível, deixo aqui registrado o meu muito obrigado a todos.

“Si vis pacem para bellum”

Publius Flavius Vegetius Renatus

RESUMO

A jazida aurífera Lamego, da AngloGold Ashanti Brasil Mineração, em Sabará-MG, é um depósito de ouro orogênico (Groves *et al.*, 1998), mesotermal para epitermal, desenvolvido em um ambiente de tectônica compressional, de caráter epigenético, encaixado em rochas intensamente hidrotermalizadas e estruturalmente deformadas.

Acha-se hospedada em rochas arqueanas do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, porção NE do Quadrilátero Ferrífero - QF, com orientação NE-SW que mergulham em um homoclinal para SE.

Trabalhos de mapeamento geológico e estrutural detalhado na escala 1:100, em galerias e das áreas de influência da sondagem, foram realizados durante projeto de pesquisa, coordenados na UFMG (financiamento AngloGold e CNPq), de sete níveis mineralizados em quatro corpos de minério, a saber, Carruagem, Queimada, Arco da Velha e Cabeça de Pedra, além da caracterização petrográfica.

Da base para o topo afloram: metandesito (rocha verde, fina, em espessura até 200 m), formação ferrífera bandada-FFB e *metachert* (rocha escura, bandada, até 5 m), filito carbonoso (de 15 a 20 m) e sericita-filito (cinza foliada). A principal hospedeira da mineralização é uma FFB, sulfetada. A presença de pirita (\pm arsenical) associada à arsenopirita indica mineralização em ouro. Houve silicificação, evidenciada pela existência de três gerações de quartzo, de características distintas em escalas macro e microscópica; as duas primeiras gerações ocorrem junto à FFB. A primeira ocorre como quartzo fumê (rico em inclusões fluidas), em massas concordantes ou não, que invadem todo o conjunto mineralizado. São agregados grossos a finos, apresentando evidências de terem sido deformados, de forma heterogênea; os agregados apresentam extinção ondulante, sub-grãos e novos grãos por recristalização parcial. A segunda geração é uma massa quartzosa granoblástica,

sendo produto da completa recristalização da primeira; a terceira geração é formada por quartzo leitoso, encontrado principalmente em zona de falha, e que ocorre cortando as duas primeiras gerações. Parte das partículas de ouro nas massas de quartzo, consideradas até então como 'ouro-livre' e de distribuição aleatória, estão espacialmente associadas a faixas reliquiares de rochas encaixantes (FFB e filitos) incorporadas a essas massas.

Um dos principais resultados dessa pesquisa é demonstrar que o controle estrutural da mineralização está relacionado com estruturas do tipo *pinch-and-swell*. As estruturas podem se desenvolver para *boudins* e, geralmente, exibem formato de tablete de chocolate com estrangulamento em duas direções perpendiculares entre si (100-150/35-60 a 190-220/10-25). Essas estruturas ocorrem em escala centimétrica-hectométrica, e são comumente observadas em venulações *boudine* e de quartzo fumê e *boudins* de várias rochas encaixantes e mineralizadas.

Estudos petrográficos corroboram que é provável que a mineralização Lamego tenha ocorrido em condições crustais na transição mesozonal para epizonal, diferindo da maior parte dos depósitos auríferos arqueanos clássicos no QF.

Palavras-chave:

Greenstone Belt Arqueano, Brasil, *Greenstone Belt* Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Depósito de Ouro Orogênico, Ouro Hospedado em FFB, Petrografia de Jazidas de Ouro, Alteração Hidrotermal, Controle Estrutural, Depósito Lamego, Jazida Lamego, Mina Lamego.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Localização do Greenstone Belt Rio das Velhas no Distrito do Quadrilátero Ferrífero, sul do Cráton São Francisco.	33
FIGURA 1.2 - Localização da área e vias de acesso para Sabará.	34
FIGURA 1.3 - Acesso a Mina Lamego a partir de Sabará. Retirado e modificado a partir de Google Earth®.	35
FIGURA 1.4 - Áreas em concessão para a empresa AngloGold Ashanti Brasil na região de Sabará.	36
FIGURA 2.1 - Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero evidenciando o embasamento cristalino, Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas.	38
FIGURA 2.2 - Principais feições fisiográficas (cristas de serra) e rede hidrográfica nas proximidades de Belo Horizonte e Sabará.	39
FIGURA 2.3 - Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco mostrando a localização do Quadrilátero Ferrífero a sul.	41
FIGURA 2.4 - Coluna estratigráfica e resumo da evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero.	42
FIGURA 2.5 - Mapa geológico simplificado do Greenstone Belt Rio das Velhas incluindo o Quadrilátero Ferrífero.	49
FIGURA 2.6 - Posicionamento no tempo geológico dos principais eventos tectônicos ocorridos no Quadrilátero Ferrífero.	53
FIGURA 2.7 - Evolução Tectônica do Greenstone Belt Rio das Velhas.	63
FIGURA 3.1 - Ambiente tectônico no qual forma-se os depósitos de ouro orogênico.	65
FIGURA 3.2 - Ambiente geológico de um greenstone belt com suas respectivas rochas entre as quais sita-se granito-gnaiss, intrusões graníticas, rochas sedimentares, rochas vulcânicas ultramáficas e máficas.	66
FIGURA 3.3 - Seção esquemática apresentando a continuidade crustal em várias faixas de profundidade de ocorrência dos depósitos de ouro orogênico arqueanos e a terminologia proposta por Groves et al. (1998).	69
FIGURA 3.4: - Esquema do processo de abastecimento de fluidos.	72

FIGURA 4.1 - Mapa geológico da folha Belo Horizonte com detalhe no Depósito Lamego.	75
FIGURA 4.2 - Representação do mapa de superfície do depósito Lamego onde são observadas as respectivas litologias. Em vermelho corresponde a projeção dos corpos de minério em superfície. Amarelo é o traçado de galerias da mina subterrânea.	77
FIGURA 4.3 - Mapa geológico simplificado do Corpo Queimada Nível 01.	80
FIGURA 4.4 - Mapa geológico simplificado do Corpo Arco da Velha Nível 01.	82
FIGURA 4.5 - Mapa geológico simplificado do Corpo Arco da Velha Nível 02.	83
FIGURA 4.6 - Mapa geológico simplificado do Corpo Cabeça de Pedra Nível 01.	85
FIGURA 4.7 - Mapa geológico simplificado do Corpo Cabeça de Pedra Nível 02.	86
FIGURA 4.8 - Mapa geológico simplificado do Corpo Carruagem Nível 01.	88
FIGURA 4.9 - Mapa geológico simplificado do Corpo Carruagem Nível 02.	89
FIGURA 4.10 - Mapa geológico simplificado integrado dos corpos Queimada, Arco da Velha e Cabeça de Pedra níveis 01 no qual está evidenciado, na cor laranja, a litologia metandesito.	92
FIGURA 5.1 - Ambiente geológico estrutural, Depósito Lamego.	170
FIGURA 5.2 - Projeções estereográficas para as atitudes de foliação e bandamento para todo o depósito Lamego. Note que as atitudes de foliação apresentam grande concentração de medidas para SE, assim como as atitudes de bandamento.	181
FIGURA 5.3 - Projeção estereográfica para toda a Mina Lamego, apresentando todas as lineações L_3 que estão distribuídas ao longo de um plano N-S de atitude 097/85.	197
FIGURA 6.1 - Comparação entre níveis de corpos de minério, distribuição litológica por área e porcentagem de área.	208
FIGURA 6.2 - Quartzo fumê na forma de boudins em lâmina.	210
FIGURA 6.3 - Gráfico de porcentagem da forma de ocorrência de ouro.	212

FIGURA 6.4 - Representações do mapa de superfície do depósito Lamego onde são observadas os corpos de minério e a projeção destes em profundidade e a estruturação entre rampa de falha e direção da foliação. _____216

FIGURA 6.5 - Projeção estereográfica representando a dispersão dos eixos das dobras e os plunge para os corpos de minério do Depósito Lamego. _____217

FIGURA 6.6 - Proposta A, Unidade Mestre Caetano da Dobra Lamego, de fato, teria contato direto com a Unidade Córrego do Sítio, através de uma falha reversa _____226

FIGURA 6.7 - Proposta B, Unidade Mindá sobrepõem a Unidade Córrego do Sítio. _____227

FIGURA 6.8 - Proposta C, Unidade Mindá sobrepõem a Unidade Córrego do Sítio com uma falha mais distal do Depósito Lamego. _____228

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 - Evolução da formação dos terrenos TTG com base em dados bibliográficos _____	44
QUADRO 2.2 - Subdivisão informal para o Supergrupo Rio das Velhas _____	46
QUADRO 2.3 - Estratigrafia do Greenstone Belt Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero _____	48
QUADRO 2.4 - Resumo dos principais trabalhos sobre o metamorfismo do Quadrilátero Ferrífero _____	54
QUADRO 2.5 - Resumo dos eventos deformacionais _____	59
QUADRO 2.6 - Eventos Deformativos _____	60
QUADRO 2.7 - Evolução estrutural do Greenstone Belt Rio das Velhas e QF, primeiro período _____	61
QUADRO 2.8 - Evolução estrutural do Greenstone Belt Rio das Velhas e QF, segundo período _____	62
QUADRO 2.9 - Síntese da evolução estrutural do Greenstone Belt Arqueano Rio das Velhas e sequências de coberturas Proterozóica dentro da região do Quadrilátero Ferrífero _____	62
QUADRO 2.10 - Síntese de modelos de evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero _____	63
QUADRO 3.1 - Resumo das eras, idades e características geológicas de depósitos orogênicos ao longo do tempo geológico _____	70
QUADRO 4.1 - Coluna litoestratigráfica esquemática do Depósito Lamego _____	76
QUADRO 4.2 - Tabela com o resumo das principais características petrográficas dos litotipos do Depósito Lamego _____	167
QUADRO 5.1 - Resumo dos dados estruturais descritos no Depósito Lamego nos Corpos Queimada Nível 01 e Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Carruagem Níveis 01 e 02. _____	204

LISTA DE TABELAS

- TABELA 4.1 - Resumo da quantidade de lâminas, separado por corpo de minério, e as que foram produzidas para análise estrutural._____73**
- TABELA 4.2 - Resumo da produção das atividades de mapeamento_____78**
- TABELA 4.3 - Informações de recursos atualizados até dezembro de 2010 separado por corpos de minério. _____79**
- TABELA 4.4 - Resumo da área em mapa separado por nível de corpo de minério e rocha. Observe que quartzo fumê predomina como corpo de minério para os corpos Arco da Velha Nível 02 e Carruagem níveis 01 e 02. Formação ferrífera possui ocorrência em todos os níveis mapeados. _____90**
- TABELA 5.1 - Resumo da produção das atividades de mapeamento e levantamento de dados estruturais._____170**
- TABELA 6.1 - Descrição dos eventos deformacionais, comportamento reológico e estruturas desenvolvidas. _____214**

LISTA DE PRANCHAS

PRANCHA 3.1 - Relação entre a variação da profundidade dos depósitos orogênicos (a); grau metamórfico (b); e estruturas geológicas (c). _____ 68

PRANCHA 4.1 - Fotografias do metandesito. a) de cor verde e foliada, Corpo Arco da Velha Nível 01; b) de cor verde e maciça e associado a carbonatos e quartzo leitoso, Corpo Carruagem Nível 01; c) em falha com o xisto carbonoso, Corpo Carruagem Nível 01; d) de cor cinza, foliado e em contato superior com formação ferrífera bandada, Corpo Arco da Velha Nível 01; e) de cor verde, cloritizado, foliado e associado com quartzo fumê, Corpo Carruagem Nível 01; e f) com níveis de metachert, Corpo Arco da Velha Nível 02. _____ 93

PRANCHA 4.2 - Ocorrência de a) quartzo leitoso, carbonatos e piritas em zonas de falhas, Corpo Carruagem Nível 01, b) veio carbonato-quartzo entrecortando o metandesito, Corpo Arco da Velha Nível 02, e) Nível métrico de metachert dentro do metandesito, Corpo Arco da Velha Nível 02. _____ 94

PRANCHA 4.3 - a) Gráfico da composição mineral em porcentagem para os metandesito; Fotomicrografias b) Massa fina formada por carbonato-sericita-quartzo fino, com cristais de plagioclásio (Plag) maclados (setas em vermelho). Vênulas de quartzo fumê e carbonato sub-paralelas podem ser observadas. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); c) Detalhe do plagioclásio (Plag) Luz transmitida, nicóis cruzados (50X); d) Massa de clorita, nicóis cruzados (25X); e e) Cristal de epidoto, nicóis cruzados (100X). _____ 99

PRANCHA 4.4 - Fotomicrografia com cristais de quartzo subédricos, em contatos irregulares, deformados, com bordas lobadas e carbonatos em cristais alongados, granulação média orientados segundo a foliação. Ambos, quartzo e carbonatos, ocorrem em veios, nicóis cruzados (50X). _____ 100

PRANCHA 4.5 - Fotomicrografia com cristais de pirita subédrica a euédrica, porosa e associada a agregados de quartzo; arsenopirita subédrica a euédrica e com cristais grossos; calcopirita fina, anédrica e associado a massas de quartzo. _____ 101

PRANCHA 4.6 - Fotomicrografias a) Cristal euédrico de arsenopirita (Apy) rompido por quartzo (Qtz) em xisto. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); b) Cristal euédrico de arsenopirita (Apy) rompido por quartzo (Qtz) em xisto. Luz refletida, nicóis cruzados (25X); c) Cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf). Luz transmitida, nicóis cruzados; d) Cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf), e luz refletida (25X); e) Cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf). Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); f) Cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e

menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf), luz refletida (25X).

102

PRANCHA 4.7 - Fotomicrografias a) Massa fina de clorita-epidoto-quartzo-anfibólio e agregado de cristais finos de epidoto em metabasalto cloritizado. Luz transmitida, nicóis descruzados (50X); b) Massa fina de clorita-epidoto-quartzo-anfibólio e agregado de cristais finos de epidoto em metabasalto cloritizado. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X); c) cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf). Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X); d) Detalhe mostrando pirita (Py) e calcopirita (Cpy), esta última alterada a malaquita, e relicto de covelita (Cov-seta). Luz refletida (200X); e) Massa fina de quartzo (Qtz) e carbonato (Carb), com porções irregulares de carbonato pouco mais grosso. Notar que carbonato parece adentrar e disseminar a rocha a partir dessa porção. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X).

103

PRANCHA 4.8 - Fotomicrografias a) Faixas crenuladas e dobradas marcadas por sericita e clorita. Luz transmitida, nicóis paralelos, (50X); b) Faixas crenuladas e dobradas marcadas por sericita e clorita. Luz transmitida, nicóis cruzados, (50X); c) Detalhe mostrando cristal de rutilo (seta azul) Luz transmitida, nicóis descruzados (50X); d) Quartzo tardio em relação a carbonato. Luz transmitida, nicóis cruzados, (50X); e) Arsenopirita sobrecrecendo cristais de carbonato. Luz refletida, nicóis descruzados (25X); f) Arsenopirita sobrecrecendo cristais de carbonato. Luz refletida, nicóis cruzados (25X);

104

PRANCHA 4.9 - Representação litológica das 5 fácies de alteração hidrotermal e classificação das cinco fácies de alteração hidrotermal e suas respectivas composições e porcentagens mineralógicas

106

PRANCHA 4.10 - Metachert a) exibindo carbonato e pirita como mineral acessório, Corpo Arco da Velha Nível 02; b) Afloramento de metachert ferruginoso e carbonoso, bandado, Corpo Arco da Velha, Nível 02, c) detalhe do bandamento do metachert, Corpo Arco da Velha Nível 02 e, d) níveis de matéria carbonosa no chert, Corpo Cabeça de Pedra Nível 01.

108

PRANCHA 4.11 - a) Gráfico mostrando a porcentagem de minerais que compõem o metachert. Fotomicrografias b) Quartzo (Qzo) e carbonato (Carb) com pirita. Luz transmitida, nicóis cruzados, (50X); c) A mesma porção de b com pirita (Py) porosa inclusa por quartzo (seta) com luz refletida, nicóis paralelos, (50X); d) Dois tipos de carbonatos (i) grosso hidrotermal, (ii) fino e impregnado por fina poeira, sericita aspecto fibroso a orientada e associada com matéria carbonosa. Luz refletida, nicóis cruzados, (25X); e) Faixas onde se misturam os dois tipos de carbonatos. Luz refletida, nicóis cruzados, (25X).

112

PRANCHA 4.12 - Fotomicrografias a) Detalhe do cloritóide (Clot) em habito prismático e associado a quartzo. Luz transmitida, nicóis cruzados; b) Detalhe

mostrando cristais porosos de pirita (Py) e cristais finos euédricos de arsenopirita (Apy). Luz refletida, nicóis paralelos (100X). c) Carbonato (Carb) manchado em vug. Observe cristais de quartzo (Qtz) com textura em pente. Luz transmitida, nicóis cruzados (100X); d) Arsenopirita (Apy) e calcopirita (Cpy) parecem se formar a custa de carbonato (Carb) manchado em vug. Luz refletida (100X). _____ 113

PRANCHA 4.13 - Fotomicrografia a) Cloritóide (Clot) associada com matéria carbonosa (MCb) e quartzo (Qtz). Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X);__ 114

PRANCHA 4.14 - Fotomicrografias a) Caracterização de bandamentos composto (i) uma banda de chert recristalizado e (ii) outra banda de carbonato-sulfeto-quartzo. Luz refletida, nicóis cruzados, (25X) e b.Detalhe mostrando os sulfetos da segunda banda. Luz transmitida, nicóis paralelos, (25X). _____ 115

PRANCHA 4.15 - Fotomicrografias a) Cloritóide (Clot) radial em meio a massa fina de quartzo-sericita (Qtz-Ser). Luz transmitida, nicóis cruzados (100X); b) bandamento com presença de veios concordantes e discordantes ao bandamento caracterizando estrutura stockwork. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); c) Semelhante à letra a, com luz refletida, nicóis cruzados, (25X) e, d) Sulfetos concordante ao bandamento. Luz transmitida, nicóis paralelos, (25X). _____ 116

PRANCHA 4.16 - Fotomicrografias a) Microbandamento de matéria carbonosa (Mat Cb) e quartzo (Qtz) e banda rica em sulfetos com vênulas discordantes de quartzo-carbonato (Qtz-Carb). Luz transmitida, nicóis cruzados (25X). b) Mesma porção da fotomicrografia a realçando microbandamento discordante e sulfetos são esfalerita e pirita. Luz transmitida, nicóis descruzados (25X). c) Cristais de pirita (Py) porosa em veio-vug de quartzo (Qtz) e carbonato (Carb). Luz transmitida, nicóis cruzados (50X). d) Pirita em veio. Luz refletida, nicóis cruzados (50X). e) Veio-vug preenchido por quartzo (Qtz), carbonato (Carb) manchado. Luz transmitida, nicóis cruzados, (50X). f) Pirita porosa (Py) em veio vug. Luz refletida, nicóis descruzados (50X). _____ 117

PRANCHA 4.17 - Fotomicrografias a) Provável cristal de quartzo (Qtz) vulcânico. Luz transmitida, nicóis cruzados (100X). b) Cristais de quartzo (Qtz) deformados, com bordas lobadas e com intensa formação de subgrãos. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X). c) Veio de quartzo (Qtz) deformado e bordas lobadas. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X). d) Cristais de carbonato (Carb) manchado, com sulfetos (Sulf) associados, em meio a veio de quartzo (Qtz). Luz transmitida, nicóis cruzados (200X); e) Foto anterior mostrando cristais de esfalerita (Sph) fina, e pirita (Py) em borda de carbonato (Carb). Luz refletida (200X)._____ 118

PRANCHA 4.18 - Fotomicrografia a)Faixas de sericita, matéria carbonosa, pirita fina com porções de quartzo e carbonato além da presença de pirita autigênica recristalizada _____ 119

PRANCHA 4.19 - a) FFB com veio cortando o bandamento e variação na espessura do mesmo, Corpo Arco da Velha Nível 01; b) FFB com veios cortando o bandamento sistematicamente caracterizando uma clivagem espaçada, Corpo Cabeça de Pedra Nível 01; c) Minerais presentes no bandamento: quartzo, carbonato e sulfetos (principalmente pirita), Corpo Cabeça de Pedra Nível 01; d) Espessura de 2,5 metros para formação ferrífera bandada, Arco da Velha Nível 01. _____ 121

PRANCHA 4.20 - a) Gráfico de porcentagem de composição mineral FFB; Fotomicrografias b) Dois tipos de quartzo (Qtz): (i) anédrico, fino a médio, contatos poligonais e irregulares, e (ii) bordas serrilhadas, deformado tipo fumê. Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X); c) Quartzo (Qtz) estirado em franja de recristalização. Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X); d) Dois tipos de carbonato (Carb): (i) anédrico, fino a médio, contatos poligonais e (ii) manchado, extinção ondulante e estirado; e) Clorita (Chl) (Fe-Mg), fortemente sulfetada. Luz transmitida, nicóis descruzados e cruzados (25X). _____ 126

PRANCHA 4.21 - Fotomicrografia a) Sericita (Ser) e mica branca (Mbr) associada com matéria carbonosa (MtC). Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); _____ 127

PRANCHA 4.22 - Fotomicrografias a) Pirita localmente arsenical. Luz refletida, nicóis descruzados, (200X); b) Cristal de calcopirita próximo a pirita. Luz transmitida, nicóis descruzados, (200X); c) Cristais de pirita (Py) porosa, cristais euédricos de arsenopirita (Apy). Luz refletida, nicóis descruzados (100X); d) Detalhe mostrando rara calcopirita (Cpy - seta vermelha) em pirita (Py), que se altera a arsenopirita (Apy). Note que cristal muito fino ilmenita (Ilm - seta azul) também está incluso em pirita (Py). Luz refletida, nicóis descruzados (20X). _____ 128

PRANCHA 4.23 - Fotomicrografia de massa de esfalerita irregular e granulação fina. Luz refletida, nicóis paralelos, (25X). _____ 129

PRANCHA 4.24 - Massa de esfalerita circundada por carbonato e em menor proporção quartzo. Luz refletida, nicóis cruzados, (25X). _____ 130

PRANCHA 4.25 - Fotomicrografias a) Cristais porosos de pirita (Py) e arsenopirita (Apy), fina lamelar. Detalhe mostrando partícula de ouro fina (0,05 mm) inclusa em pirita (Py). Luz refletida (100X); b) Mesma seção de a, mas com aumento de 200X; c) Partículas de ouro inclusas em cristais de pirita (Py) porosa arsenical. Luz refletida (100X); d) Mesma seção de c, mas com aumento de 200X; e) Faixas de arsenopirita (Apy) fina nas bordas (contato) entre banda (i) dominada por carbonato-pirita (Carb-Py) e (ii), onde predomina quartzo (Qtz) deformado tipo fumê. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); e) Detalhe mostrando faixas de arsenopirita (Apy) fina nas bordas ao longo do contato de porções de quartzo (Qtz). Luz refletida (50X). _____ 131

PRANCHA 4.26 - Fotomicrografias a) Caracterização de bandamentos composto (i) uma banda de quartzo e carbonato e (ii) outra banda de quartzo, carbonatos e sulfetos. Luz refletida, nicóis cruzados, (25X) e b) Detalhe mostrando os sulfetos da segunda banda. Luz transmitida, nicóis paralelos, (25X). _____ 132

PRANCHA 4.27 - Fotomicrografias a) Quartzo (Qtz) em franja envolta de pirita (Py); b) Pirrotita (Po) se forma a custa de magnetita (Mag) grossa desagregada em FFB hidrotermalizada. Luz refletida (200X); c) Cristais muito finos de magnetita (Mag) e carbonato (Carb) constituindo bandas mais preservadas da FFB. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X); d) Detalhe da foto anterior mostrando microbandamento definido pela intercalação de finas bandas de magnetita (Mag) e carbonato (Carb). Luz transmitida, nicóis cruzados (100X); e) Cristais finos de magnetita (Mag) (i) em banda de FFB e cristais mais grossos (ii) provavelmente hidrotermais, em borda de veio de carbonato Carb (seta azul fotomicrografia f). Notar no detalhe que pirita (Py) cresce a custa de magnetita (Mag) (ii). Luz transmitida, nicóis descruzados (100X) e luz refletida (200X)._ 133

PRANCHA 4.28: Fotomicrografia mostrando contato entre banda mais rica em carbonato hidrotermal e banda com carbonato (Carb) e magnetita fina (Mgt), provavelmente originais. Luz transmitida, nicóis cruzados (200X). _____ 134

PRANCHA 4.29 - Silicificação com a) quartzo de granulação grossa, sulfetos e quartzo leitoso, Corpo Arco da Velha Nível 01; b) quartzo fumê associado com carbonato no xisto carbonoso, Corpo Cabeça de Pedra Nível 01;c) Escala hectométrica da massa de quartzo fumê envolvido por xisto carbonoso, Corpo Carruagem Nível 02; d) Escala métrica da massa de quartzo fumê, Corpo Arco da Velha Nível 02, e) Escala centimétrica da massa de quartzo fumê, Corpo Arco da Velha Nível 02. _____ 137

PRANCHA 4.30 - Silicificação com massas de quartzo a) boudinado, com recristalização em quartzo leitoso e dentro da formação ferrífera bandada, Carruagem Nível 01;b) boudinado, com recristalização em quartzo leitoso e no xisto carbonoso, Corpo Carruagem Nível 02; c) massa irregular e com recristalização em quartzo leitoso no metandesito foliado, Corpo Carruagem Nível 02._____ 138

PRANCHA 4.31 - Veios ocorrendo a) discordante e concordantes ao bandamento da FFB, Corpo Cabeça de Pedra Nível 02, b) discordantes em porções silicificadas e sulfetadas em relictos de FFB, Corpo Cabeça de Pedra Nível 02, c) passando de discordante a concordante em FFB localmente dobrada, Corpo Cabeça de Pedra Nível 02 d) Quartzo fumê com recristalização em quartzo leitoso em estrutura pinch-and-swell no metandesito, Corpo Arco da Velha Nível 02._____ 139

PRANCHA 4.32 - Silicificação ocorrendo com a) intensa venulação de quartzo leitoso associado com sulfetos e xisto carbonoso, Corpo Carruagem Nível 01,

b) venulação associado com quartzo fumê e relicto de xisto carbonoso, Corpo Carruagem Nível 01, c) quartzo fumê com aspecto brechado e associado ao metandesito, Corpo Carruagem Nível 01, d) veio de quartzo leitoso em echelon, Corpo Arco da Velha Nível 02, e) Quartzo leitoso, quartzo fumê, formação ferrífera bandada em textura stockwork envoltos por xisto carbonoso, Cabeça de Pedra Nível 01. _____ 140

PRANCHA 4.33 - Ocorrência associada das formas de silicificação (i), (ii), (iii), (iv), (vi), (vii) e (ix). _____ 141

PRANCHA 4.34 - a) Gráfico de porcentagem de composição mineral FFB. Fotomicrografias b) Cristais de quartzo (Qtz) grossos, recristalizados, com formação de subgrãos límpidos. Gradação de quartzo (Qtz) deformado orientado mais grosso (seta azul) para quartzo fino (Qtz) poligonal (esquerda). Carbonatos ocorrem bem formados, euédricos e clivagem marcante. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); c) Detalhe da foto anterior mostrando abundância de inclusões fluidas bifásicas em Qtz fumê. Luz transmitida, nicóis descruzados (500X). _____ 145

PRANCHA 4.35 - Fotomicrografias a) quartzo (qtz) e carbonato (carb) em contato poligonal e granulação fina. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); b) Mesma seção da fotomicrografia a na qual são ressaltados os cristais de arsenopirita (Apy). Luz refletida, nicóis descruzados, (25X); c) Quartzo (Qtz) e carbonato (Carb) de granulação média, bordas lobadas com vênulas de esfalerita. Faixa mica/sericita (Mbr/Ser) descontínua. Luz Transmitida, nicóis cruzados, (25X); d) Seção semelhante da fotomicrografia c na qual está evidenciado a esfalerita (Spy). Luz refletida, nicóis descruzados, (25X); e) Carbonato (Carb) e quartzo (Qtz) em franjas e associado com calcopirita. Luz refletida, nicóis cruzados, (50X); e) Mesma seção da fotomicrografia d na qual está ressaltado o cristal de pirita (Py). Luz refletida, nicóis descruzados (50X). _____ 146

PRANCHA 4.36 - Fotomicrografias a) Cristais porosa e fraturados de pirita (Py), com cristais euédricos não porosos na borda (provável recristalização), envoltos por quartzo (Qtz), com faixas de matéria carbonosa (Mat Cb) e sericita (Ser). Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); b) Mesma seção de a sendo que neste caso estão ressaltados os cristais de pirita, Luz refletida, nicóis descruzados (25X); c) Arsenopirita (Apy) forma a custa de pirita (Py). Luz transmitida, nicóis descruzados (200X); d) Detalhe da arsenopirita (Apy) em contato com pirita. Luz transmitida, nicóis cruzados (200X); e) Detalhe mostrando finos cristais de pirita (Py) associados a carbonatos (Carb), prováveis porções reliquiares de FFB, com arsenopirita (Apy) euédrica sobrecrecida, com inclusões de pirrotita (Po) (seta). Luz refletida (100X). _ 147

PRANCHA 4.37 - Fotomicrografias a) Galena (Gal), calcopirita (Cpy) em veio de quartzo-carbonato (Qtz-Carb), e inclusões de provável tenantita-tetraedrita (Ten-Tet). Luz refletida, nicóis cruzados, (25X); b) Detalhe mostrando relictos

de esfalerita (Sph-setas vermelhas) em pirita porosa e arsenical (Py), com inclusões de calcopirita (Cpy) e 1 partícula de ouro (seta azul). Luz refletida (100X). _____ 148

PRANCHA 4.38 - Fotomicrografias a) Cristais de quartzo no qual estão inclusas partículas de ouro. Luz transmitida, nicóis cruzados, (200X); b) Partículas de ouro (setas em azul) inclusas em pirita arsenical (Py), em esfalerita (Sph), e em meio a quartzo (Qtz). Luz refletida, nicóis cruzados (200X); c) Trilha de pirita (Py) e Au no contato fumê-faixa sericítica. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); d) Detalhe mostrando partícula de ouro (0,06 mm) inclusa em arsenopirita (Apy), esta sobrecrecida em pirita porosa (Py) fina associada a Carb. Luz refletida (100X). _____ 149

PRANCHA 4.39 - Fotomicrografias a) Filetes de ouro em fraturas de arsenopirita (Apy) porosa e Au granular incluso. Os cristais de arsenopirita (Apy) estão interrompidos por mica e quartzo (Qtz). Luz refletida e luz transmitida, nicóis cruzados (100X); b) Faixa de mica em meio a quartzo fumê (Qtz) com partículas de ouro associadas. Luz refletida, nicóis cruzados, (25X); c) Cristal de pirita (Py) porosa com partícula de ouro inclusa (seta). Luz refletida, nicóis cruzados e luz refletida (50X); d) Detalhe mostrando partícula de ouro (seta) muito fina (0,008 mm) inclusa em pirita (Py). Luz refletida (500X). _____ 150

PRANCHA 4.40 - a) Xisto carbonoso em contato com formação ferrífera bandada; b) Planos de foliação bem definidos inclusive com bom registro de lineações; c) lente de formação ferrífera bandada exibindo dois níveis. Nível superior com predomínio de quartzo e inferior com carbonato; d) lente de formação ferrífera bandada concordante com a foliação, novamente dois níveis, um superior de quartzo e outro inferior de carbonato; e) xisto invadindo lente de formação ferrífera bandada. _____ 153

PRANCHA 4.41 - Níveis de: a) Sulfeto maciço dobrado; b) Sulfeto maciço estirado na foliação; c) Sulfeto maciço em círculo; d) Sulfeto-quartzo e quartzo leitoso-carbonato; d) Sulfeto-quartzo dobrado. _____ 154

PRANCHA 4.42 - Níveis de a) Quartzo-sulfeto dobrado; b) Carbonato e carbonato-sulfeto; c) Sulfetos-quartzo e sulfeto-quartzo-carbonato; d) Quartzo fumê dobrado; e) Sulfeto-quartzo e sulfeto-quartzo-carbonato alternados.____ 155

PRANCHA 4.43 - a) Gráfico com a porcentagem da composição mineral do xisto carbonoso. Fotomicrografias b) Quartzo de matriz de granulação fina e quartzo de veio granulação média. Seta em vermelho indica plano de foliação. Luz transmitida, nicóis cruzados, (50X); c) Distinção entre carbonato de matriz de granulação fina e carbonato de veio de granulação grossa. Seta vermelha indica plano de foliação. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X)._____ 159

PRANCHA 4.44 - Fotomicrografias a) Cristais de pirita (Py) (i) muito fina no bandamento e (ii) mais grossa amarela sub-euédrica associada a bandas e/ou

porções de veios com quartzo (Qtz) poligonal. Luz refletida, nicóis cruzados, (50X); b) Rocha microbandada com pirita (Py) (i) fina, e pirita (Py) mais grossa associada a magnetita (Mag) e quartzo poligonal (Qtz). c) Cristais de pirita (Py) (iii) mais grossa, porosa em veio de quartzo-carbonato (Qtz-Carb), e cristais muito finos de pirita (Py) em microbandas (parte superior da foto). Luz refletida, nicóis cruzados e luz (25X); d) Visão geral mostrando cristais muito finos e arredondados de pirita (Py) (iv), e cristal de arsenopirita (Apy-seta azul) associado. Luz refletida (200X); f) Concentração de pirita (Py) fina, provavelmente framboidal. Luz refletida (200X). _____ 160

PRANCHA 4.45 - Fotomicrografias a) Quartzo perpendicular a foliação em estrutura em pente. Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X); b) Detalhe do quartzo em estrutura em pente. Luz transmitidas, nicóis cruzados, (25X), c) Pirita (Py) euédrica hidrotermal parece crescer a custa da Pirita (Py) fina autigênica. Luz refletida (50X). _____ 161

PRANCHA 4.46 - Fotomicrografias a) Alternância de bandas de matéria carbonosa e sericita-quartzo com presença de pirita (Py), arsenopirita (Apy) e esfalerita (Sph). Luz transmitida, nicóis cruzados (100X); b) Mesma porção de a com luz refletida, nicóis descruzados, (100X), c) Cristais de pirita (Py) e arsenopirita (Apy) em granulação fina e grossa e associado a quartzo (Qtz). Luz refletida, nicóis cruzados, (25X); d) Mesma seção da foto c, mas com nicóis cruzados, (25X), e) Carbonato (Carb) oblíquo as demais bandas. Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X). _____ 162

PRANCHA 4.47 - Exposição de metapelito em subterrâneo: a) predomínio de cor cinza, Corpo Arco da Velha Nível 01; b) sigmóide centimétrico de quartzo leitoso e níveis de quartzo e sulfetos, Corpo Carruagem Nível 02. Fotomicrografias c) Sericita/muscovita (Musc/Ser) fibrosos. Luz transmitida, nicóis descruzados, (50X); d) Dois tipos de quartzo (qtz) (i) tipo fumê e (ii) poligonal. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X); e) Carbonato (Carb) subédrico e bordas irregulares. Luz transmitida, nicóis cruzados (100X). ____ 165

PRANCHA 4.48 - Fotomicrografias a) Pirita (Py) ocorrendo em níveis micáceos. Luz Transmitida, nicóis cruzados, (25X); b) Calcopirita (Cpy) ocorrendo em níveis micáceos. Luz refletida, nicóis descruzados, (25X); c) Esfalerita (Spy) ocorrendo em níveis de quartzo (Qtz). Luz transmitida, nicóis cruzados, (100X); d) Mesma seção de c, ressaltando calcopirita, pirita e arsenopirita, ambos associados a níveis quartzosos. Luz refletida, nicóis cruzados, (100X). ____ 166

PRANCHA 5.1- Aspectos gerais das estruturas primárias acamamento/bandamento (S₀), na FFB, mapeados no Depósito Lamego. a) Bandamento composicional (corpo Arco da Velha Nível 01); b) Bandamento de composição sericítica na FFB (corpo Cabeça de Pedra Nível 02); c) Sulfetação no bandamento (corpo Arco da Velha Nível 01); d) Detalhe da sulfetação; e) Resto de FFB em que o bandamento é sulfetado; f) Detalhe da sulfetação que substitui bandamento. _____ 173

PRANCHA 5.2 - Aspectos gerais das estruturas primárias acamamento/ bandamento (S_0), nos xistos carbonosos e metapelitos, mapeados no Depósito Lamego. a) Acamamento nos xistos carbonosos (corpo Arco da Velha Nível 01) b) Alternância de cor e composição caracterizando o acamamento primário dos metapelitos (Corpo Arco da Velha Nível 01); c) Inflexão da foliação nos níveis pelíticos e psamíticos dos metapelitos (Corpo Carruagem Nível 01). _174

PRANCHA 5.3 - Relação de contato entre diversos tipos litológicos. a) Contato cisalhado entre metandesito e FFB. Corpo Arco da Velha Nível 01 (galeria de acesso); b) Contato dobrado entre FFB e metandesito. Corpo Cabeça de Pedra Nível 01 (frente de lavra); c) Zona de contato cisalhado entre metandesito e xisto carbonoso. Corpo Cabeça de Pedra Nível 01 (galeria de acesso); d) Contato concordante entre FFB e xisto carbonoso. Corpo Cabeça de Pedra Nível 02 (frente de lavra); e) Contato normal, vertical, entre FFB e xisto carbonoso. Corpo Cabeça de Pedra Nível 02 (caixa d'água). _____ 175

PRANCHA 5.4 - Relação de contato entre diversos tipos litológicos. a) Contato cisalhado e dobrado entre FFB e xisto carbonoso. Corpo Arco da Velha Nível 02 (frente de lavra); b) Contato dobrado entre FFB e xisto carbonoso. Corpo Arco da Velha Nível 01 (frente de lavra); c) Contato concordante, dobrado e invertido, entre xisto carbonoso e FFB; o xisto carbonoso ocorre como footwall. Corpo Carruagem Nível 02 (frente de lavra); d) Contato concordante dobrado entre quartzo fumê com recristalização em quartzo leitoso e metandesito. Corpo Carruagem Nível 02 (frente de lavra); e) Contato cisalhado e dobrado entre quartzo fumê, com recristalização em quartzo leitoso, e xisto carbonoso. Corpo Arco da Velha Nível 02 (frente de lavra). _____ 176

PRANCHA 5.5 - Relação de contato entre diversos tipos litológicos. a) Contato dobrado entre zona de quartzo fumê, com recristalização em quartzo leitoso, e metandesito. Observe a inversão do contato na foto, com o metandesito como hanging wall. Corpo Carruagem Nível 01 (frente de lavra); b) Contato concordante entre quartzo fumê, FFB e xisto carbonoso, este último como hanging wall. Corpo Arco da Velha Nível 01 (frente de lavra). _____ 177

PRANCHA 5.6 - Projeções estereográficas dos planos de acamamento para os corpos (i) Queimada Nível 01 e (ii) Arco da Velha Níveis 01 e 02, que apresentam as atitudes dispersas ao longo de um grande círculo. Projeções estereográficas dos planos de acamamento para os corpos (iii) Cabeça de Pedra e (iv) Carruagem níveis 01 e 02. O corpo Cabeça de Pedra Nível 01 apresenta as atitudes dispersas ao longo de um grande círculo. Já os corpos Cabeça de Pedra Nível 02 e Carruagem Níveis 01 e 02 apresentam uma concentração das atitudes para SE. _____ 178

PRANCHA 5.7 - Fotos mostrando foliação S_{1-2} em a) xisto carbonoso, onde a foliação S_{1-2} apresenta-se mais desenvolvida (Corpo Carruagem Nível 02) b) clorita xisto (metandesito) (Corpo Arco da Velha Nível 01), c) metapelito (Corpo Arco da Velha Nível 01), d) Veios de quartzo em planos paralelos à foliação em

FFB sulfetada definindo uma clivagem espaçada (Corpo Cabeça de Pedra Nível 02) e, e) Relação angular entre contato e foliação com ângulo aproximado de 20° (Corpo Cabeça de Pedra Nível 01). _____ 180

PRANCHA 5.8 - Fotos mostrando lineação L_{1-2} em a) lineação de interseção formada pelo acamamento primário e a foliação S_{1-2} envolvendo metabasalto e xisto carbonoso (Arco da Velha Nível 01); b) lineação de interseção entre xisto carbonoso e FFB (Corpo Carruagem Nível 01); c) Orientação de quartzo e sulfetos no xisto carbonoso (Corpo Carruagem Nível 02); d) Lineação sobre foliação em xisto carbonoso (Carruagem Nível 02); e) Lineação de eixo de dobra de veios de quartzo/carbonato dobrado na foliação S_{1-2} (Corpo Carruagem nível 02); f) Metabasalto apresentando lineação de estiramento mineral com atitude entre $124-130/18-24$ (Cabeça de Pedra Nível 02); g) lineação de estria em plano de falha no metabasalto. _____ 183

PRANCHA 5.9 - Projeções estereográficas para as atitudes de foliação separadas por nível e corpo de minério. Note que no: (i) Corpo Queimada, tanto a foliação quanto as lineações e interseção dos planos de foliação concentram-se em SE; (ii) Corpo Arco da Velha, Nível 01, a foliação apresenta-se mais dispersa, para NE, SE e SW, do que no Nível 02, onde está mais concentrada em SE. As lineações nos níveis 01 e 02 concentram-se em SE, enquanto que as interseções calculadas para os planos de foliação no Nível 01 são para SE e, no Nível 02, para E; (iii) Corpo Cabeça de Pedra, nível 01, há uma distribuição mais regular da foliação com a mesma concentrada em SE, enquanto que o Nível 02 apresenta uma maior dispersão para NE e SW. Ambos os níveis apresentam tanto as lineações quanto a interseção dos planos de foliação para SE; (iv) Corpo Carruagem, para os dois níveis, a foliação está concentrada de SE para SW, as lineações variam fortemente de ESE para SW, e o eixo de interseção dos planos de foliação concentra-se em SSE. _____ 185

PRANCHA 5.10 - a) Xisto carbonoso, dobrado, localizado no corpo de minério Cabeça de Pedra. O eixo apresenta atitude $119/23$ (plunge $120/25$) sendo esta uma dobra da fase deformacional D_{1-2} ; b) FFB dobrada, localizada no corpo de minério Cabeça de Pedra Nível 02. O eixo apresenta atitude $127/21$ (plunge $120/25$) sendo esta uma dobra da fase deformacional D_{1-2} ; c) Dobra da FFB próximo ao plano de falha com classificada como dobra apertada. _____ 187

PRANCHA 5.11 - a) Dobra da FFB próximo a plano de falha (vista do teto) (Carruagem Nível 02); e) A mesma FFB dobrada da foto b) mas com vista da parede da galeria. _____ 188

PRANCHA 5.12 - Foto do sigmóide de quartzo fumê com recristalização em quartzo leitoso contido na foliação S_{1-2} desenvolvida no metandesito (estrutura descrita no Corpo Arco da Velha Nível 02). _____ 189

- PRANCHA 5.13 - Foto do sigmóide de quartzo fumê com recristalização em quartzo leitoso contido na foliação S_{1-2} desenvolvida no xisto carbonoso (estrutura descrita no Corpo Carruagem Nível 01). _____ 190**
- PRANCHA 5.14 - Fotos de estruturas tipo pinch-ad-swell demonstrando a variação na escala de observação deste centimétrica até hectométrica, a) Corpo Cabeça de Pedra Nível 01; b) Corpo Carruagem Nível 02; c) Corpo Carruagem Nível 01. _____ 191**
- PRANCHA 5.15 - Clivagem de crenulação descrita em rochas metapelíticas, nas quais se observam as lineações L_{1-2} com atitude 110/23, transposta por uma lineação L_3 de atitude 182/35. Galeria de desvio Arco da Velha Nível 01. 194**
- PRANCHA 5.16 - a) Interseção das foliações S_{1-2} com atitude 140/40 e S_3 que ocorre em um plano sub-vertical com atitude 100/78. Esta interseção produz a lineação L_3 com atitude 182/32. b) As melhores estruturas formadas no evento D_3 no xisto carbonoso são dobras que apresentam eixo com orientação N-S. No caso da foto acima a orientação do eixo é 184/28. _____ 195**
- PRANCHA 5.17 - Planos de foliação S_3 pouco desenvolvidos no xisto carbonoso. _____ 196**
- PRANCHA 5.18 - Projeções estereográficas apresentando as lineações L_3 separadas por nível de corpo de minério. Todos os corpos apresentam concentração de medidas para S. Os corpos Queimada e Carruagem mostram maior concentração de medidas. _____ 198**
- PRANCHA 5.19 - a) Pares conjugados de falhas verticais. O primeiro, em amarelo, com atitude 240/90, é interceptado por um segundo, em preto, com atitude 340/88, ocasionando um deslocamento de 0,20m. Corpo Queimada Nível 01; b) Falha no contato entre xisto carbonoso e metandesito, ao longo da qual o metandesito cavalga sobre o filito carbonoso; a atitude da falha é 245/62. Corpo Carruagem Nível 01; c) Plano de falha no xisto carbonoso, com ângulo de mergulho entre 30° e 90° e atitude 260/30-90. Corpo Carruagem Nível 01; d) Falha restrita ao xisto carbonoso, com recristalização em quartzo leitoso e carbonato; o ângulo de mergulho varia de 35 a 85° e a atitude é 110/35-85. Corpo Carruagem Nível 02. _____ 200**
- PRANCHA 5.20 - a) Plano de falha no contato metandesito-xisto carbonoso, no qual há importante presença de quartzo leitoso; atitude 180/28. Corpo Carruagem Nível 02; b) Representação esquemática da Foliação SC imitando o padrão de foliação sigmoidal hospedado em zona de cisalhamento. Fonte: Davis (1988); c) Foto de uma zona de cisalhamento apresentando os planos de cisalhamento C e planos de foliação S (Corpo Carruagem Nível 02). _____ 201**
- PRANCHA 5.21 - Projeções estereográficas apresentando os dados de falhas separadas por nível de corpo de minério. Com exceção do corpo Carruagem Nível 01, demonstra os pontos polares das atitudes de falhas dispersa em**

grande círculo, o qual está em posição perpendicular ao eixo de uma parte dos eixos das dobras. _____ 202

PRANCHA 5.22 - Projeções estereográficas apresentando os dados de falhas separadas por nível de corpo de minério. Com exceção do corpo Carruagem Nível 01, demonstra os pontos polares das atitudes de falhas. _____ 203

PRANCHA 6.1 - a) Fotomicrografia mostrando três tipos de quartzo: (i) grosso, com bordas lobadas, extinção ondulante, recristalizado, do tipo quartzo fumê (pele de onça); (ii) fino poligonal, límpido, comumente produto de recristalização de (i); e (iii) poligonal, de veio associado a sulfetos. Luz transmitida, nicóis cruzados (100X). b) Quartzo fumê na forma de sheeted veins. _____ 209

PRANCHA 6.2 - a) Gráfico com teor de Au (g/t) por cada tipo rochoso; b) Percentual de teor de ouro para cada tipo rochoso. _____ 213

PRANCHA 6.3 - a) Projeção estereográfica mostrando os plunges dos corpos de minério; b) Comparação entre as estruturas boudin e pinch-and-swell (MITRA, 1979); c) Vista de planta de um sistema de boudinagem com duas direções de estiramento Fonte: Jones (1959). _____ 220

PRANCHA 6.4 - a) Intensa venulação de quartzo branco em quartzo tipo fumê, resultando em textura de brecha. Corpo Carruagem, Nível 01. b) Vugs com quartzo em pente em zona de veios; c) Localização esquemática do Depósito Lamego na crosta. _____ 222

PRANCHA 6.5 - Tipos litológicos da Mina Lamego e intensa silicificação associada. _____ 223

LISTA DE FIGURAS DO ANEXO A

ANEXO A-I. 1 - Exemplo da marcação de pontos.	237
ANEXO A-I. 2 - Exemplo de galeria paralela e perpendicular ao plunge.	238
ANEXO A-I. 3 - Esquema de posicionamento para levantamento.	238
ANEXO A-I. 4 - Relação entre posição do ponto e sentido de rebatimento.	240
ANEXO A-I. 5 - Relação matemática utilizada no procedimento de rebatimento.	240

LISTA DE TABELAS DO ANEXO A

TABELA A-I. 1 _____ 239

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	31
1.1 Localização e Vias de Acesso	34
1.2 Objetivos da Dissertação	36
1.3 Métodos de Investigação	37
2. GEOLOGIA REGIONAL DA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	38
2.1 Estratigrafia	42
2.2.1 Terrenos Arqueanos	43
2.2.1.1 Terrenos Granito-Gnáissicos	43
2.2.1.2 Greenstone Belt Rio das Velhas	44
2.2.1.3 Proposta de Evolução do Greenstone Belt Rio das Velhas, segundo Baltazar e Zucchetti (2007)	47
2.2.2 Terrenos Proterozóicos	50
2.2.2.1 Supergrupo Minas	50
2.2 Metamorfismo	52
2.3 Geocronologia	56
2.4 Geologia Estrutural	57
3. MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS EM DEPÓSITOS OROGÊNICOS	65
4. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DO DEPÓSITO LAMEGO	73
4.1 Geologia	74
4.2 Corpos de Minério Queimada, Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Carruagem	77
4.3 Metandesitos	91
4.4 <i>Metachert</i>	107
4.5 Formação Ferrífera Bandada	120
4.6 Zonas de Silicificação.	135
4.7 Xisto Carbonoso	151
4.8 Metapelitos	163
5. GEOLOGIA ESTRUTURAL DO DEPÓSITO LAMEGO	170
5.1 Estruturas Primárias (Acamamento - S ₀)	171
5.2 Foliação S ₁₋₂ , Lineação L ₁₋₂ e Dobras F ₂	179

5.2.1	Foliação (S_{1-2})	179
5.2.2	Lineação (L_{1-2})	181
5.2.3	Dobras F_2	186
5.2.4	Demais Estruturas Associadas a S_{1-2}	189
5.3	Clivagem de Crenulação (S_3), Lineações (L_3) e Dobras (F_3)	192
5.4	Falhas e Zonas de Cisalhamento	199
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	207
6.1	Petrografia	207
6.1.1	Tipos Litológicos	207
6.1.2	Silicificação	208
6.1.3	Sulfetação	210
6.1.4	Partículas de Ouro	211
6.2	Geologia Estrutural	214
6.3	Classificação do Depósito	221
6.4	Implicações Estratigráficas	224
	REFERÊNCIAS	229
	ANEXO A	236
	MAPEAMENTO GEOLÓGICO NO DEPÓSITO LAMEGO	236
1	Método de Mapeamento	236
2	Marcação de Pontos de Contato e Estruturais	237
3	Coleta de Dados dos Pontos de Contato	237
4	Cálculos da Projeção no Plunge	239
	ANEXO B	242
	MAPA GEOLÓGICO FOLHA BELO HORIZONTE	242
	ANEXO C	243
	MAPA GEOLÓGICO CORPO QUEIMADA NÍVEL 01	243
	ANEXO D	244
	MAPA GEOLÓGICO CORPO ARCO DA VELHA NÍVEL 01	244
	ANEXO E	245
	MAPA GEOLÓGICO CORPO ARCO DA VELHA NÍVEL 02	245
	ANEXO F	246
	MAPA GEOLÓGICO CORPO CABEÇA DE PEDRA NÍVEL 01	246
	ANEXO G	247
	MAPA GEOLÓGICO CORPO CABEÇA DE PEDRA NÍVEL 02	247
	ANEXO H	248
	MAPA GEOLÓGICO CORPO CARRUAGEM NÍVEL 01	248
	ANEXO I	249
	MAPA GEOLÓGICO CORPO CARRUAGEM NÍVEL 02	249
	ANEXO J	250
	CD-ROM COM PDF DA DISSERTAÇÃO	250

1. INTRODUÇÃO

Sequências do tipo “*greenstone belts*” são formadas por rochas vulcânicas e sedimentares, em geral de idade arqueana, e afetadas por metamorfismo de baixo grau. As sequências do tipo *greenstone belts* hospedam expressivos depósitos de ouro em regiões cratônicas de diversos países (De WIT, 1997).

No Brasil, o *Greenstone Belt* Rio das Velhas, em grande parte localizado na região do Quadrilátero Ferrífero, Estado de Minas Gerais, é o mais importante distrito aurífero do país, com produção estimada de 30 milhões de onças (GOLDFARB *et al.*, 2001).

O Depósito Lamego, alvo deste trabalho, é uma jazida de ouro operada em mina subterrânea pela AngloGold Ashanti do Brasil. Localizam-se na porção norte do Quadrilátero Ferrífero, município de Sabará, Minas Gerais, distante 40 km da capital, Belo Horizonte (FIGURA 1.2).

Os corpos mineralizados do depósito Lamego estão hospedados em rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas (FIGURA 1.1) *Greenstone Belt* Rio das Velhas, associada à alteração hidrotermal, estruturalmente controlada. Da base para o topo, o empilhamento litoestrutural do depósito é definido por rochas metavulcânicas, *metachert*, formação ferrífera bandada – FFB, xisto carbonoso, metapelitos e rochas metavulcanoclásticas, em condições metamórficas de fácies xisto verde. O minério está associado a veios e massas de quartzo, e à formação ferrífera bandada - FFB alterada hidrotermalmente. O depósito Lamego divide-se em quatro corpos de minério, que são Queimada, Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Carruagem (vide Capítulo 4, seção 4.2).

A Jazida Lamego já foi objeto de investigação de outros autores como Sales (1998), Carmo (1998) e Martins *et al.* (2010).

O hidrotermalismo em Lamego é caracterizado, principalmente, por uma extraordinária silicificação. A mesma se traduz na forma de massas irregulares e veios de quartzo fumê, milimétricos a hectamétricos. Essas massas englobam porções reliquias de rocha, resultando em textura brechada, semelhante à brecha de cisalhamento rúptil-dúctil (TAYLOR, 2000). Os veios de quartzo fumê são tanto concordantes como discordantes ao bandamento e foliação, e podem formar brechas do tipo *sheeted veins*. Quartzo leitoso é comum em veios e em zonas de falha, intercrescido ou não com o quartzo fumê.

As feições originais da FFB estão fortemente obliteradas pela alteração. Nas bandas sulfetadas, por exemplo, raros relictos de magnetita são observados, o que sugere que as mesmas podem corresponder em parte a *metachert* carbonático bandado, por vezes ferruginosos.

Ouro associa-se ao quartzo fumê, tanto no contato entre FFB e xisto carbonoso como no interior dessas mesmas rochas, invariavelmente onde há sulfetos.

O Depósito Lamego é um depósito de ouro orogênico, bem como outros presentes no Quadrilátero Ferrífero, entre os quais se citam Cuiabá, Morro Velho, Raposos, São Bento e Juca Vieira, diretamente relacionados à evolução do *greenstone belt* Rio das Velhas (ca. 2,75 Ga) e suas formações ferríferas bandadas - FFB do tipo Algoma (RIBEIRO-RODRIGUES e LOBATO, 1999). Os depósitos auríferos do *greenstone belt* arqueano Rio das Velhas apresentam características similares a outros depósitos de mesmo tipo que ocorrem pelo mundo, em outros crátons arqueanos (GROVES *et al.*, 1998).

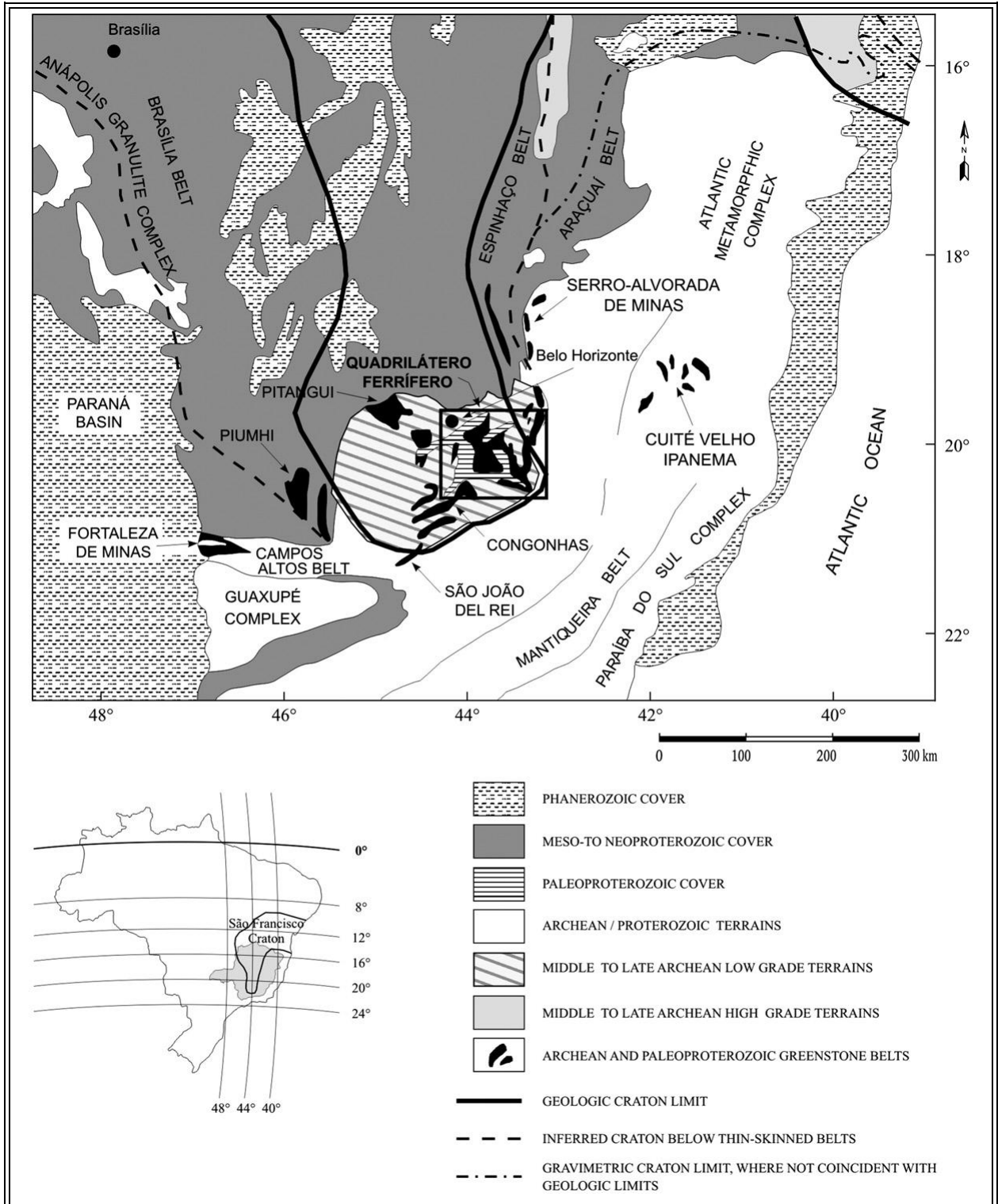


FIGURA 1.1 - Localização do *Greenstone Belt* Rio das Velhas no Distrito do Quadrilátero Ferrífero, sul do Cráton São Francisco.
Fonte: (BAARS, 1997; LOBATO et al., 2001a).

1.1 Localização e Vias de Acesso

O acesso ao Depósito Lamego pode ser realizado a partir de Belo Horizonte indo em direção à cidade de Sabará pela MG-262 (FIGURA 1.2), por aproximadamente trinta quilômetros, onde se segue pela mesma rodovia por mais cinco quilômetros. Deste ponto prossegue-se por estrada vicinal não pavimentada por mais oito quilômetros (FIGURA 1.3). A empresa AngloGold Ashanti Mineração Ltda. (AGA) é a detentora da área (FIGURA 1.4).

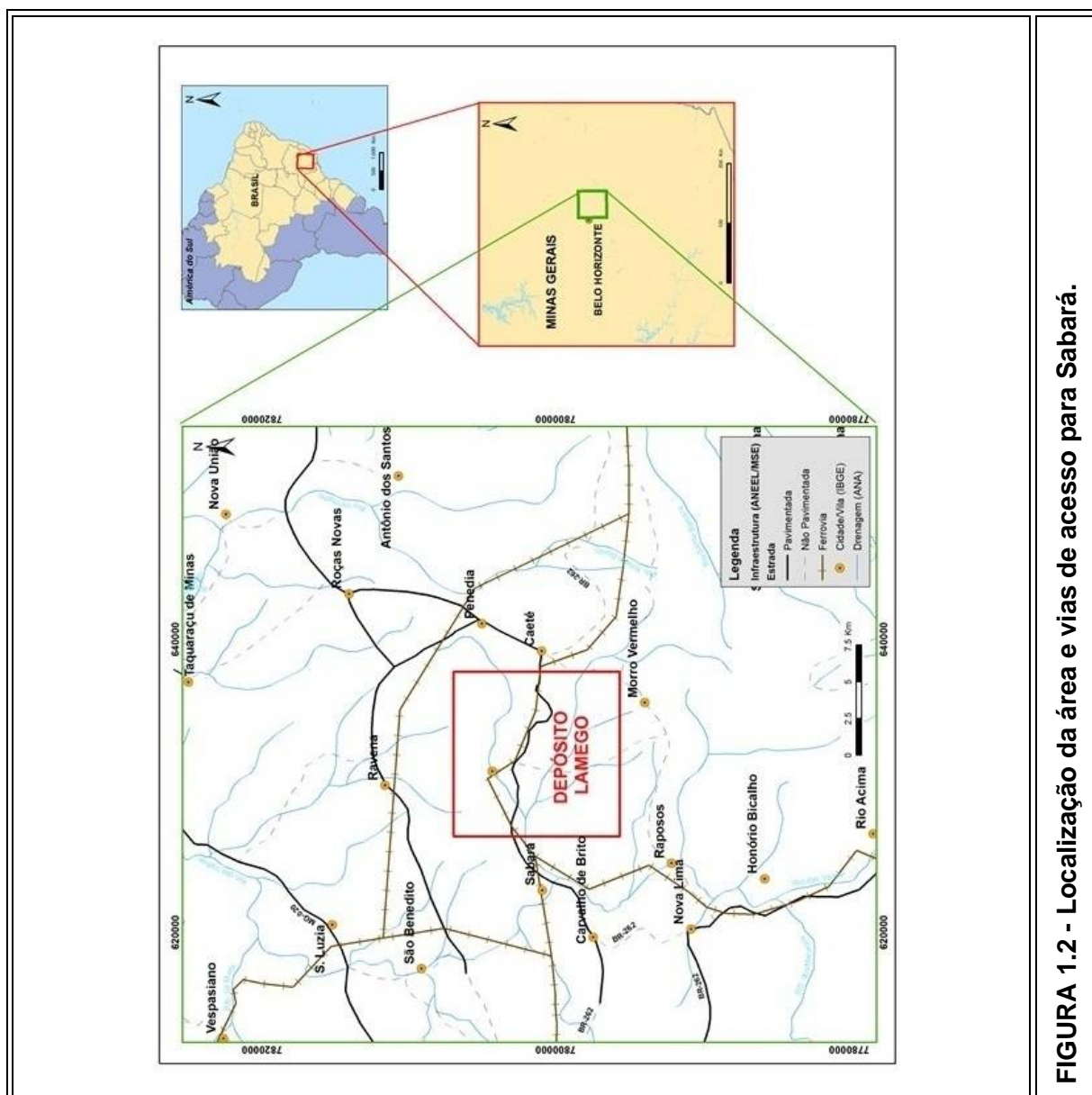
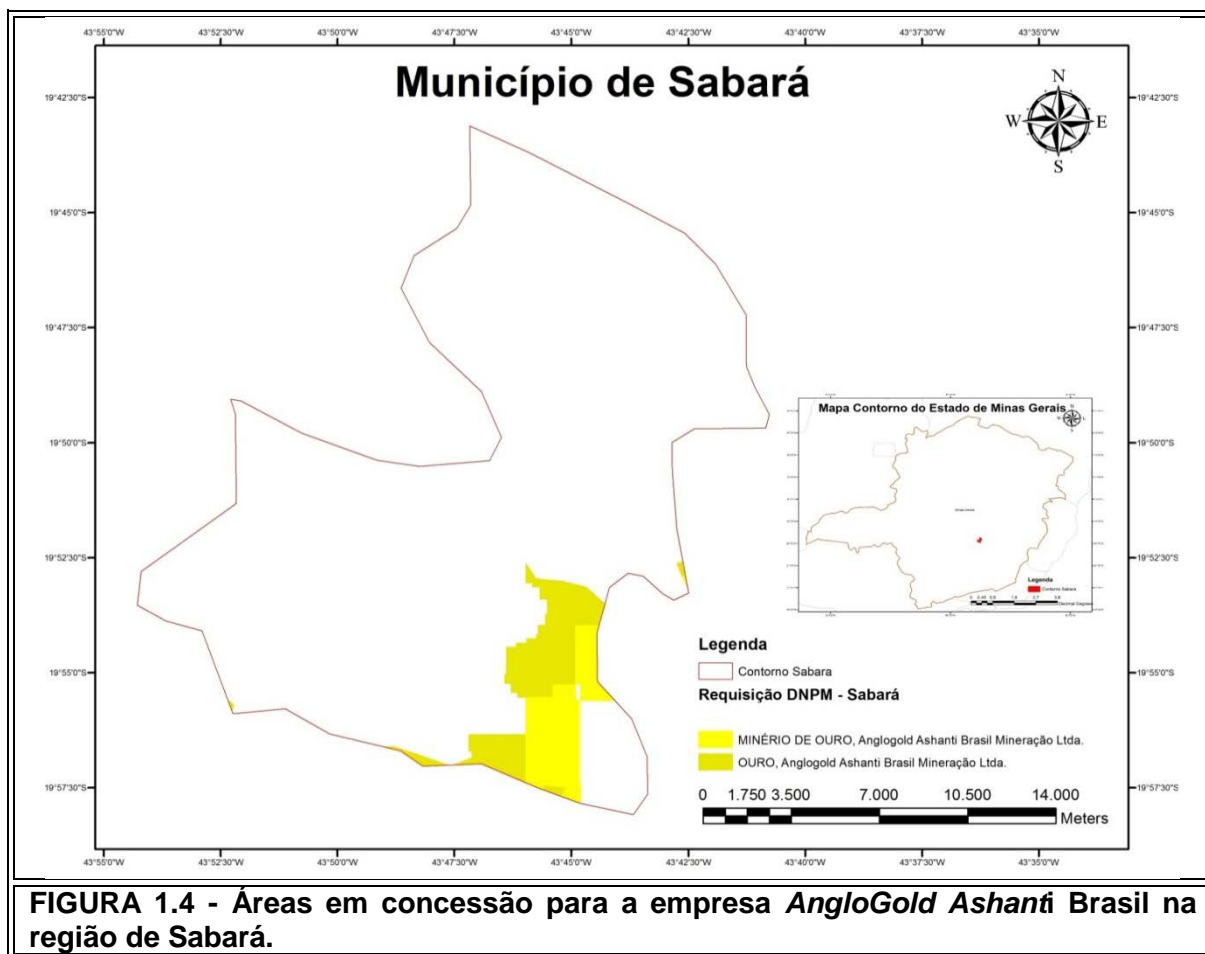


FIGURA 1.2 - Localização da área e vias de acesso para Sabará.



FIGURA 1.3 - Acesso a Mina Lamego a partir de Sabará. Retirado e modificado a partir de Google Earth®.



1.2 Objetivos da Dissertação

Os objetivos deste trabalho são:

- Confecção de mapas geológicos para sete níveis de minério em desenvolvimento primário e em um total de quatro corpos na escala 1:100;
- Estabelecer o arcabouço estrutural do Depósito Lamego e o controle geológico-estrutural dos corpos mineralizados, respeitando a especificidade dos quatro corpos de minério;
- Auxiliar no estabelecimento de uma rotina de mapeamento geológico-estrutural do subsolo, de forma que o mesmo passe a ser uma atividade regular na mina;
- Caracterização petrográfica das rochas encaixantes e hospedeiras.

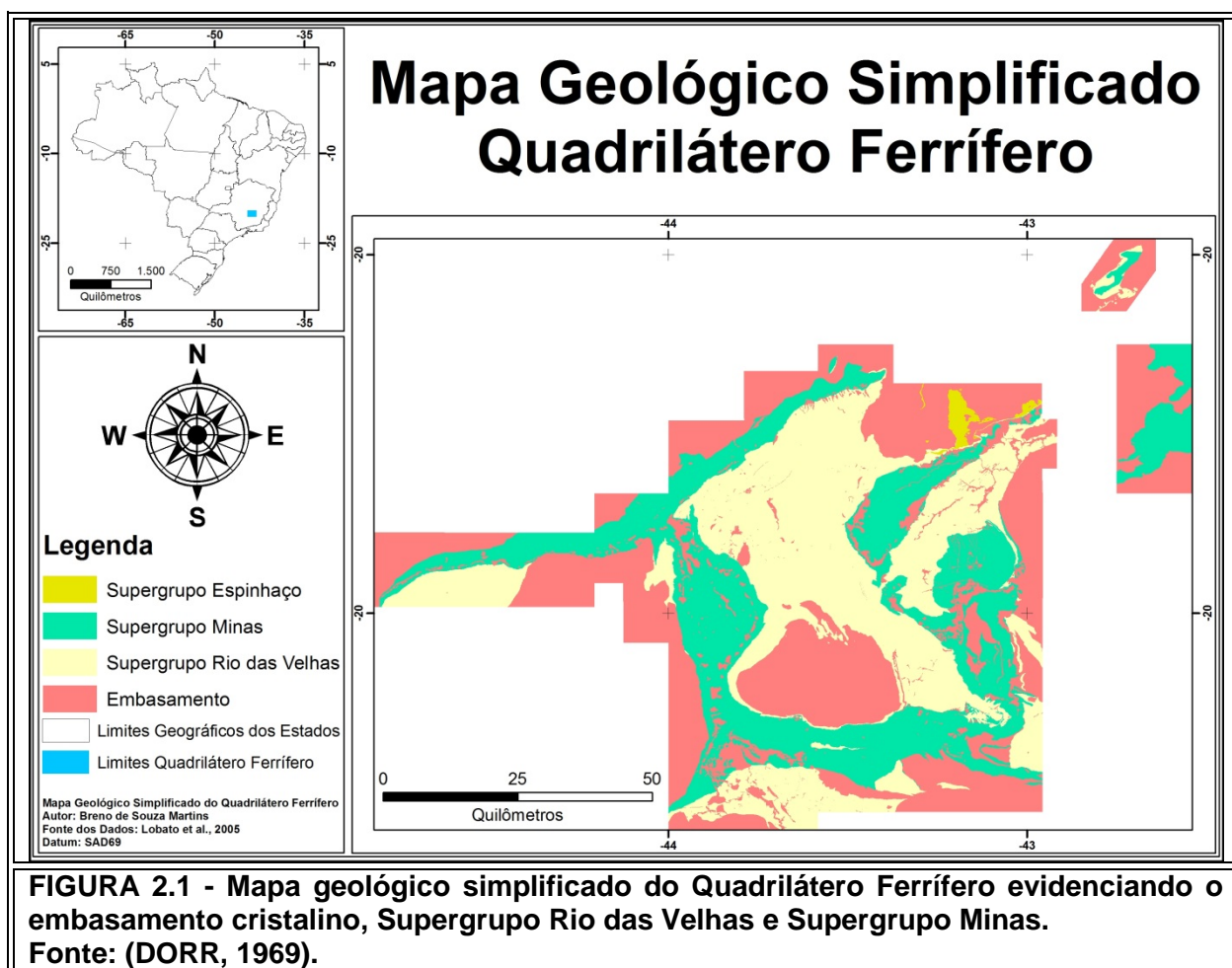
1.3 Métodos de Investigação

Os métodos de trabalho envolveram as seguintes etapas:

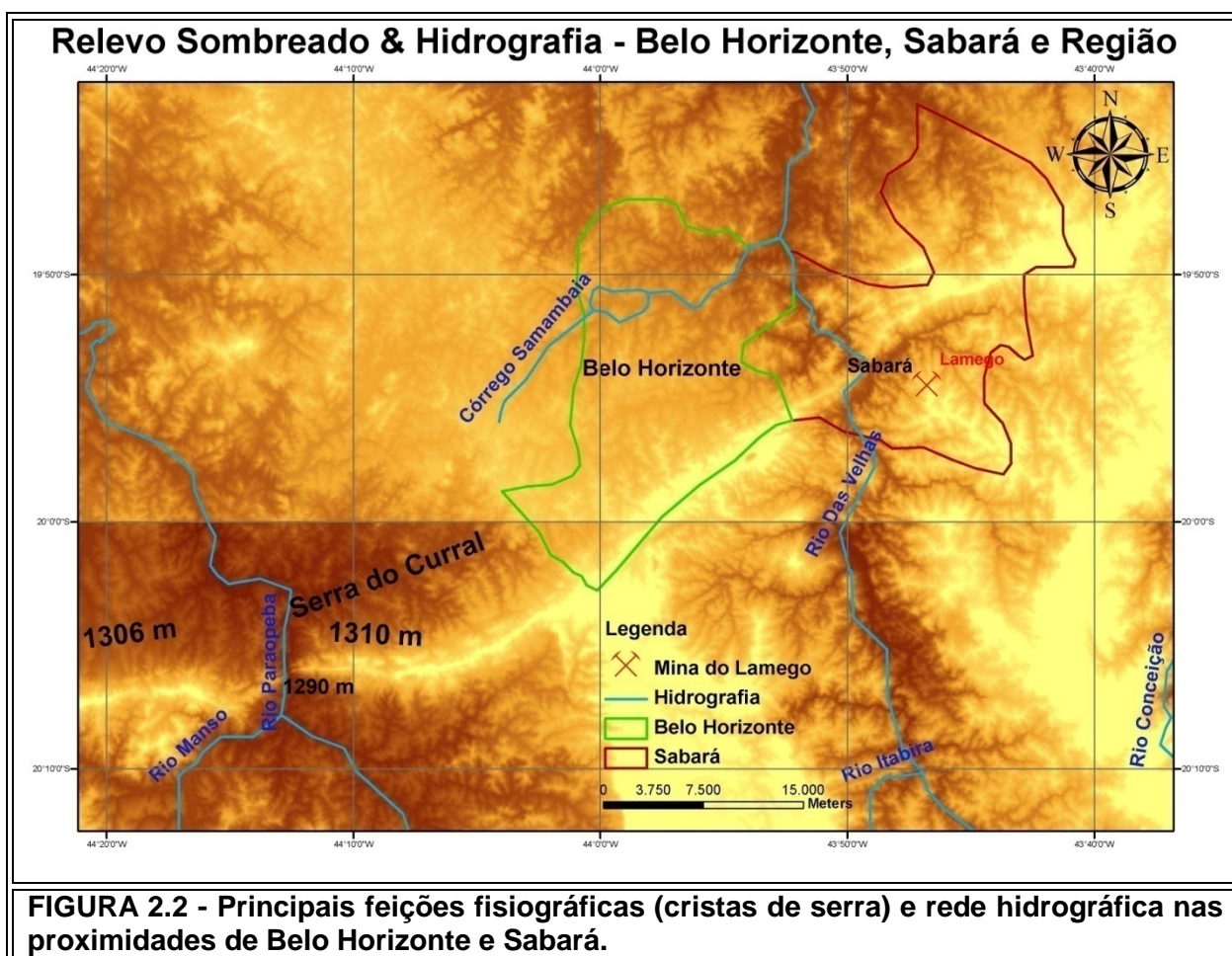
- a) Levantamento de dados bibliográficos, resumido no Capítulo 2 - Geologia Regional, onde são abordadas as características geológicas do Quadrilátero Ferrífero com ênfase no Grupo Nova Lima, pertencente ao Supergrupo Rio das Velhas;
- b) Mapeamento geológico, na escala 1:100, dos corpos de minério no Depósito Lamego, realizado durante os meses de maio a novembro de 2009, com checagem de campo nos meses de dezembro de 2009 e janeiro, fevereiro e março de 2010;
- c) Descrição de furos de sondagem do Depósito Lamego para reconhecimento dos tipos litológicos, estruturas primárias e secundárias, posicionamento estratigráfico e identificação de alteração hidrotermal;
- d) Descrição de seções delgadas e polidas de rocha para estudos petrográficos e microestruturais.

2. GEOLOGIA REGIONAL DA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

A região conhecida como Quadrilátero Ferrífero cobre uma área de aproximadamente 7.000 km² na parte sul do Cráton do São Francisco (ALMEIDA, 1967; ALMEIDA e HASUI, 1984), centro-sul do estado de Minas Gerais na região sudeste do Brasil. Os limites norte e sul são, respectivamente, delimitados pela direção sudoeste da Serra do Curral e pela direção norte-sul da Serra da Moeda. O limite sul é definido pela direção leste-oeste das Serras Ouro Branco e do Salto. (FIGURA 2.1)



O espaço geográfico é delimitado pela latitude $20^{\circ} 15' S$ e longitude $43^{\circ} 30' W$ (DORR, 1969) devendo seu nome ao arranjo definido por um conjunto de serras lineares com altitude variando, em média, entre 1.100 e 1.600 m. Essas serras são moldadas em sequências metassedimentares dobradas, especialmente do Supergrupo Minas, que encerram os imensos depósitos de minério de ferro da região. Na região de Belo Horizonte e Sabará a maior expressão dessas altitudes são as Serras do Curral (FIGURA 2.2).



Em termos geológicos, representa um terreno granito-*greenstone* arqueano, sotoposto por rochas supracrustais de idade proterozóica e está situado na porção sul do Cráton do São Francisco (FIGURA 2.3). Devido a sua grande importância

econômica, em particular os depósitos de ferro, ouro e manganês, constitui a região do Brasil mais sistematicamente investigada.

Ao longo dos últimos 170 anos, um grande número de pesquisas tem sido realizado como, por exemplo, Eschwege (1832, 1833, 1898), Gorceix (1876), Derby (1906, 1910, 1911), Harder e Chamberlin (1915), Rimann (1921), Moraes e Guimarães (1930), Guimarães (1931, 1966), Freyberg (1932, 1934), Moraes e Barbosa (1939), Barbosa (1949, 1954), Dorr *et al.* (1957), Barbosa (1961), Guimarães (1967), Dorr (1969, 1973), Schorscher (1976, 1978, 1979), Ladeira (1980, 1985, 1991), Ladeira e Viveiros (1984), Alkmim *et al.* (1988), para citar os históricos.

O primeiro grande trabalho sistemático de mapeamento geológico no Quadrilátero Ferrífero foi realizado através de uma parceria entre o DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral – Brasil) e o USGS (United States Geological Survey – EUA), entre 1946 e 1964 no qual o QF foi completamente mapeado na escala 1:25.000, com enfoque nas sequências supracrustais.

Outro trabalho de mapeamento estrutural integrado realizado no QF ocorreu entre 1979 e 1987 com a parceria entre a Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP e a Universidade Técnica de Clausthal, Alemanha resultando em mapeamentos na escala de 1:2.000 a 1:25.000, onde se destacam Gloeckner (1981), Guerra (1979), Hackspacher (1980), Cordani *et al.* (1980a), Hoefs *et al.* (1982), Jordt e Evangelista (1984), Gomes (1985), Rosière (1981), Alkmim (1985), Chemale Jr. (1987) e Souza (1987).

Recentes trabalhos sobre a evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero foram publicados por Chemale Jr. *et al.* (1992, 1994), Noce (1995), Endo (1997), Alkmim e Marshak (1998), além de Baltazar e Zucchetti (2005).

Trabalhos específicos em diversas áreas do Quadrilátero Ferrífero foram apresentados por diferentes autores entre os quais se destacam: Almeida (1976),

Schorscher (1978, 1980), Drake e Morgan (1980), Ladeira (1980, 1981), Ladeira e Roeser (1983), Schorscher *et al.* (1982), Oliveira *et al.* (1982), Sichel e Valença (1983b), Oliveira (1984), Padilha (1984), Vieira *et al.* (1991a), Vieira (1991b), Machado e Carneiro (1992a, 1992b), Renger (1994), Chemale Jr. (1996), Lobato *et al.* (1998, 2000, 2001) e mais recentemente, o Projeto de Integração e Correção cartográfica em SIG (2005), realizada pelo consórcio entre a UFMG/CODEMIG e o Governo de Minas Gerais.

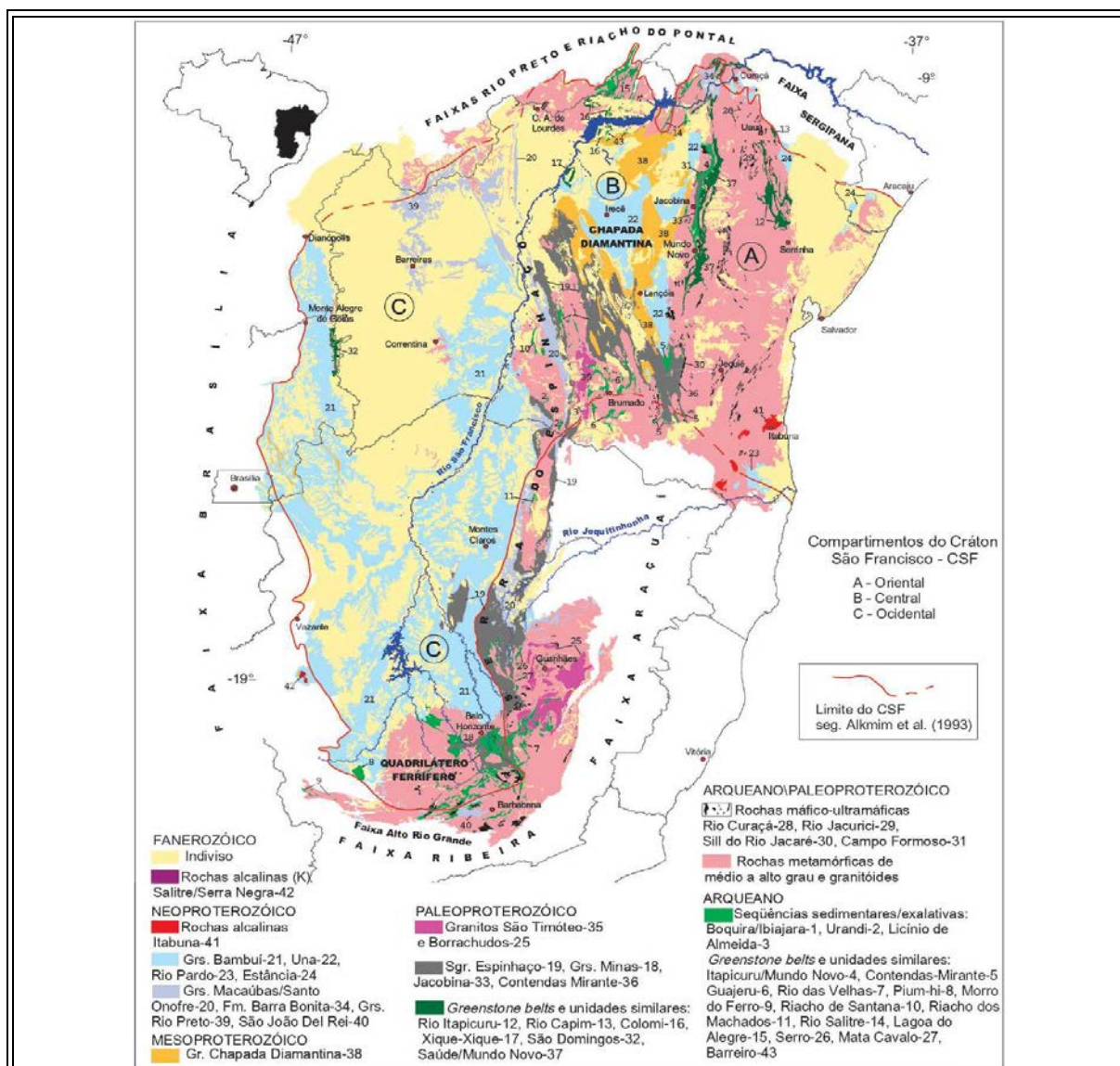


FIGURA 2.3 - Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco mostrando a localização do Quadrilátero Ferrífero a sul.

Fonte: CPRM – Mapa Geológico 1:2.500.000; Bizzi et al. (2001).

2.1 Estratigrafia

O Arcabouço estratigráfico/geotectônico do Quadrilátero Ferrífero é representado por três grandes unidades (DORR, 1969):

- Terrenos granito-gnáissicos;
- Supergrupo Rio das Velhas, o qual constitui a sequências *greenstone belt* arqueana;
- Supergrupo Minas;

As duas primeiras são de idade arqueana enquanto a última é proterozóica, conforme observado na FIGURA 2.4.

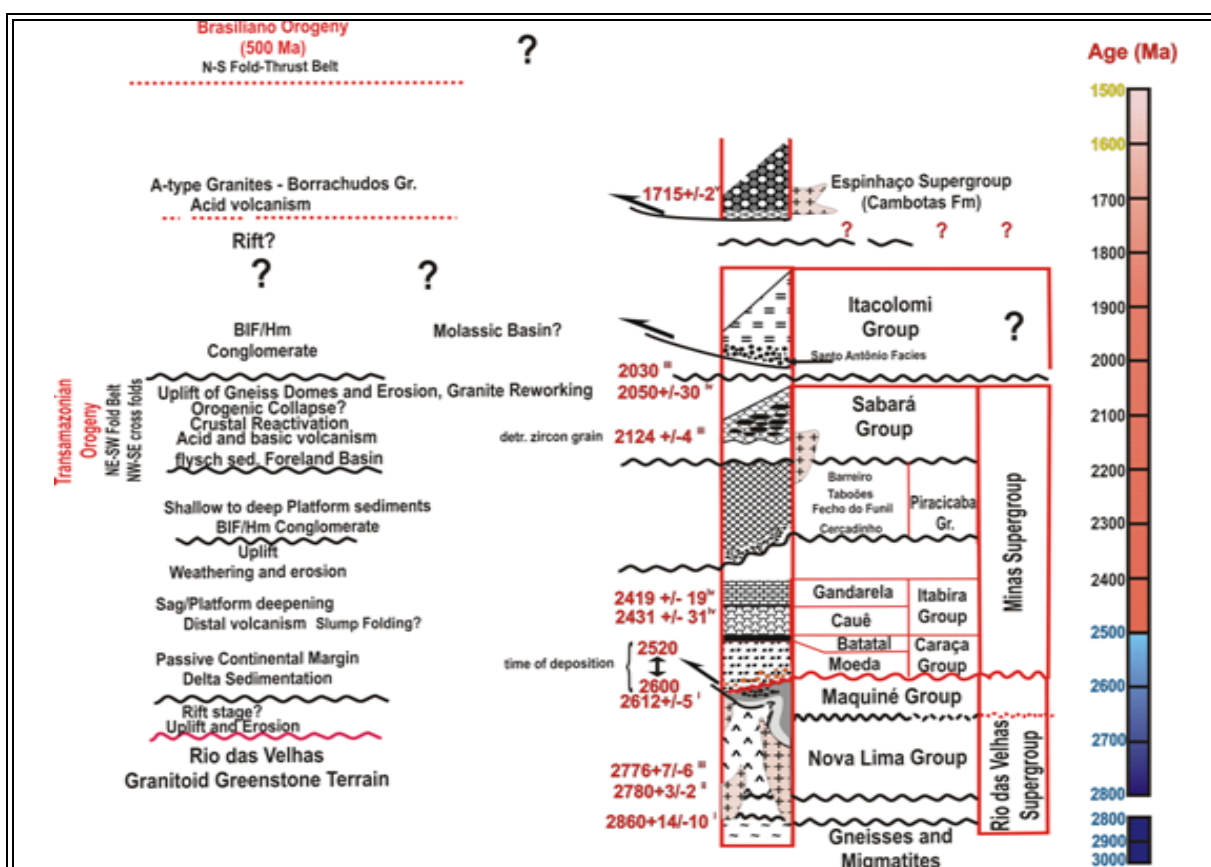


FIGURA 2.4 - Coluna estratigráfica e resumo da evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero.

Fonte: Rosière *et al.* (2008).

2.2.1 *Terrenos Arqueanos*

2.2.1.1 Terrenos Granito-Gnáissicos

Os terrenos granitos-gnáissicos são formados por rochas de diferentes tipos e idades. Estes apresentam estruturas de formas aproximadamente dômicas circundadas por sequências supracrustais. São compostos por gnaisses granodioríticos-tonalíticos-trondhjemíticos (TTG), granitos com intercalações de anfibolitos e rochas metassedimentares (LADEIRA, 1980; SCHORSCHER, 1988). Estas rochas formariam a unidade arqueana mais antiga da região, segundo Harder e Chamberlin (1915), Schorscher e Guimarães (1976), Almeida (1977) e Ladeira (1980).

Dorr e Barbosa (1963) e Dorr (1969) consideravam este complexo como formado por rochas granito-gnáissicas intrusivas, isto em virtude da presença de auréolas de metamorfismo de contato existentes em volta de domos graníticos, sendo que estes domos representariam rochas supracrustais granitizadas. Hoje em dia admite-se que porções deste complexo representariam uma crosta mais antiga que serviu de embasamento para a deposição do Supergrupo Rio das Velhas e de possíveis fontes de sedimento desta unidade (MACHADO et al., 1996). Segundo Noce (1995), os terrenos granitos-gnáissicos constituem o embasamento cristalino com idade variando entre 3380 e 2860 Ma. No **QUADRO 2.1** é apresentado um resumo da evolução destes terrenos com base em dados bibliográficos.

QUADRO 2.1

Evolução da formação dos terrenos TTG com base em dados bibliográficos.

Idade (Ma)	Evento	Referência
3380-2900	Período de formação;	Teixeira <i>et al.</i> (1996); Noce (1995)
2920- 2834	Último e maior episódio de magmatismo/ metamorfismo da área-fonte de detritos do <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas Evento Belo Horizonte	Schrank e Machado (1996b); Schrank <i>et al.</i> (2002).
2860-2772	Migmatização	Noce <i>et al.</i> (1998); idades de U-Pb em zircão
2780-2760	Sequências de rochas TTG intrudidas por granitóides neo-arqueanos e paleoproterozóicos	Noce (2000)
2720-2700		
~ 2600 Ma		

Herz (1970) define os complexos graníticos Caeté (composição granodiorítica), Belo Horizonte (gnaisses predominantemente tonalíticos e localmente graníticos, peraluminosos a metaluminosos), Santa Bárbara (gnaisses tonalíticos e trondhjemíticos), Bonfim (gnaisses trondhjemíticos a granodioríticos) e Bação (gnaisses tonalíticos e trondhjemíticos).

2.2.1.2 Greenstone Belt Rio das Velhas

O *Greenstone Belt* Rio das Velhas compreende uma sequência vulcanossedimentar supracrustal do Arqueano. Está situado na porção centro-meridional do Estado de Minas Gerais ocupando uma área de aproximadamente 4.000 km² e integra parte do conjunto litológico do Quadrilátero Ferrífero (FIGURA 2.1).

O primeiro trabalho de divisão estratigráfica do Supergrupo Rio das Velhas, ou *Greenstone Belt* Rio das Velhas, foi proposto por Dorr *et al.* (1957).

Incluem as rochas metavulcanossedimentares do QF na chamada Série Rio das Velhas. Dorr (1969) subdivide a Série Rio das Velhas em Grupos Nova Lima e Maquiné e a subdivisão formal da Série Minas nos Grupos Caraça, Itabira e Piracicaba com as suas respectivas formações. O Grupo Maquiné é dividido nas Formações Casa Forte (GAIR, 1962) e Palmital (O' ROURKE, 1957).

Almeida (1976) e Schorscher (1976) propõem a designação informal de *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Em Loczy e Ladeira (1976) os autores substituem o nome Série Rio das Velhas por Supergrupo Rio das Velhas.

O contato inferior do Grupo Nova Lima com os gnaisses TTG ocorre de forma intrusiva e falhada. Já o contato superior, com o Grupo Maquiné, ocorre tanto discordante como concordante em contato gradacional (BALTAZAR e ZUCCHETTI, 2007). Rochas komatiíticas são descritas na base do Grupo Nova Lima por Schorscher (1978), sendo este mesmo autor o primeiro a sugerir a classificação do Grupo Nova Lima como uma sequência *Greenstone Belt* de idade arqueana, que foi nomeada *Greenstone Belt* Rio das Velhas – GBRV. Este mesmo autor atribui a denominação de Grupo Quebra Osso, que ocorreria abaixo do Supergrupo Rio das Velhas, e apresenta um pacote de rochas ultramáficas do tipo lavas brechadas e derrames maciços, com textura *spinifex*. Estas rochas possibilitaram a interpretação do Supergrupo Rio das Velhas como sendo uma sequência vulcanosedimentar do tipo *greenstone belt*. Outras evidências posteriormente foram descritas por Ladeira (1981, 1985) e Ladeira (1983).

Oliveira *et al.* (1983) propõem a subdivisão do Grupo Nova Lima em três unidades:

- a) Basal: rochas metavulcânicas intermediárias a máfica, metapelitos, formação ferrífera bandada-FFB (tipo Algoma) e rocha metavulcanoclástica ácida;
- b) Intermediária: rochas félsicas/intermediárias, vulcanoclásticas, filito grafitoso (de fato carbonoso) e horizontes de FFB;
- c) Superior: metapelitos, metavulcânicas félsicas, metavulcanoclástica, quartzitos e conglomerados;

Algumas propostas de subdivisão estratigráfica informal para o Supergrupo Nova Lima são feitas por Ladeira (1980), Oliveira *et al.* (1983) e Vieira e Oliveira (1988) conforme observado no QUADRO 2.2.

QUADRO 2.2

Subdivisão informal para o Supergrupo Rio das Velhas

Ladeira (1980)		Oliveira <i>et al.</i> (1983)		Vieira e Oliveira (1988)				
Supergrupo Rio das Velhas	Grupo Maquiné	Formação Casa Forte	Grupo Maquiné	Formação Casa Forte	Grupo Maquiné	Formação Casa Forte		
		Formação Palmital		Formação Palmital		Formação Palmital		
	Grupo Nova Lima	Unidade Metassedimentar Clástica	Supergrupo Rio das Velhas	Grupo Nova Lima	Unidade Superior: ✓metapelitos ✓metavulcânicas ✓metavulcanoclásticas ✓rochas metassedimentares químicas	Supergrupo Rio das Velhas	Grupo No Lima	Unidade Superior: ✓metapelito ✓metatufo ✓quartzito metaconglomerado ✓Lapa Seca (rochas hidrotermais com alteração a sericita, sulfetos, quartzo e albita)
		Unidade Metassedimentar Química			Unidade Média: ✓metavulcânicas ácidas ✓metavulcanoclásticas ✓metassedimentos			Unidade Média: ✓metandesito basáltico, ✓formação ferrífera, ✓metatufo, ✓metapelito, ✓filito grafitoso
		Unidade Metavulcânica			Unidade Inferior: ✓metavulcânicas básicas a intermediárias ✓rochas metassedimentares vulcanoclásticas ✓formações ferríferas bandadas			Unidade Inferior: ✓metandesito basáltico ✓formação ferrífera ✓metapelito ✓metatufo ✓filito grafitoso ✓metabasalto komatiítico ✓metakomatiitos

Fonte: Baltazar e Zucchetti (2007).

2.2.1.3 Proposta de Evolução do Greenstone Belt Rio das Velhas, segundo Baltazar e Zucchetti (2007)

Com base em associações litofaciológicas descritas por Pedreira e Silva (1996) e Baltazar e Pedreira (1998), Baltazar e Silva (1996) e Zucchetti e Baltazar (1998) subdividem os Grupos Nova Lima e Maquiné em Unidades Litoestratigráficas Informais. Esta abordagem resultou no reconhecimento de sete associações de litofácies, quatro ciclos sedimentares e três blocos tectônicos, conforme observado no QUADRO 2.3 e FIGURA 2.5.

Estes autores propõem o desenvolvimento de bacias sedimentares em quatro ciclos, relacionados com a configuração tectônica, que seriam representados por:

- a) Primeiro ciclo (I): responsável pela deposição das Associações Máfica-Ultramáfica e Vulcânica Sedimentar-Química;
- b) Segundo ciclo (II): corresponde à deposição da Associação Sedimentar Clástica-Química + turbididos e Associação Costeira;
- c) Terceiro ciclo (III): corresponde à fase orogênica com formação de arcos de ilha, sendo responsável pela Associação Vulcanoclástica e Associação Ressedimentada;
- d) Quarto ciclo (IV): ocorre com deposição em bacia do tipo *back-arc foreland* correspondendo à deposição da Associação Não Marinha.

QUADRO 2.3

Estratigrafia do *Greenstone Belt* Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero

Grupo	Formação	Bloco Nova Lima – Caeté	Bloco Santa Bárbara	Bloco São Bartolomeu	Associação de Litofácies	Ciclo
Maquiné	Casa Forte	<ul style="list-style-type: none"> ✓ conglomerado-arenito matriz suportado ✓ arenito com bandamento gradacional 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ arenito-conglomerado matriz suportado ✓ arenito com granulometria fina/média 		Associação não marinha <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>fan</i> aluvial ✓ fluvial entrelaçado 	IV
Nova Lima	Palmital	<ul style="list-style-type: none"> ✓ grauvasca-argilito ✓ arenito ✓ grauvasca-argilito ✓ seqüência de bouma ✓ brecha polimítica e monomítica ✓ grauvasca ✓ conglomerado ✓ grauvasca-arenito ✓ grauvasca-argilito 			Redissementada <ul style="list-style-type: none"> ✓ turbiditos proximais ✓ turbiditos distais Vulcanoclástica <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>fan</i> fluvial-aluvial ✓ turbiditos 	III
		<ul style="list-style-type: none"> ✓ grauvasca-argilito ✓ seqüência de Bouma 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ FFB, pelitos, Pelitos carbonosos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ arenitos com marcas de onda ✓ arenito com estrutura espinha de peixe ✓ arenito com estratificação cruzada ✓ arenito-argilito ✓ rochas cálcio-silicáticas ✓ seqüência de bouma ✓ conglomerado polimítico e FFB 	Costa <ul style="list-style-type: none"> ✓ planícies de maré ✓ dunas eólicas Resedimentada <ul style="list-style-type: none"> ✓ turbiditos marinhos Sedimentar Clástica-Química <ul style="list-style-type: none"> ✓ rochas sedimentares pelágicas 	II
		<ul style="list-style-type: none"> ✓ FFB, chert, basalto ✓ rochas vulcânicas félsicas ✓ pelitos e grauvacas. ✓ basaltos magnesianos ✓ basaltos toleióticos ✓ komatiitos ✓ grauvacas e FFB 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Komatiito ✓ Basalto toleióticos 		Sedimentar vulcano-química <ul style="list-style-type: none"> ✓ fácies pelágicas ✓ platôs submarinos Vulcânicas máficas – ultramáficas <ul style="list-style-type: none"> ✓ platôs submarinos 	II

Fonte: Traduzido e modificado de (BALTAZAR e ZUCCHETTI, 2007).

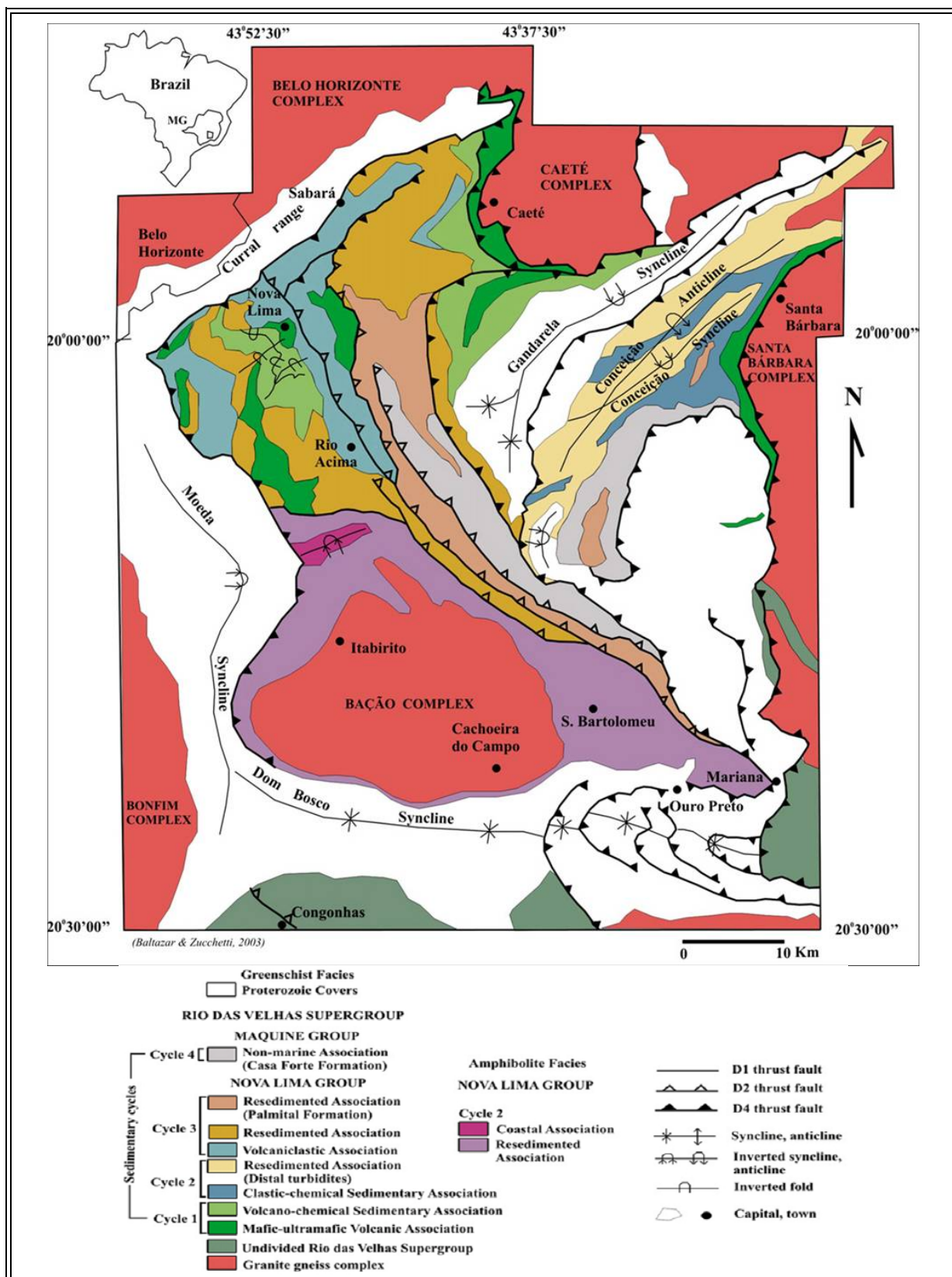


FIGURA 2.5 - Mapa geológico simplificado do *Greenstone Belt* Rio das Velhas incluindo o Quadrilátero Ferrífero.
Fonte: (BALTAZAR e ZUCCHETTI, 2007).

2.2.2 Terrenos Proterozóicos

Sequências supracrustais do Proterozóico são compostas pelos Supergrupos Minas, Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço.

Superpondo o *Greenstone Belt* Rio das Velhas em discordância angular e erosiva, ocorrem as rochas metassedimentares do Supergrupo Minas (DORR, 1969). Representa uma bacia sedimentar desenvolvida no Paleoproterozóico com evolução em dois períodos tectônicos (MACHADO e NOCE, 1993; RENGER *et al.*, 1994; MACHADO *et al.*, 1996):

- a) Entre 2.612 e 2.420 Ma – mais antigo, deposição de sedimentos clásticos e clástico-químicos dos grupos Caraça e Itabira (DORR, 1969; NOCE, 1995; BABINSK *et al.*, 1993);
- b) 2.125 Ma – sedimentos superiores depositados em período de forte atividade tectônica provocada pela reativação e soerguimento de blocos do embasamento, com a deposição dos sedimentos do tipo *flysch* da Formação Sabará (MACHADO *et al.*, 1989, 1992).

2.2.2.1 Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas foi definido por Dorr *et al.* (1957) e dividido em três grupos (DORR, 1969), da base para o topo: Tamanduá – Formação Cambotas; Caraça – Formações Moeda e Batatal; Itabira – Formações Cauê e Gandarela; e Piracicaba – Formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões, Barreiro e Sabará.

O Grupo Caraça assenta-se discordantemente sobre rochas do Supergrupo Rio das Velhas e é dividido nas formações:

- (i) Moeda – metaconglomerados, filitos e quartzitos; e
- (ii) Batatal – filitos sericíticos com formação ferrífera, metachert e filito grafitoso (DORR, 1969; LADEIRA, 1980).

Grupo Itabira é constituído pelas formações:

- (i) Cauê – itabiritos e lentes de xistos, filitos e margas (DORR, 1969);
- (ii) Gandarela – dolomitos, marga, filitos dolomitos, dolomitos ferruginosos, itabiritos e xistos tufáceos (SCHORSCHER, 1982). Dentre as duas formações, a Cauê é a mais significativa em virtude de apresentar importantes depósitos de minério de ferro de grande valor econômico.

O Grupo Piracicaba ocorre em discordância erosiva ou contato gradacional com o Grupo Itabira (DORR, 1969). É composta pelas formações:

- (i) Cercadinho – quartzitos, quartzitos ferruginosos, filitos ferruginosos, filitos prateados, filitos dolomíticos e dolomitos;
- (ii) Fêcho do Funil – filitos dolomíticos ou não e dolomitos impuros;
- (iii) Taboões – ortoquartzitos; e
- (iv) Barreiro – filitos grafitosos ou não (DORR, 1969).

O Grupo Sabará é composto por xistos, metarenitos, metassiltitos, metaconglomerados, metadiamicritos, metarritimos e filitos, cujas rochas protólito são grauvacas, arenitos, siltitos, conglomerados, diamicritos, ritmitos e pelitos (DORR, 1969; RINGER *et al.*, 1994). Clastos presentes em diamicritos e conglomerados indicam o retrabalhamento de sequências supracrustais e do embasamento, Supergrupos Minas e Rio das Velhas e o embasamento. Este grupo representa os depósitos de uma bacia do tipo antepaís relacionada com o Evento Transamazônico.

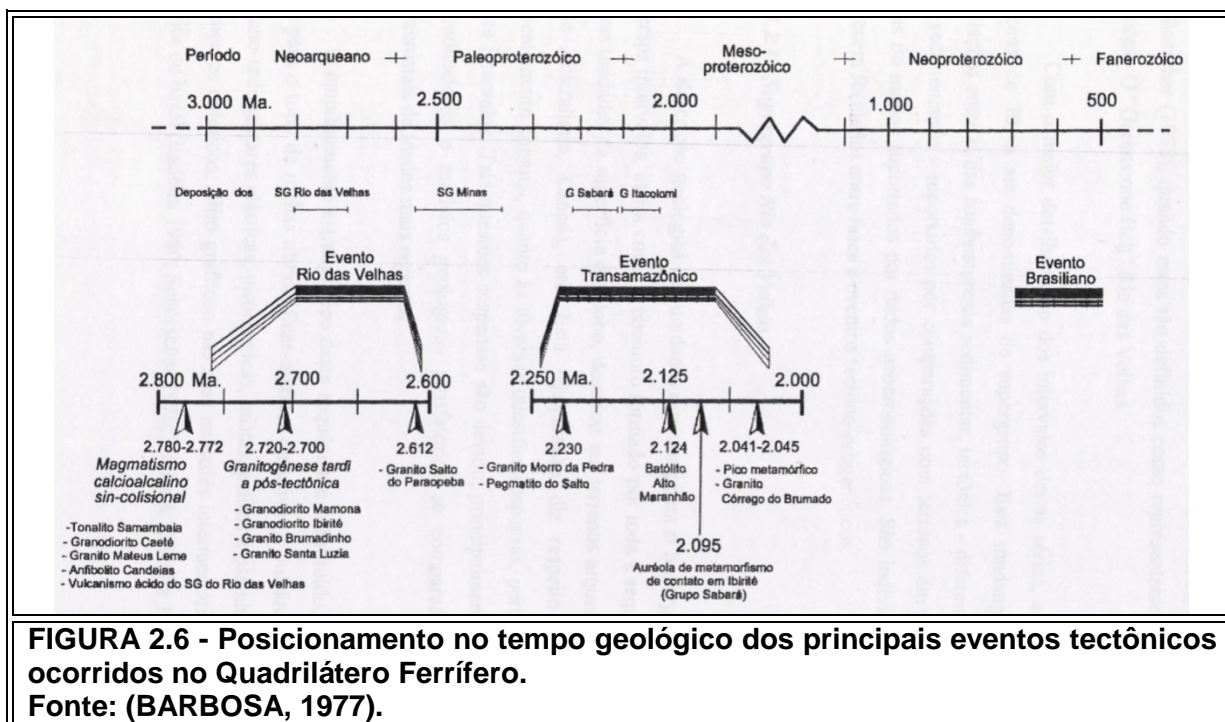
O Grupo Itacolomi é composto por rochas sedimentares clásticas – quartzitos e metaconglomerados em sua porção basal, filitos na porção intermediárias e quartzitos no topo – assenta-se discordantemente sobre o Supergrupo Minas recobrando a partir de uma discordância angular e erosiva (GUIMARÃES, 1931). Há contradição quanto à posição estratigráfica deste grupo onde alguns autores argumentam que ele não ainda está indefinido.

2.2 Metamorfismo

Trabalhos bibliográficos sobre a evolução metamórfica do Quadrilátero Ferrífero são encontrados em diversas referências, entre elas, Dorr *et al.* (1957); Guimarães (1966); Dorr (1969); Herz (1970); Pires (1977); Cordani *et al.* (1980); Ladeira (1980); Roeser (1982); Jordt Evangelista (1985); Gomes (1986); Carneiro (1992); Jordt Evangelista *et al.* (1992) e Golia (1995), dentre tantos outros.

Conforme observado na FIGURA 2.6, a evolução do metamorfismo impresso nas rochas do Quadrilátero Ferrífero parecem ter passado por até três eventos principais entre os períodos do nearqueano ao neoproterozóico. Os conjuntos de sequências supracrustais, com variações nos seus graus metamórficos, compõem uma pilha, ou coluna, estratigráfica da ordem de 3.000 m de espessura.

O primeiro evento, anterior à formação da sequência *greenstone*, afetou os gnaisses TTG com migmatização e metamorfismo de alto grau. O segundo evento afetou o GBRV com metamorfismo de fácies xisto verde a anfibólito baixo em cerca de 2700 Ma (HERTZ, 1970, 1978, apud BALTAZAR e ZUCCHETTI, 2007).



O último evento afetou o Supergrupo Minas com metamorfismo de fácies xisto verde por volta de 2000 Ma. Marshak e Alkmim (1989), contudo, especificam dois eventos metamórficos progressivos regionais que afetaram rochas do Supergrupo Minas e Rio das Velhas na região do QF. O primeiro associado com o evento compressional Transamazônico, de 2000 a 2200 Ma, e o segundo relacionado com o evento orogênico Brasileiro de 400 a 600 Ma. Através de datação U-Pb em zircões, Noce (1995) registra ainda evidências de um quarto evento metamórfico, ainda mais antigo, com idades de 3,2 Ga, que representa o mais remoto descrito até então.

As rochas do GBRV são metamorfizadas em fácies xisto verde nos blocos Nova Lima-Caeté e Santa Bárbara alcançando metamorfismo de fácies anfibolito no bloco São Bartolomeu. Metabasaltos dos blocos Nova Lima-Caeté e Santa Bárbara apresentam minerais de actinolita + clinozoisita + clorita + albita + quartzo + carbonato + biotita (BALTAZAR e ZUCCHETTI, 2007).

No QUADRO 2.4 estão reproduzidos os principais trabalhos sobre o metamorfismo do Quadrilátero Ferrífero.

4QUADRO 2.4
Resumo dos principais trabalhos sobre o metamorfismo do Quadrilátero
Ferrífero

(Continua)

Autor	Descrição	Interpretação (segundo os autores)
Guimarães (1966)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Define eventos metamórficos de Idade Pré-Minas ✓ Define um evento metamórfico para as rochas do embasamento, ou seja, complexos metamórficos - de idade entre 2.780-2700, relacionando-o à gnáissificação destas ✓ Descreve que o metamorfismo aumenta de W para E e de NW-SE indo de fácies xisto-verde para anfíbolito 	
Dorr (1969)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Define eventos metamórficos de idade Pré-Minas. ✓ Descreve várias fases de remobilização metamórfica - migmatização, geração de pegmatitos, etc; ✓ Descreve aspectos relativos a um zoneamento metamórfico das sequências supracrustais 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ocorrência de três eventos metamórficos,
Herz (1970)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Forte superimposição de fenômenos de metamorfismo de contato ✓ Descreve aspectos relativos a um zoneamento metamórfico das sequências supracrustais ✓ Considera que a intensidade metamórfica nas supracrustais, tanto do Supergrupo Rio das Velhas quanto Minas, não são uniformes, ✓ Mapa metamórfico de isógradas, para do Quadrilátero Ferrífero, que delimita para as rochas supracrustais as zonas da clorita, biotita e estauroлита 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Natureza do metamorfismo é definida como regional – dinamothermal; ✓ Expressões que permitem delinear estas variações no grau de metamorfismo, na maioria dos casos, são pouco evidentes em mapa. ✓ O metamorfismo é apenas incipiente e rochas são metamorfizadas no início do grau médio ✓ No zoneamento destacam-se "auréolas" de maior intensidade metamórfica, junto aos contatos com as estruturas dômicas
Herz (1978)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Semelhante a Guimarães (1966). Descreve que o metamorfismo aumenta de W para E e de NW-SE indo de fácies xisto-verde para anfíbolito 	
Cordani et al. (1980)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Evento metamórfico mais recente atuou com maior intensidade na porção leste do Quadrilátero Ferrífero -sentido do Cinturão Costeiro (datações K-Ar). ✓ Ocorreu há cerca de 0,56-0,5 Ma. 0,6 Ma. ✓ Final do período Neoproterozóico 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A perda do elemento argônio Ar, detectado em biotitas e anfíbólios, reflete aquecimento regional das rochas superior a 300°C. Expressão deste evento nas rochas da região do Quadrilátero Ferrífero, em especial nas suas supracrustais, não é bem conhecida.

QUADRO 2.4
Resumo dos principais trabalhos sobre o metamorfismo do Quadrilátero
Ferrífero

(Continua)

Autor	Descrição	Interpretação (segundo os autores)
Roeser <i>et al.</i> (1982)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Descrevem várias fases de remobilização metamórfica - migmatização, geração de pegmatitos, etc., que seriam relativas a este evento para o Complexo Metamórfico do Bação. 	
Gomes (1985)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Descreve várias fases de remobilização metamórfica - migmatização, geração de pegmatitos, etc -que seriam relativas a este evento para o Complexo Metamórfico do Bação. ✓ Registrou condições metamórficas da fácies anfibolito superior para este complexo, o que parece variar, em toda a região, entre grau médio e grau superior. ✓ Descreve aspectos relativos a um zoneamento metamórfico das sequências supracrustais 	Relativo ao Cinturão Mineiro para o Complexo Metamórfico Bação.
Jordt Evangelista e Muller (1985)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento do grau metamórfico no sentido leste - sentido do Cinturão Costeiro. ✓ Descreve aspectos relativos a um zoneamento metamórfico das sequências supracrustais ✓ Intensidade metamórfica nas supracrustais, tanto do Supergrupo Rio das Velhas quanto Minas, não é uniforme 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Expressões que permitem delinear estas variações no grau de metamorfismo, na maioria dos casos, são pouco evidentes em mapa. ✓ O metamorfismo é apenas incipiente e rochas são metamorizadas no início do grau médio
Teixeira (1985)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Com base em datações radiométricas, define o Cinturão Mineiro de idade paleoproterozóica, pós-Minas, ✓ definido através dos domínios cratonizado e da faixa móvel mais nova que lhe superpõe de idade neoproterozóica, sem um contorno definido como este 	Metamorfismo principal das rochas do Supergrupo Minas, que parece diminuir o grau no sentido noroeste está relacionado ao Cinturão Mineiro
Chemale Jr. <i>et al</i> (1991).	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Corpos intrusivos, diques, não deformados e não metamorizados, restritos ao setor mais ocidental do Quadrilátero Ferrífero em contraposição ao seus setores central e oriental ✓ Evento metamórfico que gerou o cinturão mineiro ocorreu a cerca de 2,2 Ga. ✓ Descreve aspectos relativos a um zoneamento metamórfico das sequências supracrustais <p>Intensidade metamórfica nas supracrustais, tanto do Supergrupo Rio das Velhas quanto Minas, não são uniformes,</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nenhuma feição sequer que faça referência ao último evento tectônico metamórfico que delimitou o Cráton do São Francisco, o Evento do Brasileiro. ✓ Com expressão diferenciada para as infracrustais e supracrustais. As supracrustais, associadas ao evento deste metamorfismo progressivo, foram dobradas, foliadas - xistificadas - adquirindo, em sua maioria, uma trama completamente nova. ✓ Expressões que permitem delinear estas variações no grau de metamorfismo, na maioria dos casos, são pouco evidentes em mapa. ✓ Havendo rochas metamorizadas apenas incipientemente e rochas metamorizadas no início do grau médio

QUADRO 2.4
Resumo dos principais trabalhos sobre o metamorfismo do Quadrilátero
Ferrífero

(Continua)

Autor	Descrição	Interpretação segundo autores
Jordt Evangelista et al. (1992)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Descreve aspectos relativos a um zoneamento metamórfico das sequências supracrustais. ✓ Intensidade metamórfica nas supracrustais, tanto do Supergrupo Rio das Velhas quanto Minas, não é uniforme ✓ Descrevem a auréola metamórfica na região de Ibirité, a noroeste do Quadrilátero Ferrífero. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Expressões que permitem delinear estas variações no grau de metamorfismo, na maioria dos casos, são pouco evidentes em mapa. ✓ Havendo rochas metamorfizadas apenas incipientemente e rochas metamorfizadas no início do grau médio. ✓ Contato com as rochas do Complexo Metamórfico de Belo Horizonte, ao longo de alguns quilômetros, o grau toma-se mais alto que o metamorfismo regional
Lobato (1992).	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transformações mineralógicas não regionais definidas pelas zonas de alteração hidrotermal ocorrem localizadas envelopando zonas de cisalhamento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estas zonas de alteração são representadas por paragêneses minerais do fácies xisto-verde e anfibolito baixo, resultantes da intensificação de reações de rocha com fluidos que controlam as transformações metamórficas.
Noce (1995)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registram, através de datação U-Pb em zircões, evidências de um quarto evento metamórfico, com idades de 3,2 Ga. (Complexo Metamórfico Belo Horizonte), ✓ Credita ao evento metamórfico do Cinturão Mineiro um amplo processo de gnaissificação e migmatização das rochas que compõem os complexos metamórficos, que afloram por meio dos diversas estruturas dômicas da região. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Evento metamórfico mais remoto descrito até então,
Endo (1997).	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Durante o evento Brasileiro, estruturas tectônicas relacionadas a eventos mais antigos teriam sido reativadas na forma de falhas e zonas de cisalhamentos de empurrão, de direções N-S e vergência. ✓ Nucleação de dobras abertas com clivagem plano-axial de dobra para oeste 	<p>Restritos ao seu setores central e leste, tornando-se atenuados e espaçados para oeste,</p>

2.3 Geocronologia

Importantes trabalhos de geocronologia, por datação U-Pb, Pb-Pb, Rb-Sr e K-Ar das unidades arqueanas, foram realizados por: Cordani *et al.* (1980a, 1980b); Teixeira

(1985), Teixeira *et al.* (1987); Teixeira e Figueiredo (1994); Babinski *et al.* (1988, 1995); Belo de Oliveira e Teixeira (1990); Machado *et al.* (1989, 1992); Machado e Carneiro (1992a, 1992b); Carneiro (1994); Carneiro *et al.* (1994); Marshak *et al.* (1994); Noce *et al.* (1994) e Noce (1995). São eles:

- a) Cordani *et al.* (1980a, 1980b) dataram o metamorfismo e evento de remobilização associados com as orogêneses Transamazônica (2.0 Ga em Rb-Sr em rocha total) e Brasiliana (500-600 Ma em K-Ar em biotita e anfibólio);
- b) Belo de Oliveira e Teixeira (1990) obtiveram a datação do evento de remobilização isotópica relacionado com a orogênese Transamazônica, com idade de 2,1 a 2,2 Ga (Rb-Sr/rocha total e U-Pb/rutilo) em gnaisses miloníticos;
- c) Machado *et al.* (1989) obtiveram idades de 2,776 Ma e 2,772 Ma, interpretadas como indicativo de deposição vulcânica e cristalização magmática de rochas vulcânicas do Grupo Nova Lima. (U-Pb em zircões prismáticos);
- d) Machado e Carneiro (1992) restringiram a idade obtida de 2,780-2,703 Ma ao metamorfismo, magmatismo e evento de remobilização isotópica relacionada com a orogêneses Rio das Velhas (U-Pb);
- e) Machado e Noce (1993) definiram o intervalo de 2,125-2,040 Ma como pico de remobilização isotópica Transamazônica no QF.

2.4 Geologia Estrutural

A evolução do *Greenstone Belt* Rio das Velhas faz parte de um quadro maior na evolução crustal que afetou as rochas do Quadrilátero Ferrífero. Em razão de sua grande complexidade estrutural e importância econômica, tem chamado a atenção de inúmeros pesquisadores e originado uma variada gama de interpretações.

Dorr (1969) propôs três grandes períodos de deformação para o QF: os dois primeiros seriam entre os supergrupos Rio das Velhas e Minas e, entre Minas e

Itacolomi. O terceiro e mais evidente envolveram todas as rochas metassedimentares pré-cambrianas e seria pós-Itacolomi.

A partir do trabalho realizado por Dorr (1969), vários estudos foram desenvolvidos. Na década de 1980, novos estudos são realizados baseados em modelos polifásicos definidos por conjuntos de elementos estruturais e diferenciados pela observação da superposição de estruturas e da análise de interferência em modelos tridimensionais.

Schorscher (1982) adota uma origem alóctone, *nappes* de descolamento, para o Supergrupo Minas tendo como base a existência de grandes dobras associada às rochas metassedimentares Minas e, na ausência destas entre unidades arqueanas subjacentes.

Ladeira (1980 a, b) e Ladeira e Viveiros (1984), definem seis eventos deformativos para rochas do Supergrupo Rio das Velhas com base em análise estrutural dos estilos de dobras e das orientações dos planos axiais das mesmas.

Os eventos deformacionais pós Arqueano que afetaram o QF, ou seja, as orogêneses, Transamazônica e Brasiliana, foram caracterizados por Marshak e Alkmim (1989). A orogênese Transamazônica é descrita como um evento tectônico compressional com intenso transporte tectônico e cisalhamento simples, deformação dúctil e metamorfismo da fácies xisto-verde alto a anfíbolito baixo com intensa remobilização isotópica. Sugerem que o cinturão de dobramento e empurrão regional, com vergência para nordeste e as texturas planar e lineares observadas, tenham sido desenvolvidas durante a orogênese Transamazônica. Três fases compressionais são definidas por Marshak e Alkmim (1989) e são descritos no QUADRO 2.5

.

QUADRO 2.5

Resumo dos eventos deformacionais

Evento	Idade	Movimento	Estruturas Formadas
D ₁	Proterozóico inferior	Compressional	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Fold-thrust belts</i>; ✓ Zonas de cisalhamento; ✓ Lineação mineral; ✓ Grandes estruturas de direção NE-SW que possuem vergência para NW;
D ₂	Proterozóico médio	Compressional	✓ Dobras fechadas com planos E-W a WNW-ESSE
D ₃	Proterozóico superior	Compressional	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Fold-thrust belts</i>, ✓ Zonas de cisalhamento, ✓ Lineação mineral e vergência de ESSE para WNW

Fonte: Marshak e Alkmim (1989).

Chemale Jr *et al.* (1993) propõem a compartimentação estrutural das rochas da região do Quadrilátero Ferrífero como resultado de dois eventos principais. O primeiro caracterizado por uma distensão, de idade Transamazônica (2100 – 1700 Ma), e que é responsável pela nucleação de sinclinais regionais nas rochas dos supergrupos Rio das Velhas e Minas. O segundo evento, de caráter compressivo, de idade Brasiliana (650 – 500 Ma), é responsável pela geração de estruturas *fold and thrust belt* de vergência para oeste.

Segundo Chauvet *et al.* (1994), a reativação do embasamento arqueano ocorreu com plutonismo e formação de dobras de grandes escala, como o anticlinal de Mariana e o sinclinal de Dom Bosco. Um evento posterior, compressivo, seria responsável pela formação dos cinturões de empurrão durante o Ciclo Brasiliano. Num último evento, distensivo, teria ocorrido relaxamento e reajuste da pilha de empurrão formada no evento anterior.

Corrêa Neto *et al.* (1994) sugerem a evolução do *Greenstone Belt* Rio das Velhas associado a dois eventos deformacionais compressivos:

- a) O primeiro, D_n, exclusivo do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, originou dobras isoclinais recumbentes, eixos E-W e empurrões com vergência para sul ou sul/sudoeste;

b) O segundo, D_{n+1} , formou empurrões com vergência para oeste, associados a domínios de rampa frontal e oblíqua.

Alkimim e Marshak (1998) propõem a evolução do Quadrilátero Ferrífero tendo como base estudos estruturais e geocronológicos. Estes eventos são apresentados no QUADRO 2.6

:

QUADRO 2.6 Eventos Deformativos

Idades (Ga)	Eventos
3,2-2,9	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fragmentos de rocha (até 3,2 Ga) serviram de embasamento para o <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas;
2,8-2,7	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plutonismo intermediário em rochas do Supergrupo Rio das Velhas marcou evento tectônico de 2,7 a 2,6 Ga; ✓ Definição da arquitetura dos terrenos <i>greenstone</i> como domos de granitos circundados por quilhas de rochas supracrustais;
2,6-2,4	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quadrilátero Ferrífero tornou-se uma plataforma continental de uma bacia de margem passiva; ✓ Deposição dos sedimentos na bacia do Supergrupo Minas; ✓ Evento extensional, ✓ Distribuição faciológica e ambiente deposicional do Grupo Caraça.
2,1	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Primeiro evento compressional; ✓ Cinturão de falhas e dobras com vergência para noroeste; ✓ Grandes anticlinais e sinclinais com vergência para nordeste ✓ Dobras parasíticas e zonas de cisalhamento mergulhando para sudeste. ✓ Zonas de cisalhamento de escala regional no Quadrilátero Ferrífero; ✓ Ocorreu após a deposição da Formação Sabará e não gerou fortes foliações; ✓ Orogênese Transamazônica;
2,095	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Corresponde ao colapso orogênico transamazônico; ✓ Inversão da arquitetura em domos e quilhas; ✓ Deposição das rochas do Grupo Itacolomi.
1,75	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Abertura do <i>Rift</i> Espinhaço; ✓ Intrusão de diques de diabásio no Quadrilátero Ferrífero; ✓ Continuação do colapso transamazônico ou trata-se de um evento separado.
0,7-0,45	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Segundo evento compressional; ✓ Cinturão de dobras e falhas com vergência para oeste, ✓ Reativou e deformou estruturas anteriores; ✓ Orogênese Brasileira; ✓ Gerou o super continente Gondwana; ✓ Retrabalhou a borda leste do Quadrilátero Ferrífero.

Fonte: Alkimim e Marshak (1998)

Côrrea Neto e Baltazar (1995) definem quatro domínios estruturais para o GBRV (FIG. 2.1). O domínio D1 tem estruturas orientadas E-W, vergência para sul, com predomínio de falhas de empurrão, lineação de estiramento e foliação S_1 . A reorientação destas estruturas resultaria na estruturação dos domínios D2 e D3. Estas estruturas são relacionadas ao evento Transamazônico extensional, anteriormente proposto por Chemale Jr. *et al.* (1993) e Chauvet *et al.* (1994). As estruturas D4 são caracterizadas por uma foliação S_2 orientada NE, NS ou NW, rampas frontais e laterais são determinadas em função das relações entre a lineação de estiramento e a direção de mergulho de S_2 .

Baltazar e Zucchetti (2007) propõem que a evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero ocorreu em dois períodos onde, o primeiro, compreendido entre 2800 e 2670 Ma, corresponde à evolução do *Greenstone Belt* Rio das Velhas e, o segundo período, compreendido entre 2670 Ma e 130 Ma, está relacionado com a evolução das coberturas proterozóicas e mesozóicas (QUADRO 2.7, QUADRO 2.8, QUADRO 2.9 e FIGURA 2.7).

No QUADRO 2.10 estão reproduzidos os principais modelos propostos para a evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero.

QUADRO 2.7

Evolução estrutural do Greenstone Belt Rio das Velhas e QF, primeiro período

1º Período				
Idade (Ma)	Movimento	Magmatismo	Ciclo Sedimentar	
2800-2780	Extensional	✓ Fluxo de lava basáltica em um assoalho oceânico em expansão	I	✓ Deposição de sedimentos químicos e clásticos finos
2780-2760	Subducção	✓ Magmatismo félsico	II	✓ Sedimentação clástica e química
2760-2670	Colisão		II	✓ Deposição de arenitos litorâneos em margem continental estável, longe das zonas de subducção, e deposição de turbiditos próximo a estas.
2750-2670	Colisão	✓ Magmatismo vulcanoclástico e epiclástico	III	✓ Deposição de sedimentos vulcanoclásticos e turbiditos epiclásticos em fossas e bacias <i>back arc</i> .
			IV	✓ Ambiente fluvial com o desenvolvimento de uma bacia <i>fore arc</i> .
2600-2575	Colisão	✓ Colocação de granitos e granodioritos em torno do Quadrilátero Ferrífero sendo este um episódio final de magmatismo arqueano.	IV	

Fonte: Baltazar e Zucchetti (2007).

QUADRO 2.8
Evolução estrutural do *Greenstone Belt* Rio das Velhas e QF, segundo período

2º Período			
Idade (Ma)	Movimento	Estruturas Associadas	Evolução Quadrilátero Ferrífero
2580-2670	Distensão	✓ Distensão crustal entre o início da fase <i>Rift</i> ;	✓ Deposição dos sedimentos do Supergrupo Minas em margem continental passiva
2125-2200	Distensão	✓ Tectônica distensional com geração de estruturas D ₃ , relacionadas com ascensão de batólitos como complexos de núcleos metamórficos;	✓ Orogênese Transamazônica.
1750-1500	Distensão	✓ Rifteamento;	✓ Rifteamento Mesoproterozóico no Cráton do São Francisco com geração da Bacia do Supergrupo Espinhaço e intrusão de diques máficos;
1200-900	Distensão	✓ Distensão crustal;	✓ Abertura do proto-oceano Brasileiro/Pan-Africano;
700-500	Orogênese	✓ Geração de estruturas D ₄ , no estilo de dobras de empurrão, de E para W;	✓ Orogênese Brasileira;
< 130	Distensão	✓ Tectônica distensional mesozóica com abertura de bacias sedimentares e intrusões de diques básicos;	✓

Fonte: Baltazar e Zucchetti (2007).

QUADRO 2.9
Síntese da evolução estrutural do *Greenstone Belt* Arqueano Rio das Velhas e seqüências de coberturas Proterozóica dentro da região do Quadrilátero Ferrífero

Idade (Ma)	Evento Tectônico	Fase	Regime	Transporte Tectônico	Estruturas
2749-2670	Arqueano	D ₁	Compressivo Cisalhamento Simples	N para S	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Falhas de empurrão com vergência para S e direção E. ✓ Dobras abertas, isoclinais a apertadas com vergência para S com eixos mergulhando para ENE, dobra flexural. ✓ Foliação plano-axial S₁, subparalela ao dobramento S₀ (355/65) ✓ Lineação mineral e lineação de estiramento <i>down-dip</i>, lineação de interseção (S₀ e S₁) paralelas aos eixos de dobras.
~ 2700	Arqueano	D ₂	Compressivo Cisalhamento Simples	NE para SW	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Falhas de empurrão com direção NW (30-50/40-60) ✓ Dobras isoclinais a apertadas com vergência para SW e direção NW. ✓ Foliação plano-axial S₂ (60/35 – foliação milonítica) ✓ Lineação de estiramento, lineação mineral (60-70/20-30)
2100-1900	Transamazônico	D ₃	Distensional	WNW para ESE	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nucleação de sinclinais regionais e início da deposição do Supergrupo Minas. ✓ Soerguimento do embasamento granito-gnaisse como complexos de núcleos metamórficos ✓ Falhas normais ao redor dos complexos.
650-500	Brasiliano	D ₄	Compressivo Cisalhamento Simples	E para W	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Falhas com vergência para W e direção NS. ✓ Dobras isoclinais a apertadas e abertas com vergência para W, ✓ Dobras normais. ✓ Foliação plano-axial S₄ e milonítica. ✓ Lineação de estiramento e mineral mergulhando para ESE.

Fonte: Traduzido e modificado de Baltazar e Zucchetti (2007).

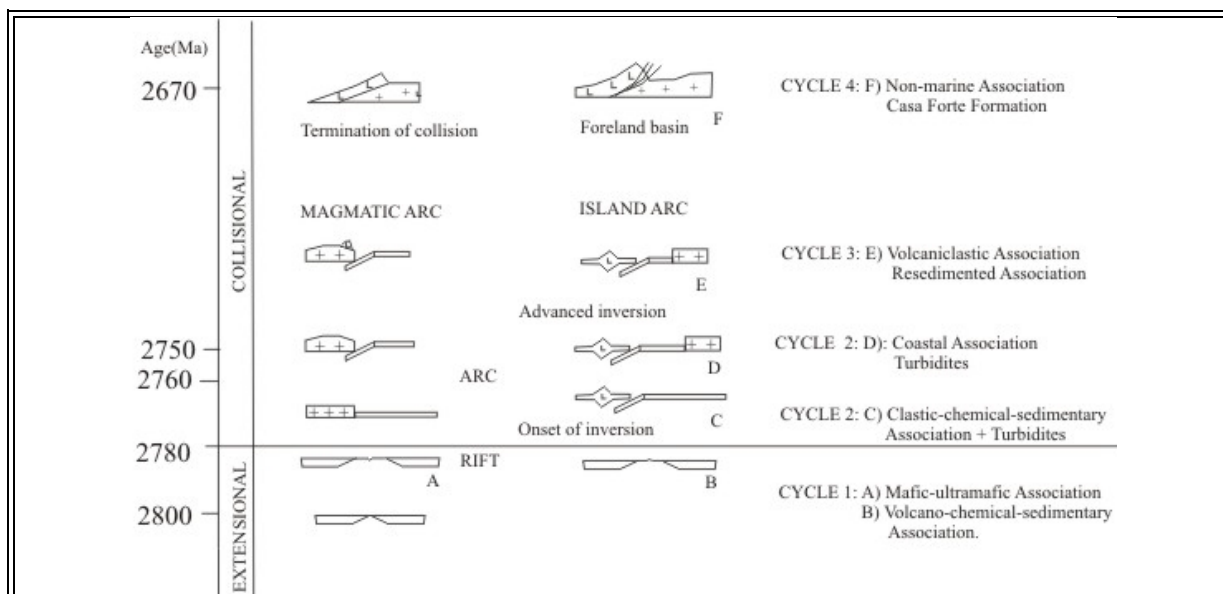


FIGURA 2.7 - Evolução Tectônica do *Greenstone Belt* Rio das Velhas.
Fonte: Baltazar e Zucchetti (2007).

QUADRO 2.10

Síntese de modelos de evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero

(Continua)

Eras	Arqueano	Paleoproterozóico	Mesoproterozóico	Neoproterozóico	
Idades		2.5	1.6	1.0	0.6
Evento termotectônico	Transamazônico			Brasiliano	
Marshak e Alkimim (1989)	Deposição do Supergrupo Minas	D1 Evento compressivo Vergência NW Fácies xisto-verde a anfibolito	D2 Evento extensivo Vergência N (Uruaçuano)	De Evento extensivo Deposição do Supergrupo Espinhaço	D3 Evento compressivo Vergência W <i>Fold-thrust belt</i> Fácies xisto-verde
Marshak et al., (1992)		D1 Evento compressivo Vergência NW Fácies xisto-verde a anfibolito	D2 Evento extensivo <i>Dome-and-keel</i> Fácies xisto-verde		D3 Evento compressivo Vergência W Fold-thrust belt
Chauvet et al., (1992)		D1 Evento extensivo Lineação de estiramento NS Magmatismo no Complexo Bação <i>Dome-and-keel</i> Nucleação de grandes sinclinais e anticlinais Fácies anfibolito		D2 Evento compressivo Lineação E-W Vergência W Fácies xisto-verde superior a anfibolito inferior	D3 Relaxamento crustal <i>Gravity slip</i> Vergência E Fácies xisto-verde

QUADRO 2.10
Síntese de modelos de evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero
(Conclusão)

Eras	Arqueano	Paleoproterozóico	Mesoproterozóico	Neoproterozóico	
Idades		2.5	1.6	0.6	
Evento termo-tectônico	Transamazônico			Brasiliano	
Chemale Jr. et al. (1994)	<p style="text-align: center;">D1</p> Evento compressivo Soerguimento de blocos Formação de sinclinais interconectados <i>Metamorphic core complex</i> Fácies xisto-verde			<p style="text-align: center;">D2</p> Evento Compressivo Vergência W <i>Fold-thrust belt</i> Diques máficos e corpos intrusivos Anquimetamorfismo a anfibolito anterior.	
Correa Neto e Baltazar (1995)	<p style="text-align: center;">D1</p> Evento Compressivo Vergência S Fold-and-thrust	<p style="text-align: center;">D2</p> Evento provavelmente extensional Soerguimento de blocos do embasamento Formação de sinclinais marginais	<p style="text-align: center;">D3</p> Evento compressivo W-NW Fold-thrust belt		
Alkimim e Marshak (1998)	<p style="text-align: center;">D1</p> Evento compressivo Vergência NW Tectônica <i>thin-skinned</i>		<p style="text-align: center;">DC</p> Colapso orogênico <i>Dome-and-keel</i>	<p style="text-align: center;">DE</p> Evento extensivo Bacias ensiálicas do tipo Rift Bacias oceânicas	<p style="text-align: center;">D2</p> Evento compressivo Vergência W <i>Fold-thrust belt</i>
Baltazar e Zucchetti (2007)	<p style="text-align: center;">D1</p> Compressivo Transporte tectônico N para S ✓ Falhas de empurrão com vergência para S e direção E. ✓ Dobras abertas, isoclinais a apertadas com vergência para S com eixos mergulhando para ENE, dobra flexural. ✓ Foliação plano-axial S ₁ , subparalela ao dobramento S ₀ (355/65); Lineação mineral e lineação de estiramento <i>down-dip</i> , lineação de interseção (S ₀ e S ₁) paralelas aos eixos de dobras.	<p style="text-align: center;">D2</p> Compressivo Cisalhamento Simples NE para SW ✓ Falhas de empurrão com direção NW (30-50/40-60) ✓ Dobras isoclinais a apertadas com vergência para SW e direção NW. ✓ Foliação plano-axial S ₂ (60/35 – foliação milonítica) Lineação de estiramento, lineação mineral (60-70/20-30)	<p style="text-align: center;">D3</p> Distensional Transporte tectônico WNW para ESE ✓ Nucleação de sinclinais regionais e início da deposição do Supergrupo Minas. ✓ Soerguimento do embasamento granito-gnaiss como complexos de núcleos metamórficos ✓ Falhas normais ao redor dos complexos.	<p style="text-align: center;">D4</p> Compressivo Cisalhamento Simples Transporte tectônico E para W ✓ Falhas com vergência para W e direção NS. ✓ Dobras isoclinais a apertadas e abertas com vergência para W, ✓ Dobras normais. ✓ Foliação plano-axial S ₄ e milonítica. ✓ Lineação de estiramento e mineral mergulhando para ESE.	

3. MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS EM DEPÓSITOS OROGÊNICOS

O termo Depósito de Ouro Orogênico é utilizado para definir depósitos de ouro associado à orogênese (FIGURA 3.1). Este termo foi cunhado por Groves *et al* (1998) em substituição à denominação de ouro mesotermiais que referia-se a depósitos formados em faixa de profundidade entre 1,2 a 3,0 km. Entretanto, como esta condição não refletia as condições nas quais a maioria dos depósitos mesotermiais teriam sido formados, e que representam pressões de 1,0 a 3,0 kbar e temperaturas da ordem de 300° a 400°C. Os termos *lode gold*, depósitos de veio quartzo-carbonato e depósitos *gold only*, também são considerados como depósitos de ouro orogênico.

Não necessariamente o termo depósito orogênico aplica-se a terrenos *greenstone belts* de idade arqueana, mas sabe-se que a maioria dos depósitos de ouro orogênico econômicos está relacionada à *greenstone belts* desta idade (Groves *et al.*, 1998).

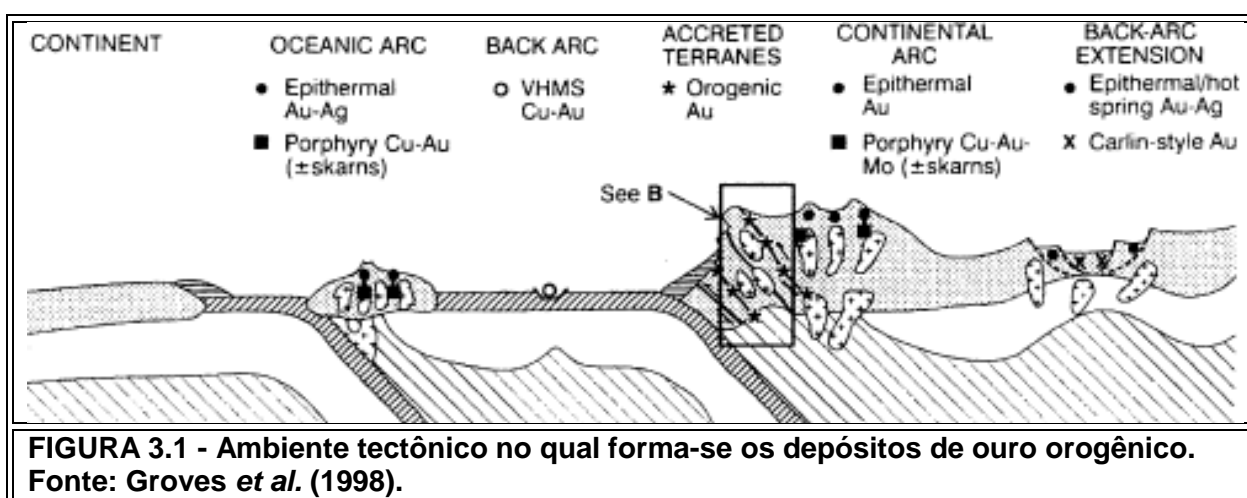


FIGURA 3.1 - Ambiente tectônico no qual forma-se os depósitos de ouro orogênico. Fonte: Groves *et al.* (1998).

Os terrenos granito-*greenstone* arqueanos com depósitos auríferos são predominantemente formado por (GROVES *et al.*, 1998):

- ✓ Terrenos vulcânicos plutônicos de arcos basálticos oceânicos e rochas félsicas a máficas de arco;
- ✓ Sedimentos clásticos marinhos dominantes, metamorfisados em metagrauvacas, xistos e filitos. Nos *greenstone belts* arqueanos essas rochas hospedam os minérios mais jovens, e são importantes em alguns desses terrenos.

Terrenos *greenstone* (FIGURA 3.2) não podem ser considerados como uma estratigrafia *sensu stricto*, ou seja, de empilhamento de litologias, mas sim como uma tectono-metamorfo-estratigrafia.

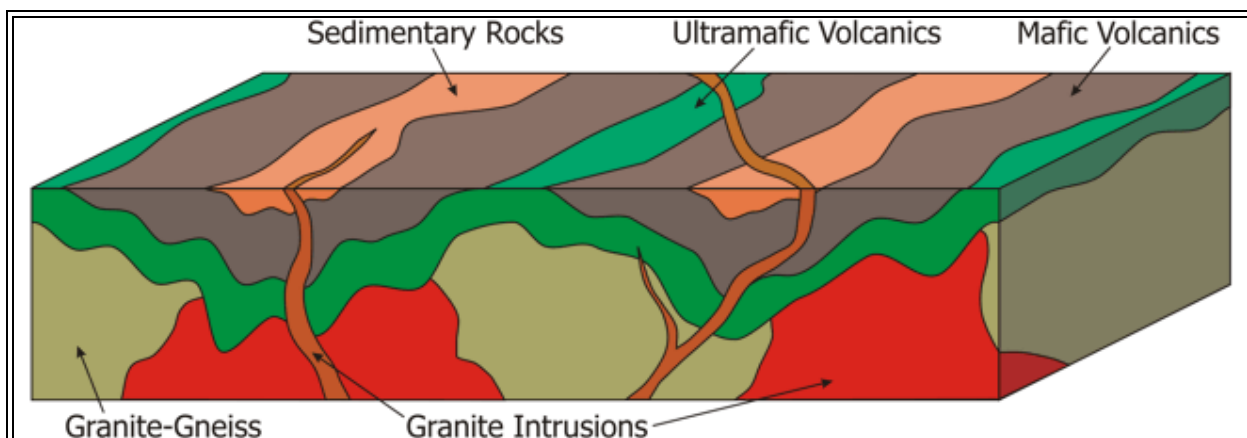


FIGURA 3.2 - Ambiente geológico de um *greenstone belt* com suas respectivas rochas entre as quais sita-se granito-gnaiss, intrusões graníticas, rochas sedimentares, rochas vulcânicas ultramáficas e máficas.

Fonte: <http://facweb.bhc.edu/academics/science/harwoodr/Geol102/Study/images/GreenstoneBelt.gif>

Depósitos de ouro orogênico constituem uma classe de depósitos hidrotermais, epigenéticos, estruturalmente controlados, e que são formados em várias faixas de profundidade na crosta. Sua origem está relacionada com fluxo de fluidos hidrotermais em um período de tempo simultâneo a posterior à atividade tectônica e o pico do metamorfismo de terrenos vulcânico-plutônico, com o grau metamórfico

indo deste a fácies xisto verde até granulito (GROVES *et al.*, 1998).

Nos depósitos orogênicos a mineralização aurífera está hospedada, predominantemente, em rochas máficas-ultramáficas extrusivas e intrusivas além de formação ferrífera bandada-FFB (GROVES *et al.*, 1995, 1998). A mineralogia é dominada por sistema de veio de quartzo que apresentam sulfetos, principalmente de Fe, com porcentagem $\leq 3 - 5\%$; carbonatos com porcentagem $\leq 5 - 15\%$. Em condições metamórficas de fácies xisto verde, a ganga pode conter albita, mica branca ou fuchcita, clorita, scheelita e turmalina, enquanto que em domínios de fácies anfíbolito podem estar presentes anfíbólios, diopsídio, biotita/flogopita, turmalina e até mesmo granada. Sistemas de veios podem apresentar, em profundidade, extensão de até 2 km com poucas mudanças na mineralogia e teor de ouro; algum zonamento mineral pode acontecer em alguns depósitos.

No que tange à alteração hidrotermal as principais características são:

- ✓ Forte zoneamento lateral em fases de alteração proximal para distal com associação de minerais hidrotermais em escala de metros;
- ✓ Carbonatos comumente incluem ankerita, dolomita ou calcita;
- ✓ Sulfetos incluem pirita, pirrotita e arsenopirita;
- ✓ Metassomatismo alcalino que envolve sericitização ou, mais raramente, formação de fuchcita, biotita ou K-feldspato;
- ✓ Albitização;
- ✓ Minerais máficos são altamente cloritizados;
- ✓ Em níveis crustais mais profundos anfíbólio ou diopsídio ocorrem e carbonatos são menos abundantes;
- ✓ Sulfetação é extrema em formação ferrífera bandada – FFB e rochas máficas ricas em Fe;
- ✓ Alteração total em rochas de fácies xisto verdes envolvem a adição de quantidades significativas de CO, S, K, H₂O, SiO₂ ± Na e LILE.

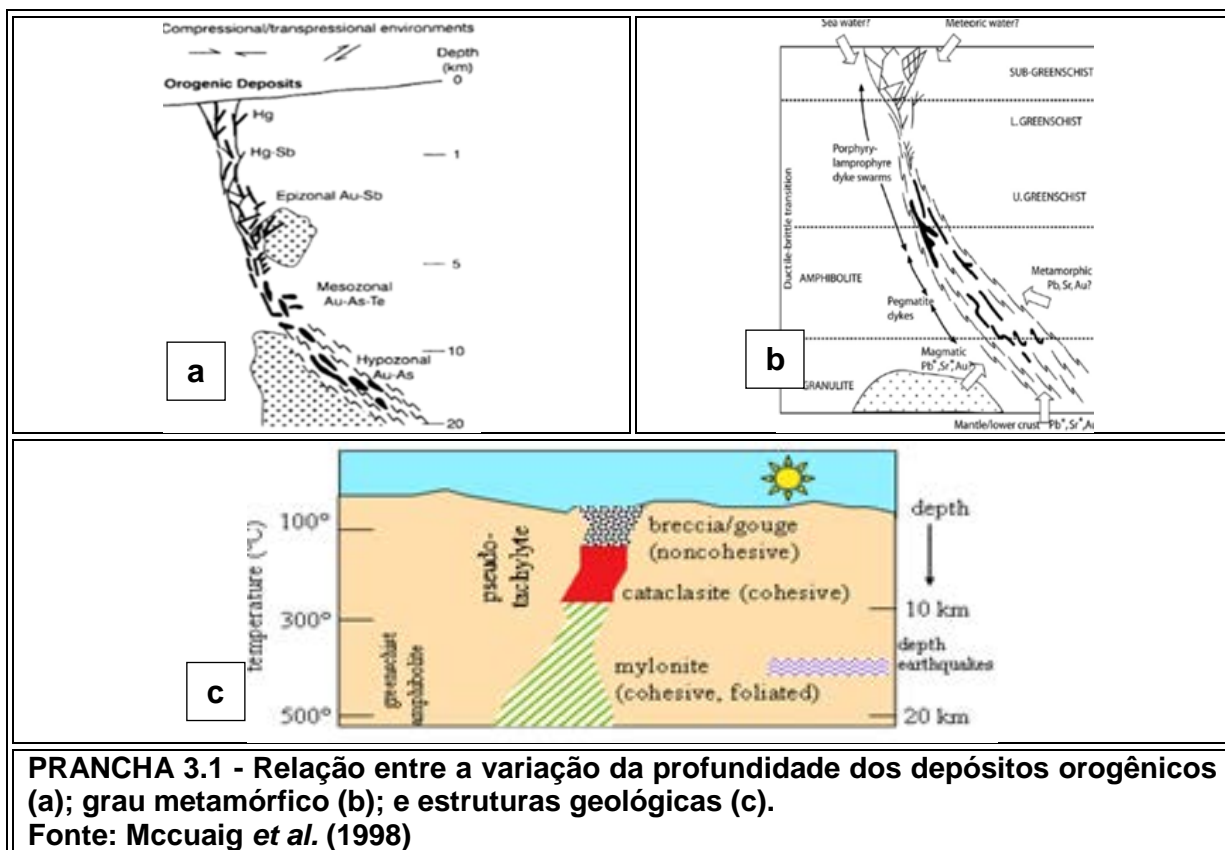
δO

As mineralizações de ouro, hospedadas em depósitos orogênicos, possuem forte controle estrutural mesmo para variação em escala decimétricas a hectométricas.

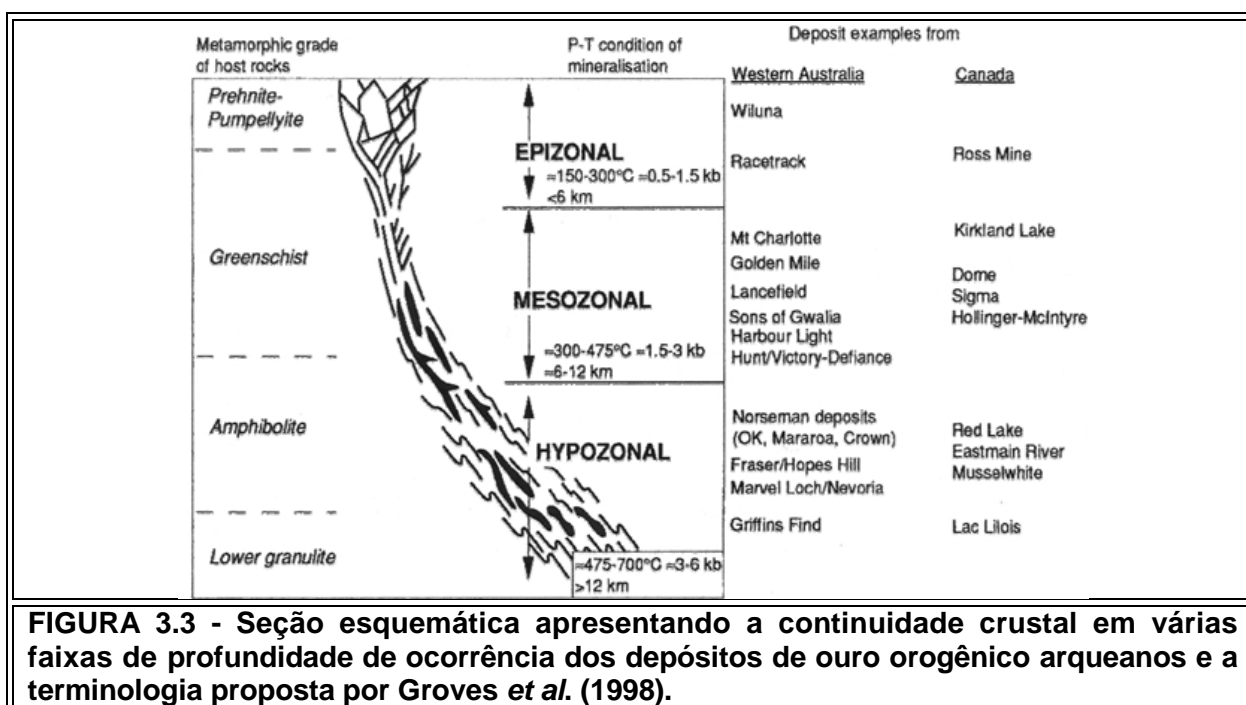
Embora as estruturas de controladoras normalmente sejam dúcteis-rúpteis, por natureza, elas são altamente variáveis, sendo as principais:

- ✓ Falha rúptil para zonas de cisalhamento dúctil, com ângulo baixo para alto, movimento reverso *strike-slip* ou mergulho oblíquo;
- ✓ Fratura, redes *stockwork* e/ou zonas de brecha em rochas competentes;
- ✓ Zonas foliadas, clivagem por solução por pressão;
- ✓ Dobras (dúctil), seqüências turbidíticas;
- ✓ Estruturas mineralizadas têm pequenos deslocamentos sin e pós-mineralização;
- ✓ As jazidas de ouro geralmente possuem continuidade por centenas de metros, algumas chegando a quilômetros.

Para os depósitos mais rasos predominam falhas, fraturas e veios mais em graus metamórficos mais altos predominam zonas de cisalhamento e dobras (**PRANCHA 3.1**).



Groves *et al.* (1998) apresentam uma nova classificação para os depósitos de ouro orogênico de acordo com a profundidade de formação dos mesmos (FIGURA 3.3). Depósito orogênico com profundidade menor do que seis km são denominados como Epizonais e possuem temperatura variando entre 150 e 300° C, a partir disto e até doze km são chamados de Mesozonais e possuem temperaturas entre 300 a 470° C, são denominados como Hipozonais depósitos com profundidade superior a 12 km e temperatura acima de 475° C.



À medida que aumenta a profundidade o grau metamórfico varia, de forma que são encontrados depósitos desde a fácies metamórficos xisto verde até granulito. Mas grande parte dos depósitos orogênicos arqueanos está localizada em ambientes de transição entre as fácies xisto verde médio a anfibolito, tendo sido por isso classificado como depósitos mesotermiais (GROVES *et al.*, 1998).

Esta condição, entretanto, não descarta a ocorrência de outros depósitos em ambos os ambientes, em condições de mais alto a mais baixo P-T, como nos depósitos do oeste

da Austrália e Canadá que ocorrem em fácies anfíbolito a granulito (GEBRE-MARIAM *et al.*, 1995). Depósitos com grau metamórfico baixo, fácies pumpeleíta-prenhita a xisto verde baixo, foram interpretados como sendo formados em níveis crustais rasos (GEBRE-MARIAM *et al.*, 1995).

Goldfarb *et al.* (2001) fazem uma síntese na qual agrupam os depósitos de ouro orogênico de acordo com a formação de cada um no tempo geológico, indo deste o Paleoarqueano e Mesoarqueano com idades de 3,4 a 3,0 Ga até o Cenozóico com idades menores que 65 Ma. Estes autores também indicam locais que, na atualidade, estão sendo submetidos à orogênese e que, no futuro, poderão hospedar depósitos de ouro orogênico, caso dos Alpes Suíços e o sistema de Falhas de San Andreas, na Califórnia. As características e exemplos desta classificação encontram-se sumarizados no **QUADRO 3.1**.

QUADRO 3.1

Resumo das eras, idades e características geológicas de depósitos orogênicos ao longo do tempo geológico

(Continua)

Éon	Era	Idade	Ambientes Geológicos	Estruturas Associadas	Produção (Moz Au)	Idade Deformação (Ma)	Idade Granitogêneses (Ma)	Idade Mineralização (Ma)
Arqueano	Paleoarqueano Mesoarqueano	3,4 – 3,0 Ga	Crátons Escudos Terrenos <i>Grenstones</i>	Zonas de Cisalhamento	>10 - Pilbara < 0.1 - Cráton Karelian, EUA	>3340 - Pilbara < 2150 – Greenstone Rio das Velhas	>3520 - Pilbara < 1870 - Lago Vitória, Tanzânia	>3430 - Pilbara < 1830Greensto ne Rio das Velhas
	Mesoarqueano Neoarqueano	3,0 - 2,5 Ga						
Proterozóico	Paleoproterozóico	2,5 – 1,6 Ga	Crátons Orógenos Escudos Plataforma Cinturões de Dobramento Terrenos <i>Grenstones</i>	Zonas de Cisalhamento Zonas de Deformação Lineamentos	>50 - Greenstone Birimian, Gana < 0.3 - Província Svecofennia n	>2375 - <i>Greenstone</i> Rio Itapicuru < 500 - Província Borborema	>2375 - Grenstone Rio Itapicuru < 510 - Província Borborema	>2285 - Greenstone Rio Itapicuru < 500 - Cinturão de Dobramento Brasília
	Mesoproterozóico e Neoproterozóico	1,6 – 0,57 Ga						
Paleozóico	Paleozóico	570 – 250 Ma	Orógenos Cinturão de Dobramento Arcos Magmáticos Crátons	Zonas Progressivas Zonas de Cisalhamento Lineamentos Falhas	>50 - ShanTian – Asia < 0.1 Serras Pampeanas – Andes	>535 Serras Pampeanas – Andes < 250 - Montes Urais, Rússia	>535 - ShanTian – Asia < 280 - Península Ibérica	>500 - Cinturão de Dobramento Thomson < 285 - Massif Central

QUADRO 3.1

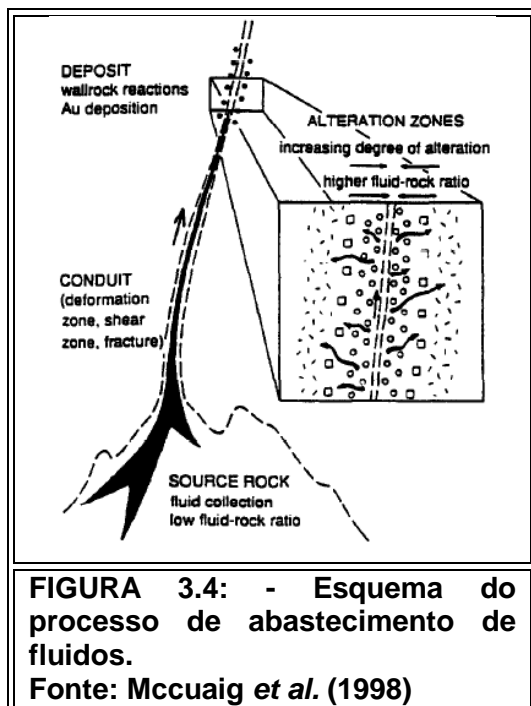
Resumo das eras, idades e características geológicas de depósitos orogênicos ao longo do tempo geológico

(Conclusão)

	Era	Idade	Ambientes Geológicos	Estruturas Associadas	Produção (Moz Au)	Idade Deformação (Ma)	Idade Granitogêneses (Ma)	Idade Mineralização (Ma)
Mesozóico	Mesozóico	250 – 65 Ma	Cinturões Orogenicos Crátons Cinturão de Dobramento	Suturas Falhas Sistemas de Falhas Zonas de Cisalhamento	>35 Sierras Foothills < 0.1 Península Seward, Klondike	>320 - Nova Inglaterra, EUA < 60 - Bridge River, EUA	>325 - Yan-Liao China < 47 - Central Idaho, EUA	>300 Yan-Liao China < 49 Central Idaho, EUA
Cenozóico	Terciário	<65 Ma	Prismas Acrecionários					
	Presente e Futuro		Sistemas de Falhas dos Alpes Suíços Alpes Suíços Alpes da Nova Zelândia Sistema de Falhas San Andreas Zona de Subducção Juan de Fuca Sistemas de Vulcões Ativos do Norte dos EUA					

Fonte: Quadro elaborado a partir de compilação de dados de Goldfarb *et al.* (2001).

Onde próxima a veios dominados por quartzo e zonas de cisalhamento, falhas e sistemas de fraturas, as quais servem como condutos de fluido, a alteração hidrotermal reflete sistemas químicos abertos e de interação metassomática isotópica do fluido com rochas adjacentes. Inicialmente em equilíbrio químico, isotópico e térmico, a medida que ascende através da crosta, o fluido, localmente, mostram desequilíbrio.



Na figura ao lado está representado, esquematicamente, o abastecimento de fluidos. O fluido ascende pela crosta através de sistemas de falhas e fraturas e, ao infiltrar as rochas, gera alteração hidrotermal e zonamento hidrotermal lateral (MCCUAIG *et al.*, 1998).

O fluido mineralizador que ascende pela crosta apresenta como característica: baixa salinidade, pH próximo do neutro, composição $H_2O-CO_2+CH_4$ que transporta ouro como um complexo de enxofre reduzido.

Fluidos associados a este tipo de depósito de ouro são notáveis por suas concentrações elevadas de CO_2 . Os valores típicos de $\delta^{18}O$ em jazidas dos *greenstone belts* arqueanos são de 5-8 per mil e próximo de 2 per mil para depósitos *lode gold* fanerozóicos.

4. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DO DEPÓSITO LAMEGO

Este capítulo trata das características litológicas, mineralógicas, texturais e aspectos relacionados à mineralização de ouro do Depósito Lamego. Primeiro é apresentada a descrição da geologia do entorno do Depósito Lamego, tendo como base o mapa geológico mais atual para a região de autoria de Baltazar *et al.* (2005).

Após uma breve descrição de cada um dos quatro corpos de minério, Queimada, Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Carruagem (FIGURA 4.2), maior atenção é dada à parte petrográfica, a qual está separada por tipo litológico, com especial atenção aos aspectos texturais, sulfetos e partículas de ouro.

Para a descrição petrográfica, foram coletadas amostras de furos de sondagem considerados representativos, procurando enfatizar os aspectos comuns e inerentes a cada corpo de minério.

No total foram descritos, em detalhe, 63 lâminas (TABELA 4.1). Além de amostras de furos de sondagem, foram também confeccionadas lâminas de amostras coletadas em campo e na frente de lavra.

TABELA 4.1

Resumo da quantidade de lâminas, separado por corpo de minério, e as que foram produzidas para análise estrutural.

Corpos	Número de Lâminas Delgadas
✓ Queimada	16
✓ Arco da Velha	16
✓ Cabeça de Pedra	15
✓ Carruagem	12
✓ Estrutural	04
Total	63

4.1 Geologia

O Depósito Lamego está localizado na Folha Belo Horizonte na estrutura da Dobra Lamego, visível em escala regional. Pelo mapa geológico regional de Baltazar *et al.* (2005) (FIGURA 4.1 ; Este mesmo mapa é apresentado em tamanho A3 no Anexo-B para uma melhor visualização), o depósito é hospedado na unidade litológica A3rnmc, chamada Mestre Caetano, envolta por uma camada de xisto grafitoso (xg) ou, na realidade, xisto carbonoso, e a Unidade Córrego do Sítio.

A Unidade Mestre Caetano caracteriza-se por um predomínio de metagrauvasas vulcanogênicas, com intercalações subordinadas de metatufos, metapelitos e raras ocorrências de formação ferrífera quartzosa, xistos carbonático (“lapa seca”), metaconglomerados e metandesitos. São xistos a sericita-clorita-quartzo, sericita-clorita, sericita e xisto carbonoso; formação ferrífera e quartzo-ankerita xisto subordinados. Conglomerado, formação ferrífera, quartzo-ankerita xisto (ls-lapa seca). Talco xisto (tx), xisto grafitoso (xg). Quartzito sericítico (qts). Na visão de Baltazar e Zucchetti (2007), esta unidade corresponde à associação de litofácies vulcanoclástica (BALTAZAR *et al.*, 2005).

A Unidade Córrego do Sítio constitui-se por metapelitos bandados com lentes subordinadas de metapsamitos. As rochas são quartzo-carbonato-mica-clorita xisto, quartzo-mica xisto, filito carbonoso; formação ferrífera subordinada. Quartzo-ankerita xisto (ls-lapa seca). Talco xisto (tx). Com associação de litofácies ressedimentada com metapelitos e metapsamitos com estratificação gradacional e cruzada (BALTAZAR *et al.*, 2005).

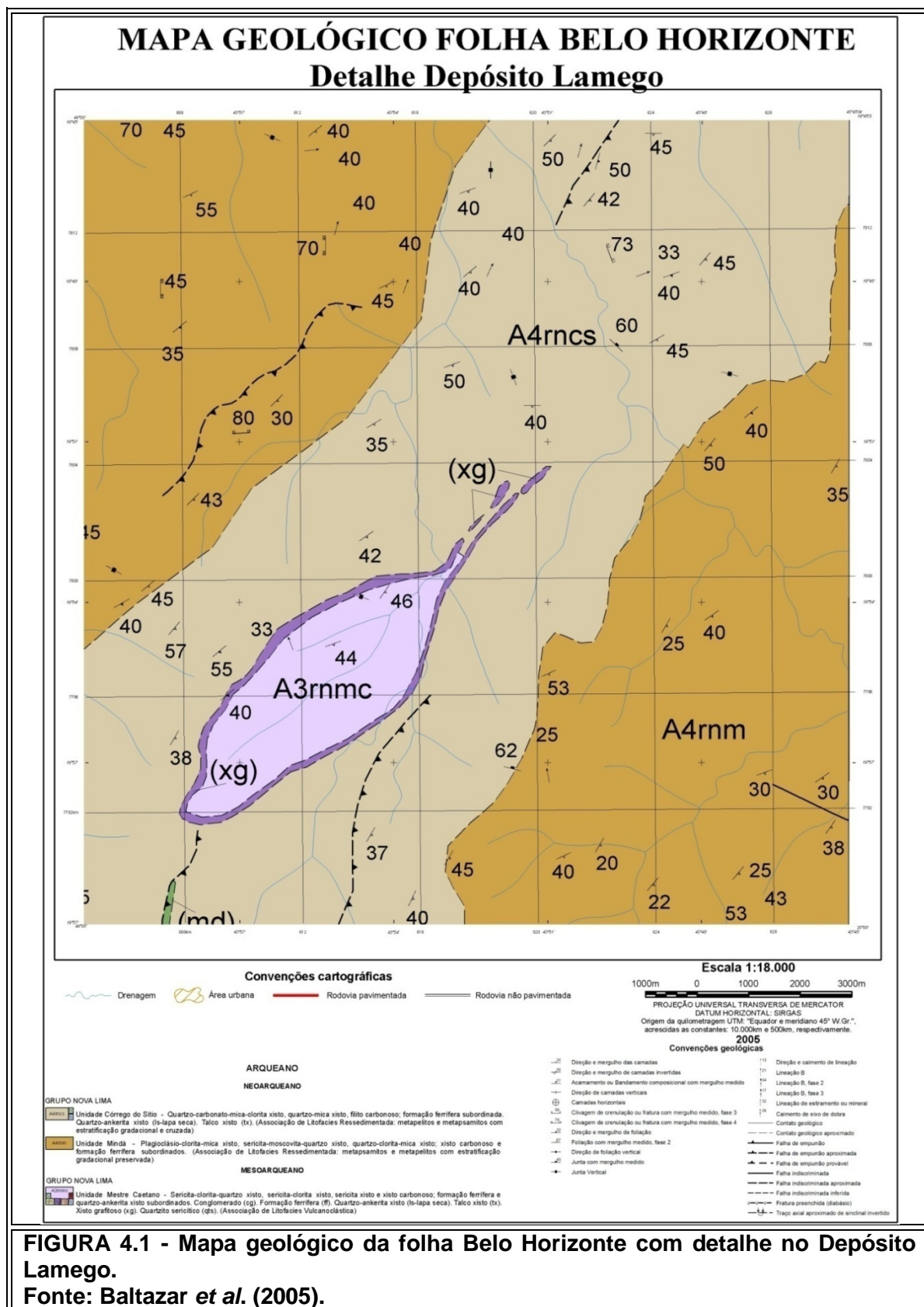


FIGURA 4.1 - Mapa geológico da folha Belo Horizonte com detalhe no Depósito Lamego.
Fonte: Baltazar et al. (2005).

A sequência estratigráfica do Supergrupo Rio das Velhas, na Mina Lamego (QUADRO 4.1), é definida por um pacote litoestratigráfico concordante, da base para o topo, de metabasalto (localmente denominado metandesito – MAN), representado por xistos a clorita, carbonato, quartzo, sericita e plagioclásio; formação ferrífera bandada (FFB), com carbonato de ferro e magnetita, localmente *metachert* ferruginoso e/ou carbonoso; xisto carbonoso; e metapelito, representado por xisto a sericita, quartzo, carbonato e matéria carbonosa. Uma intensa silicificação ocorre na forma de massas/veios de quartzo fumê e localmente rochas a quartzo com relictos de xisto carbonoso e formação ferrífera bandada-FFB.

QUADRO 4.1
Coluna litoestratigráfica esquemática do Depósito Lamego

Denominação Local		Rocha
X1		Metapelito representado por xisto a sericita, quartzo, carbonato e matéria carbonosa
Zonas de Silicificação	Quartzo Leitoso	Quartzo leitoso ocorre próximo a falhas e zonas de cisalhamento e é produto de recristalização do quartzo fumê.
	Quartzo Fumê	Quartzo fumê e rochas a quartzo com relictos de formação ferrífera e xisto carbonoso
XG		Xisto carbonoso
FFB		Formação ferrífera bandada com carbonato de ferro e magnetita.
<i>Metachert</i>		Localmente <i>metachert</i> ferruginoso e/ou carbonoso.
MAN (X2, X2CL)		Metabasalto (xistos a clorita, carbonato, quartzo, sericita e plagioclásio)

Fonte: Modificado de Sales (1998).

A estrutura do Depósito Lamego é uma dobra antiformal reclinada do tipo 2, segundo Ramsay (1966). Tem 4,8 km de perímetro aflorante, eixo com orientação noroeste-sudeste. A zona de charneira, espessa, corresponde ao Corpo Cabeça de Pedra, enquanto os corpos Arco da Velha e Cabeça de Pedra são os flancos, o primeiro é o flanco normal (setor SE) enquanto o segundo é o flanco invertido (setor NW). Já o Corpo Carruagem é a junção dos dois flancos, normal e invertido (FIGURA 4.2).

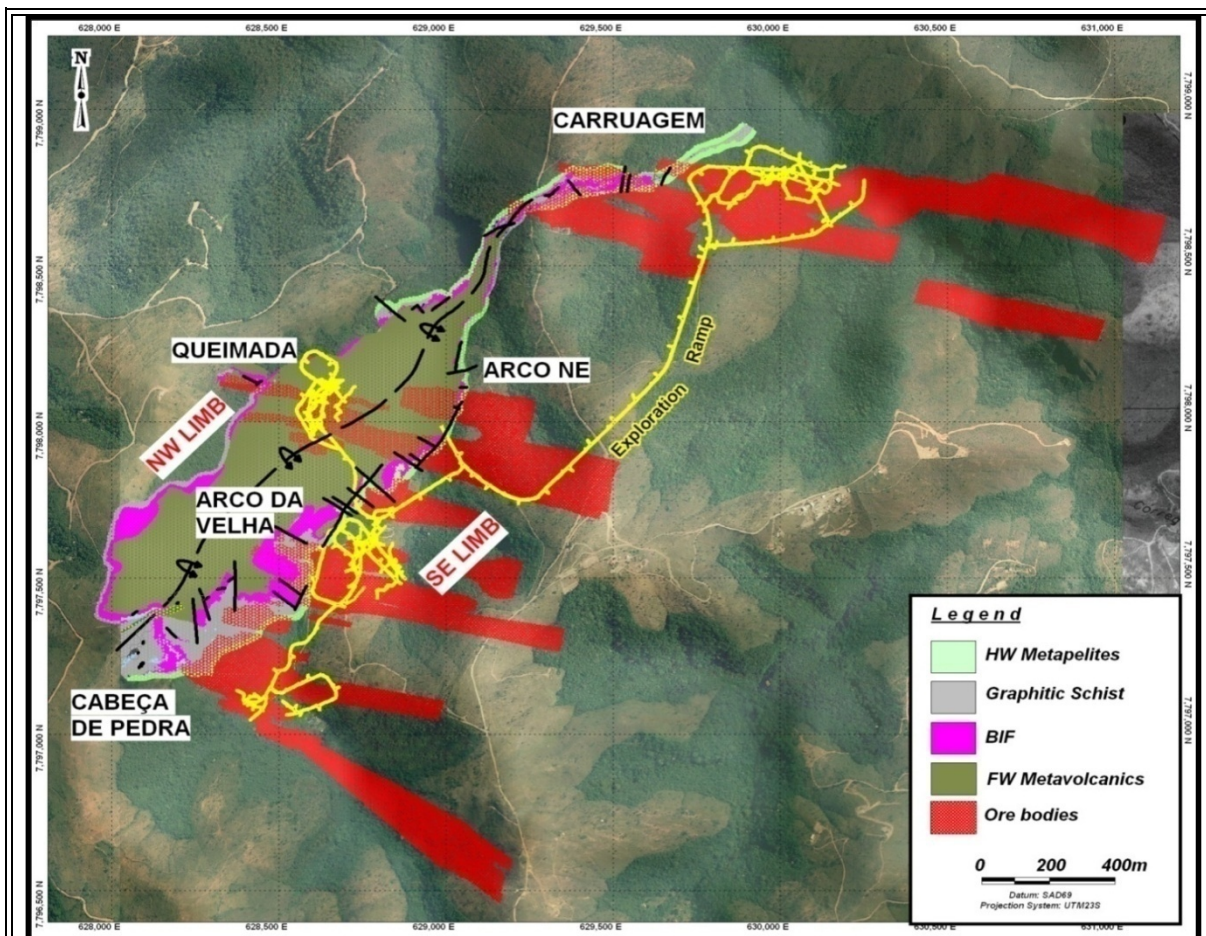


FIGURA 4.2 - Representação do mapa de superfície do depósito Lamego onde são observadas as respectivas litologias. Em vermelho corresponde a projeção dos corpos de minério em superfície. Amarelo é o traçado de galerias da mina subterrânea.

Fonte: AngloGold Ashanti Brasil.

4.2 Corpos de Minério Queimada, Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Carruagem

A descrição apresentada a seguir tem como base o levantamento dos dados ocorridos ao longo de 120 dias campo, quando foram realizadas atividades de mapeamento de 7 níveis de galerias abertas ao longo dos corpos de minério, a saber: Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Carruagem níveis 01 e 02 e Queimada

Nível 01, sendo que a distância entre cada nível é da ordem de 50 metros. Os números relativos a cada nível são apresentados na TABELA 4.2.

TABELA 4.2
Resumo da produção das atividades de mapeamento

Corpo de Minério	Nível	Número de Seções	Número de Pontos
Queimada	01	05	048
Arco da Velha	01	19	201
	02	23	425
Cabeça de Pedra	01	30	395
	02	19	325
Carruagem	01	20	150
	02	24	315
Total	07	140	1.859

O método de mapeamento utilizado é denominado como Axiométrico. Foi assimilado através de treinamento fornecido pela empresa AngloGold Ashanti Brasil e está descrito no Anexo-A.

O minério aurífero ocorre em corpos grosseiramente lineares, distribuídos de forma irregular na estrutura, com uma variação muito grande em volume e teor, tanto segundo a direção como ao longo do caimento da lineação, aqui denominado de *plunge*. Os recursos para cada corpo de minério são informados na TABELA 4.3.

TABELA 4.3

Informações de recursos atualizados até dezembro de 2010 separado por corpos de minério.

OREBODIES	TOTAL RESOURCES OF LAMEGO DEPOSIT - Oct 2011 (WITH 2011 DEPLETION) COG > 2.68g/t											
	Measured			Indicated			Inferred			TOTAL		
	Tons	Au (g/t)	Au (Oz)	Tons	Au (g/t)	Au (Oz)	Tons	Au (g/t)	Au (Oz)	Tons	Au (g/t)	Au (Oz)
Carruagem	243.995	8,72	68.440	989.365	7,05	224.405	1.350.157	6,18	268.326	2.583.517	6,76	561.171
Cabeça de Pedra	111.627	6,25	22.446	458.306	4,57	67.322	1.157.795	4,36	162.449	1.727.728	4,54	252.217
Arco da Velha	147.610	5,34	25.337	120.338	4,79	18.513	487.524	3,64	56.992	755.473	4,15	100.842
Queimada	65.551	7,86	16.575	48.436	8,26	12.862	349.498	7,51	84.336	463.484	7,64	113.773
Arco NE	0	0,00	0	0	0,00	0	474.881	0,00	56.987	474.881	3,73	56.987
TOTAL	568.783	7,26	132.798	1.616.445	6,22	323.102	3.819.856	4,66	572.103	6.005.083	5,62	1.084.990

Fonte: AngloGold Ashanti, 2010.

Corpo Queimada

O Corpo Queimada está situado na aba NW da Dobra Lamego (FIGURA 4.2) com seção horizontal orientada NNE e uma profundidade de 100 metros em relação à superfície, a qual possui cota de aproximadamente 1000 m. Estende-se, em planta, por cerca de 500 m com espessura de até 25 m, perfazendo uma área de 16.609,17 m² (FIGURA 4.3). Atualmente, o Corpo Queimada encontra-se fora de atividade de lavra pelo fato de apresentar baixo teor e por apresentar problemas geotécnicos.

Mapeado apenas no Nível 01, este corpo corresponde ao flanco invertido da Dobra Lamego, com o *plunge* apresentando atitude média de 102/29, sendo pequeno e de baixo valor econômico. Para este corpo destaca-se que:

- (a) é o mais deformado, com estruturas fortemente paralelizadas;
- (b) exhibe o maior volume de rocha metavulcânica, cuja alteração hidrotermal é mais facilmente cartografável;
- (c) há aparente ausência de quartzo fumê na galeria de acesso e no corpo de minério em si;
- (d) a mineralização é associada a níveis de *metachert*.

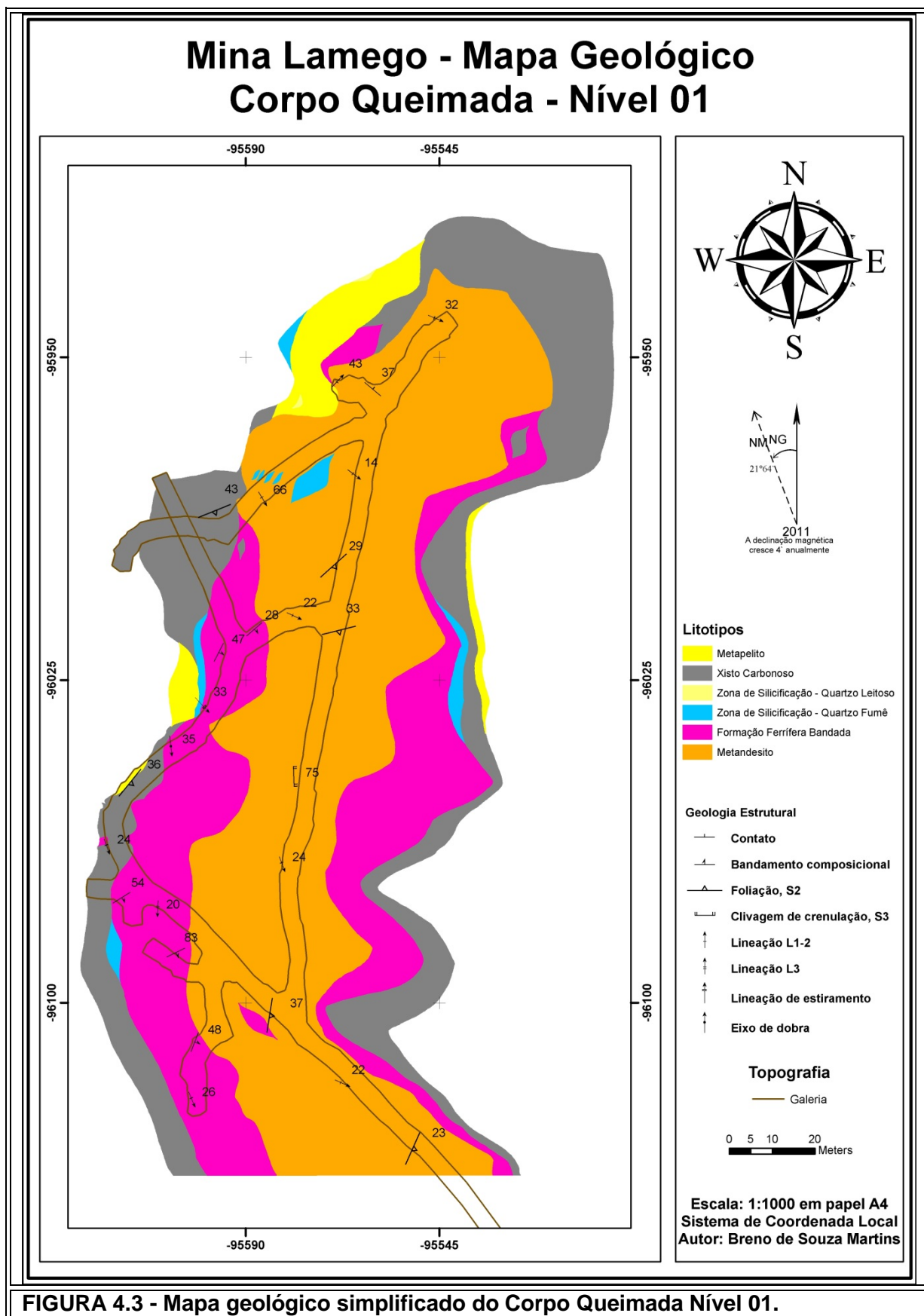


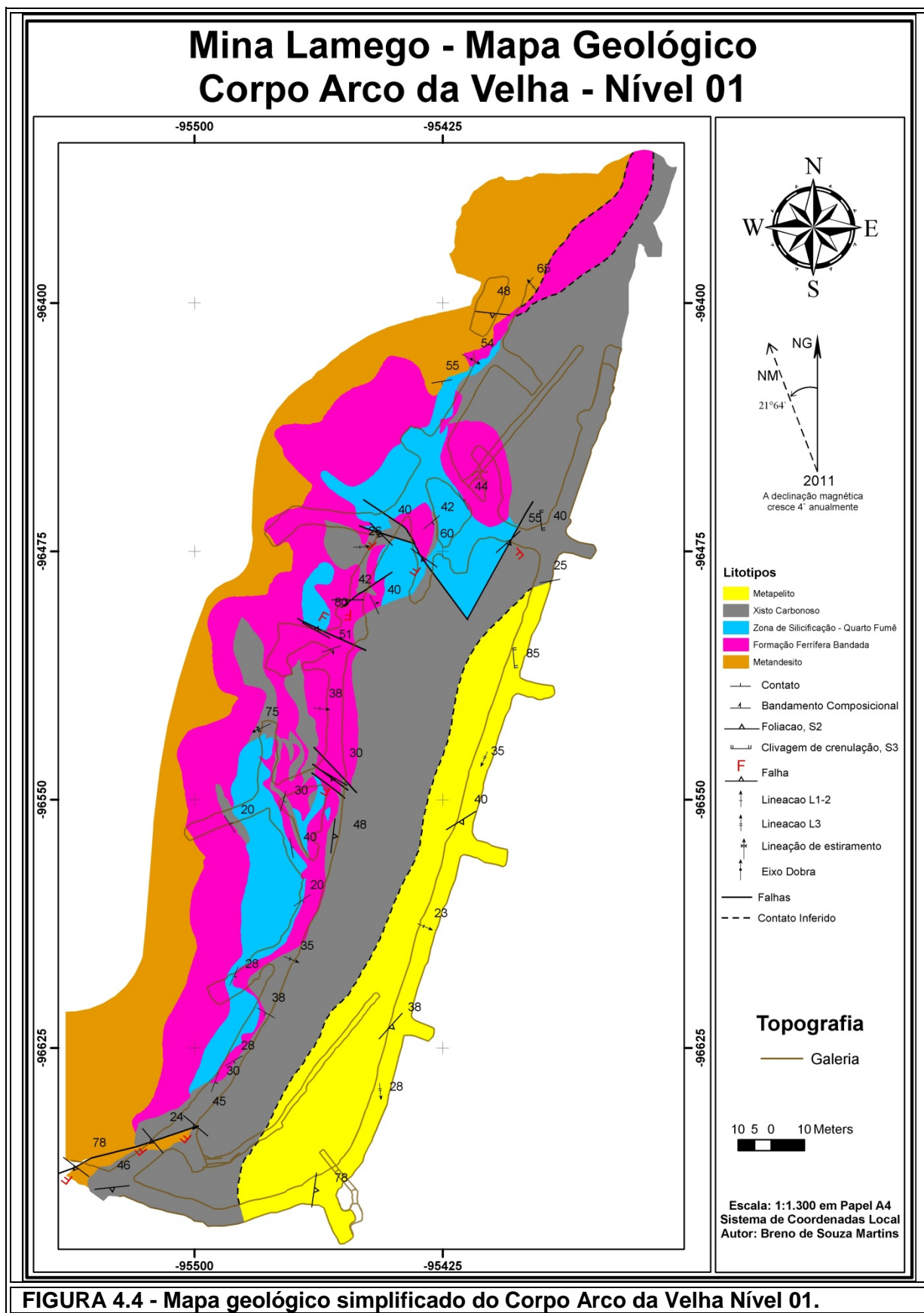
FIGURA 4.3 - Mapa geológico simplificado do Corpo Queimada Nível 01.

Corpo Arco da Velha

Arco da Velha está situado na aba SE (FIGURA 4.2) da Dobra Lamego. O nível 01 possui seção horizontal orientada a NE, está a uma profundidade de 100 metros em relação à superfície, e estende-se em planta por cerca de 500 m com espessura de até 23 m, perfazendo uma área de 30.131,15 m² (FIGURA 4.4). Já no nível 02, com uma profundidade de 150 metros em relação à superfície, a porção norte apresenta orientação N-S e a porção sul está orientada NE-SW; em planta, estende-se por 470 m com espessura de até 33 m, compreendendo uma área de 18.077,97 m² (FIGURA 4.5).

O Corpo Arco da Velha corresponde ao flanco normal no qual o *plunge* apresenta um valor médio de 105/25, com a mineralização concentrada no quartzo fumê (porção NE) e na FFB (porção SE). Aspectos a destacar:

- (a) a sulfetação substitui claramente o bandamento da FFB silicificada, com quartzo fumê;
- (b) há presença de metavulcânica no início e final da galeria de acesso ao minério;
- (c) há presença de xisto carbonoso ao longo de toda a galeria;
- (d) esse é corpo mais intensamente dobrado, em especial junto a falhas;
- (e) há aparente ausência de falhas NW no Nível 01;
- (f) há zonas mapeáveis de sulfeto maciço associadas a quartzo fumê.



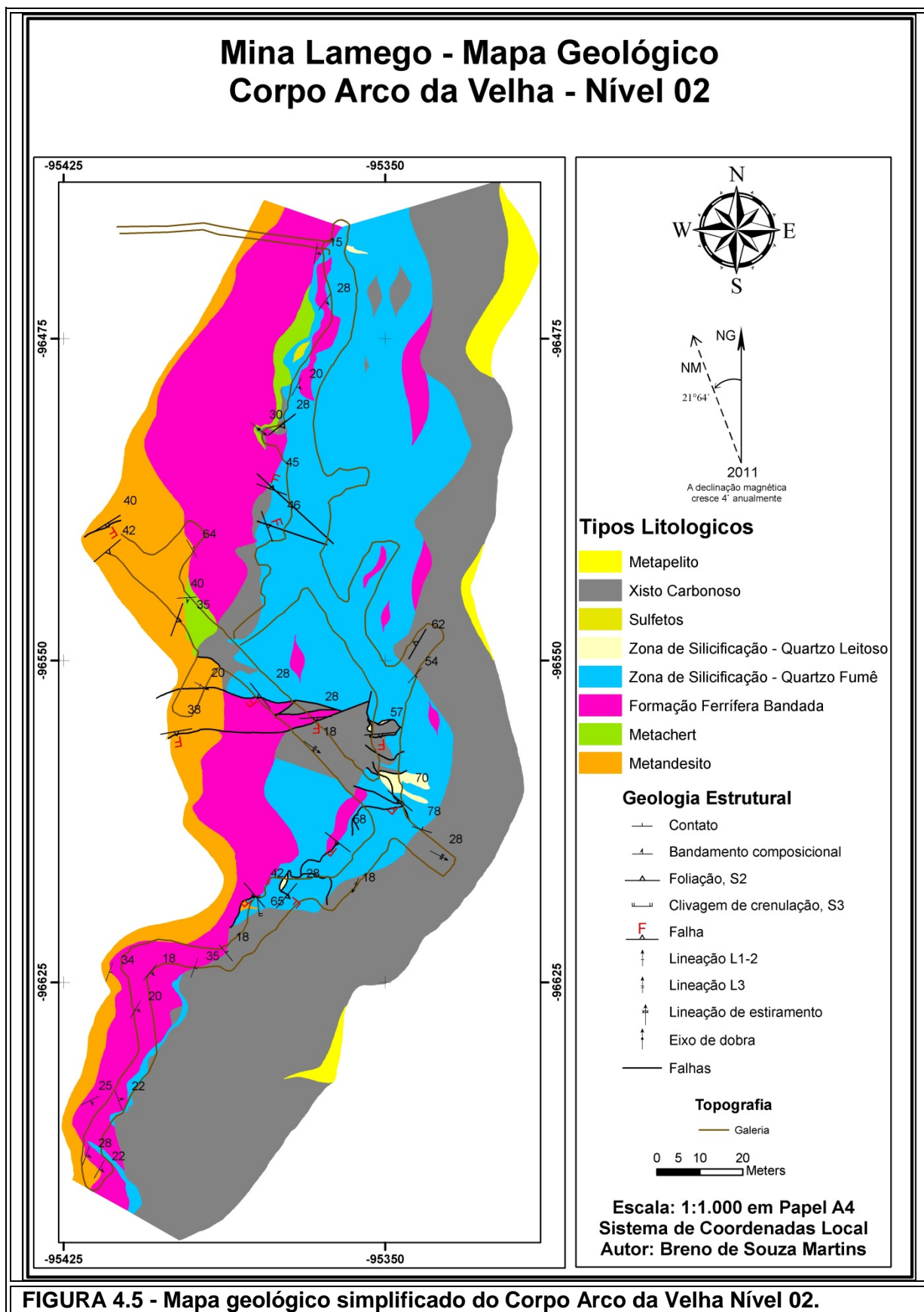


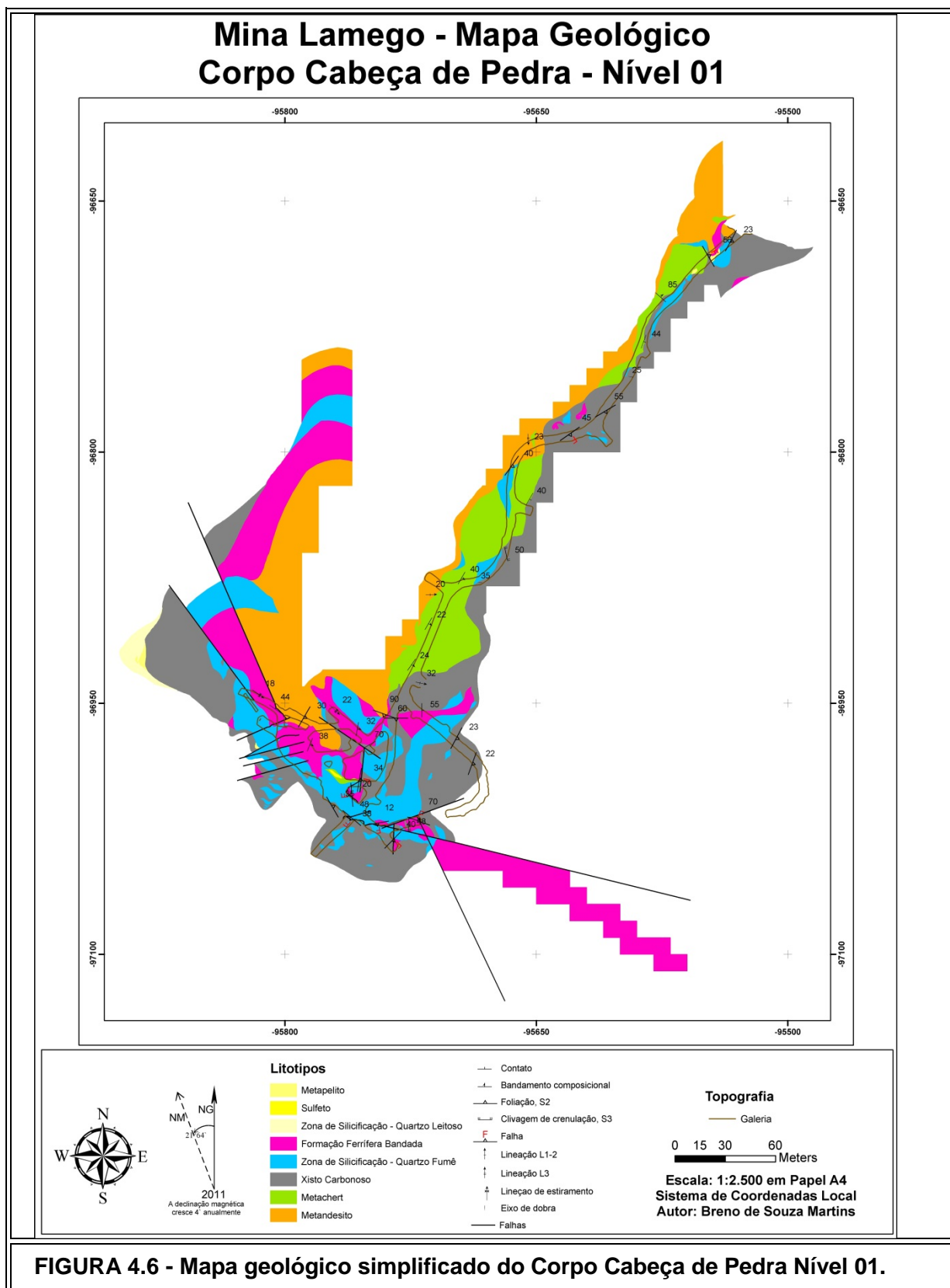
FIGURA 4.5 - Mapa geológico simplificado do Corpo Arco da Velha Nível 02.

Corpo Cabeça de Pedra

O Corpo Cabeça de Pedra está localizado no setor SW da Dobra Lamego (FIGURA 4.2). Para o nível 01 apresenta orientação NE-SW, para o distrito de acesso, e NW-SE para o corpo de minério; estende-se, em planta, por 1.100 m, com espessura de até 20 m, correspondendo a uma área de 42.225,12 m² (FIGURA 4.6) e ocorre em uma profundidade de 100 metros em relação à superfície. Já o nível 02, que ocorre com uma profundidade de 150 metros em relação à superfície, está orientado para W-E, e estende-se, em planta, por 260 m com espessura de até 33 m, correspondendo a uma área de 14.115,80 m² (FIGURA 4.7).

Este corpo corresponde à charneira na qual a FFB e o filito carbonoso são bem espessos. O *plunge* possui atitude média de 120/25. Aspectos a destacar:

- (a) este é o corpo maior número de falhas mapeadas;
- (b) as falhas mostram-se dobradas;
- (c) há clara distinção entre zonas de falha com alteração a carbonato e sulfeto nos xistos carbonosos;
- (d) há zonas mapeáveis de sulfeto maciço associadas a quartzo fumê;
- (e) há mineralização associada a níveis de FFB e quartzo fumê, que ocorre entre a FFB e o xisto carbonoso; no nível 02 o quartzo fumê mostra-se especialmente *stratabound*.



Mina Lamego - Mapa Geológico Corpo Cabeça de Pedra - Nível 02

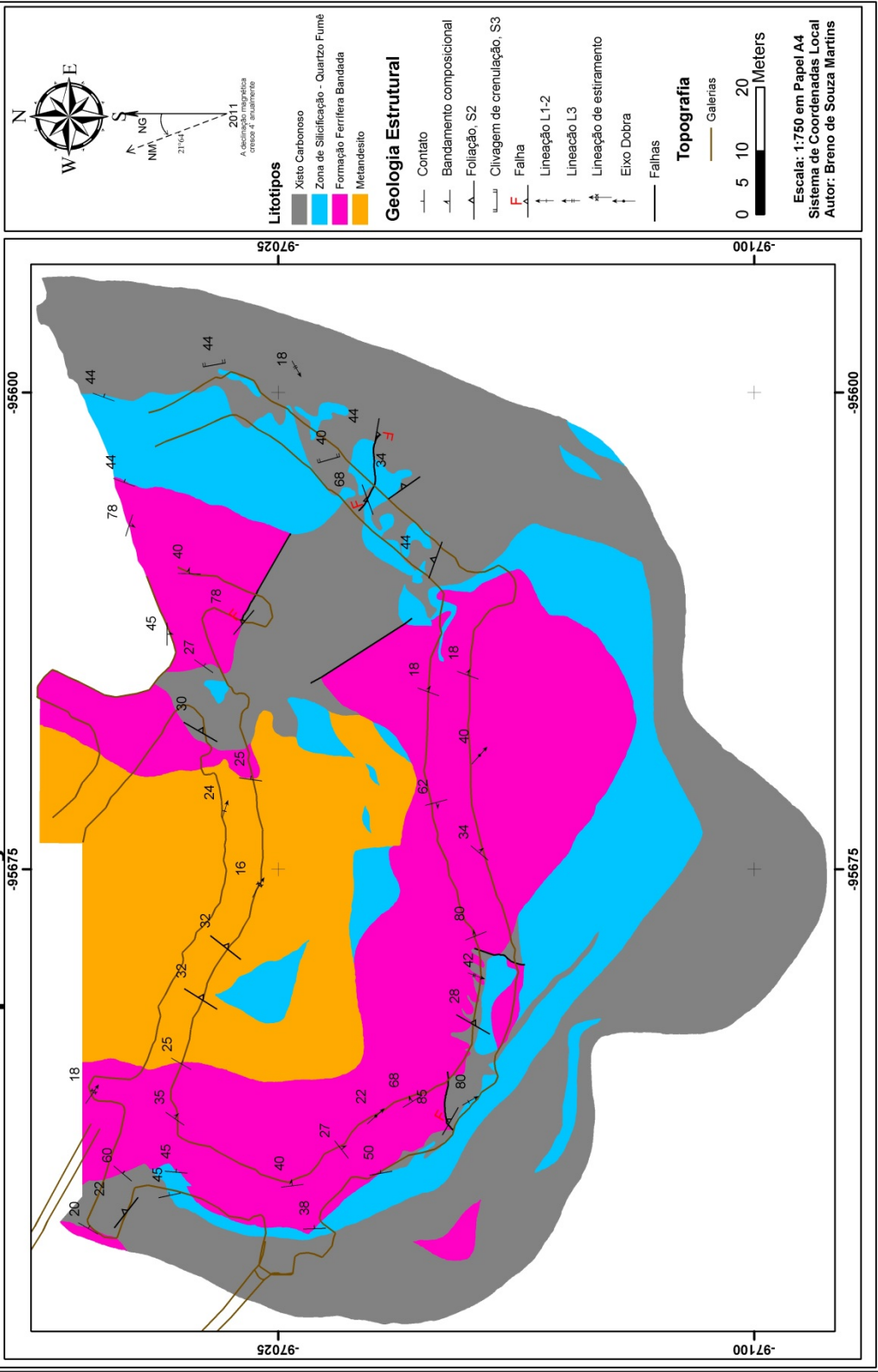


FIGURA 4.7 - Mapa geológico simplificado do Corpo Cabeça de Pedra Nível 02.

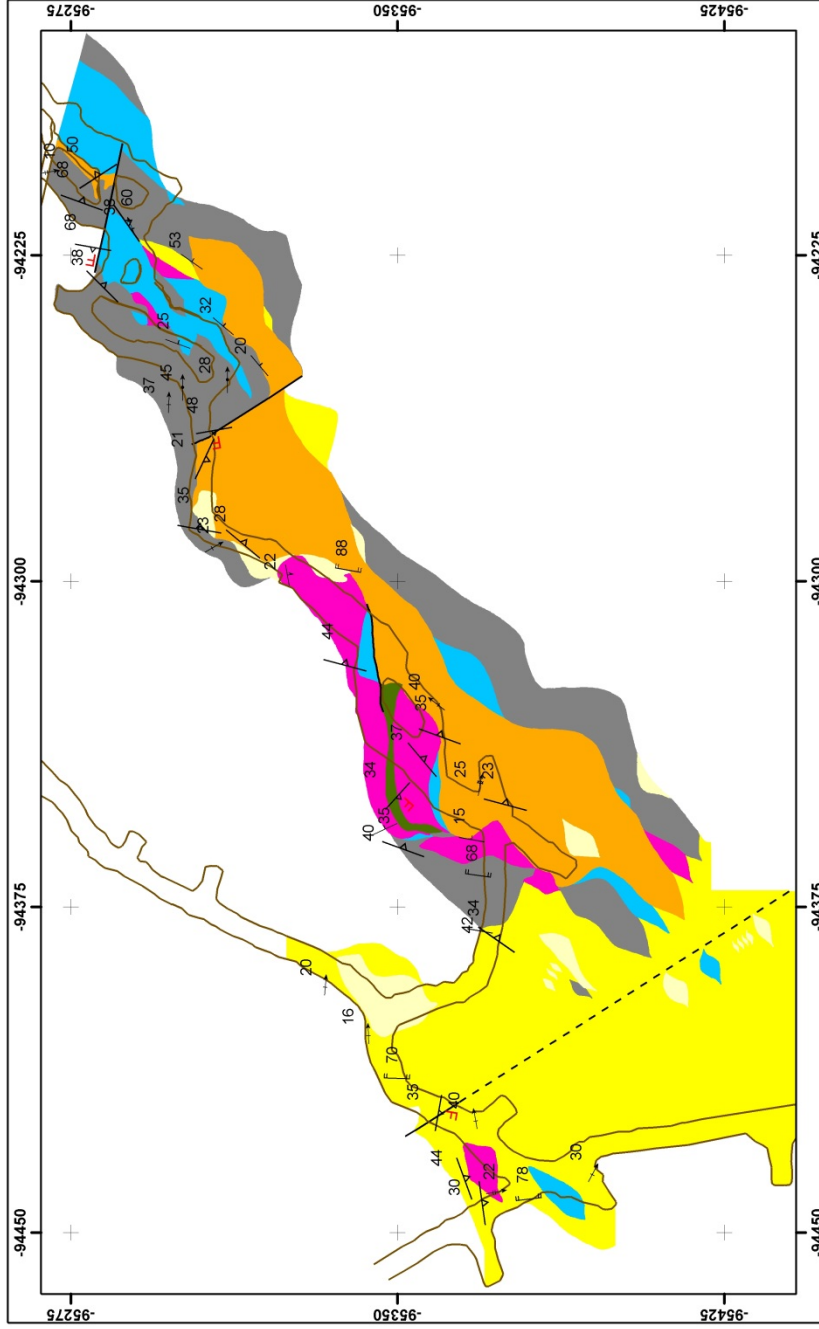
Corpo Carruagem

O Corpo Carruagem corresponde à junção dos flancos normais e invertidos da Dobra Lamego (FIGURA 4.2). O nível 01 está orientado NE-SW, estende-se em planta, por 440 m com espessura de até 15 m, perfazendo 15.331,22 m² (FIGURA 4.8) e ocorre em uma profundidade de 200 metros em relação à superfície. O nível 02, com profundidade de 250 metros em relação à superfície, está orientado segundo NE-SW, e estende-se por 470 m com espessura de até 21 m completando 27.264,84 m² (FIGURA 4.9).

O Corpo Carruagem está situado na extremidade NE da dobra onde ocorre o estrangulamento dos flancos e junção das abas normais e invertidas. Este corpo possui os melhores teores de ouro contendo 62% das reservas. Dos Níveis 01 a 03, a mineralização apresenta predomínio de quartzo fumê e, dos Níveis 03 a 08, aumenta a proporção de FFB, segundo informação da AngloGold Brasil. O *plunge* médio é de 095/22. Aspectos a destacar:

- (a) há maior volume de silicificação (quartzo fumê e leitoso) e menor de FFB, formando brechas de cisalhamento (TAYLOR, 2000);
- (b) há forte associação de ouro com pirita arsenical;
- (c) há presença de falhas de empurrão e transcorrência;
- (d) as lineações minerais são pouco representadas no minério;
- (e) há boa preservação de estruturas *pinch-and-swell*, desde escala centimétrica a decamétrica.

Mina Lamego - Mapa Geológico Corpo Carruagem Nível 01



2011
A designação cartográfica
conso o A. 2/2004

Litotipos

- Dique
- Metapelítica
- Xisto Carbonoso
- Zona de Silificação - Quartzo Líbano
- Zona de Silificação - Quartzo Fumé
- Formação Ferrifera Bandada
- Melandrito

Geologia Estrutural

- Contacto
- Bancimento composicional
- Foliação, S2
- Chivagem de enrugação, S3
- Falha
- Lineação L1,2
- Lineação L3
- Lineação de estiramento
- Eixo de dobra
- Falha
- Falha Infrida
- Dique

Topografia

- Galerias
- Dique

0 5 10 20
Meters

Escala: 1:4.350 em Papel A4
Sistema de Coordenadas UTM
Autor: Bruno de Souza Martins

FIGURA 4.8 - Mapa geológico simplificado do Corpo Carruagem Nível 01.

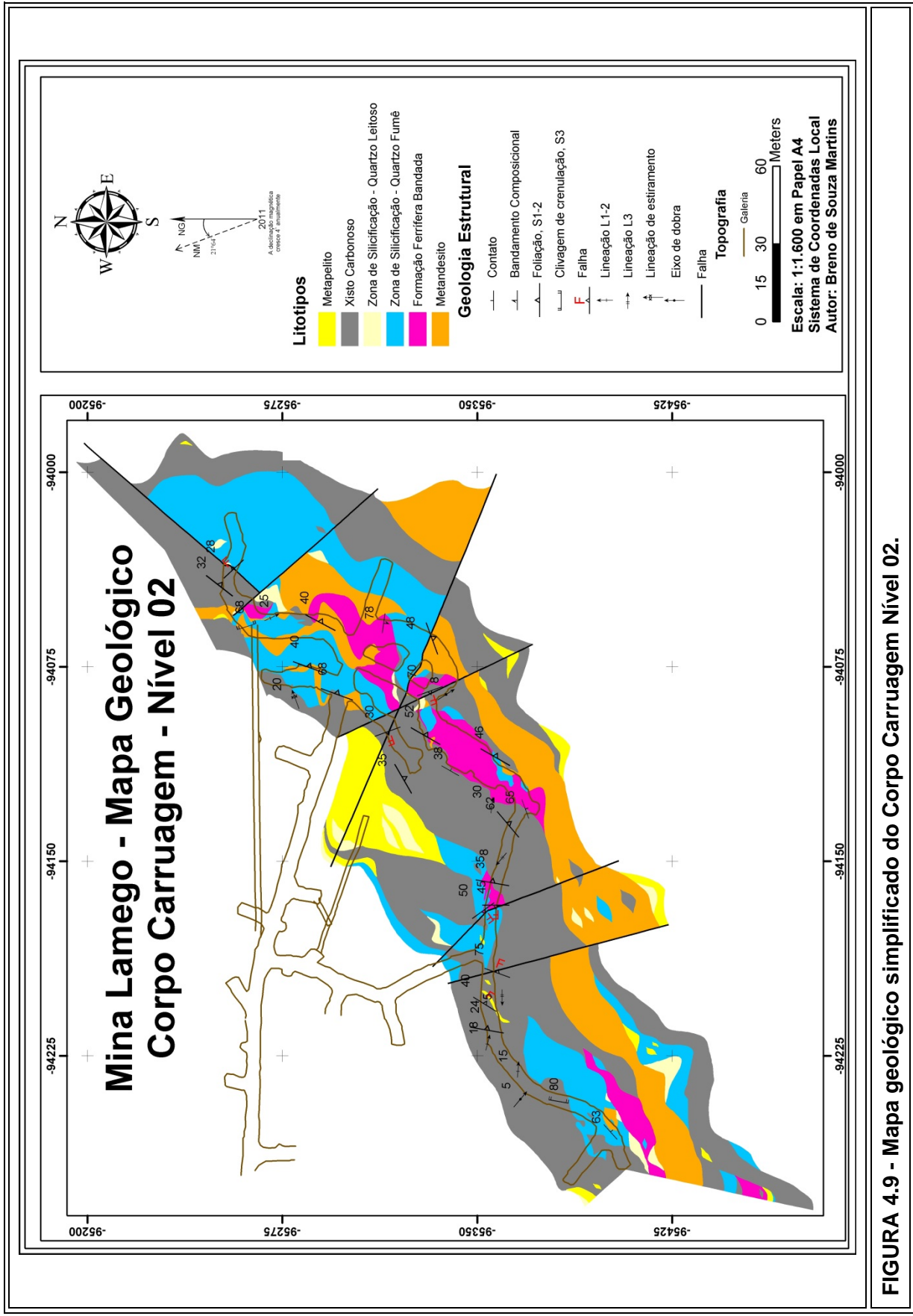


FIGURA 4.9 - Mapa geológico simplificado do Corpo Carruagem Nível 02.

Na TABELA 4.4 é apresentado um resumo de áreas em m², considerando o levantamento litológico tanto em subterrâneo como em furos de sondagem horizontais, separado por corpo de minério e tipo litológico. Importante observar que formação a ferrífera bandada predomina como hospedeira para os corpos Queimada, Arco da Velha e Cabeça de Pedra Níveis 01, enquanto quartzo fumê predomina nos corpos Arcos da Velha Nível 02 e Carruagem níveis 01 e 02. O *metachert* tem ocorrência restrita aos corpos Arco da Velha Nível 02 e Cabeça de Pedra Nível 01.

TABELA 4.4

Resumo da área em mapa separado por nível de corpo de minério e rocha. Observe que quartzo fumê predomina como corpo de minério para os corpos Arco da Velha Nível 02 e Carruagem níveis 01 e 02. Formação ferrífera possui ocorrência em todos os níveis mapeados.

Corpo de Minério		Queimada	Arco da Velha		Cabeça de Pedra		Carruagem	
Litologia/Nível		01	01	02	01	02	01	02
Metapelite		620,61	4.076,41	326,73	39,20		6.126,46	1.470,17
Xisto Carbonoso		3.756,86	9.231,98	6.169,29	13.823,50	5.438,35	3.284,70	12.134,88
Sulfetos				6,73	9,42			
Zonas de Silicificação	Quartzo Fumê	224,71	2.723,51	5.438,71	5.766,60	2.294,42	1.133,71	6.005,62
	Quartzo Leitoso	5,48		50,50	411,14		527,65	484,26
Formação Ferrífera Bandada		4.101,82	8.578,25	3.708,20	8.497,53	3979,57	998,30	1.757,51
Metachert				194,08	4.976,27			
Metandesito		7.899,69	5.521,01	2.183,73	8.701,46	2.403,46	3.179,04	5.412,40
Area Total (m ²)		16.609,17	30.131,15	18.077,97	42.225,12	14.115,80	15.331,22	27.264,84
Extensão em Planta (m)		500	500	470	1.100	260	440	470

Todos os mapas descritos deste a FIGURA 4.3 até a FIGURA 4.9 são apresentados em anexo no formato A3 para uma melhor visualização dos mesmos (Anexo B até Anexo I).

4.3 Metandesito

Corresponde à unidade basal da sequência do Depósito Lamego. Esta rocha ocupa a porção central da área, ou seja, o núcleo da estrutura na qual está hospedado o Depósito Lamego (FIGURA 4.2). É uma faixa contínua de direção NE-SW com mergulho para SE e, sua maior extensão lateral, com mais de 1.800 metros, ocorre no nível 01 dos corpos Queimada, Arco da Velha e Cabeça de Pedra (FIGURA 4.10).

Estas rochas são representadas por metandesitos cloritizado e alterado a carbonatos e quartzo (PRANCHA 4.1 b). Onde fortemente hidrotermalizados apresentam sericita e carbonato, dando lugar a xistos a carbonato-sericita; sericita-carbonato e sericita venulado e/ou sulfetado; xistos venulados e com *boudins* e veios de quartzo com carbonatos e sulfetos (PRANCHA 4.1a, b, d, e).

Nos testemunhos de sondagem e em exposições subterrâneas, os metandesitos são predominantemente verdes, mas onde intensamente hidrotermalizadas, podem apresentar cor creme com porções brancas, aspecto xistoso, ricas em carbonatos e cloritas. Pode haver intercalações de *metachert* com espessura centimétrica a métrica nos níveis 01 dos corpos Queimada, Arco da Velha e Cabeça de Pedra (PRANCHA 4.1 f e PRANCHA 4.2 c).

O contato litológico dos metandesito ocorre concordante ou não com formação ferrífera bandada-FFB e xistos carbonosos (PRANCHA 4.1c, d). Entretanto, o seu contato com as rochas metapelíticas é essencialmente por falha (vide Capítulo 5 seção 5.4). Onde intensamente tectonizadas, essas rochas apresentam espelhos de falha e estrias preenchidas por veios de quartzo, carbonatos e cristais de pirita. É comum a ocorrência de níveis carbonáticos e/ou de quartzo preenchendo veios ou zonas de falha além de cristais de pirita, ambos de tamanho milimétrico a decimétrico (PRANCHA 4.2a, b).

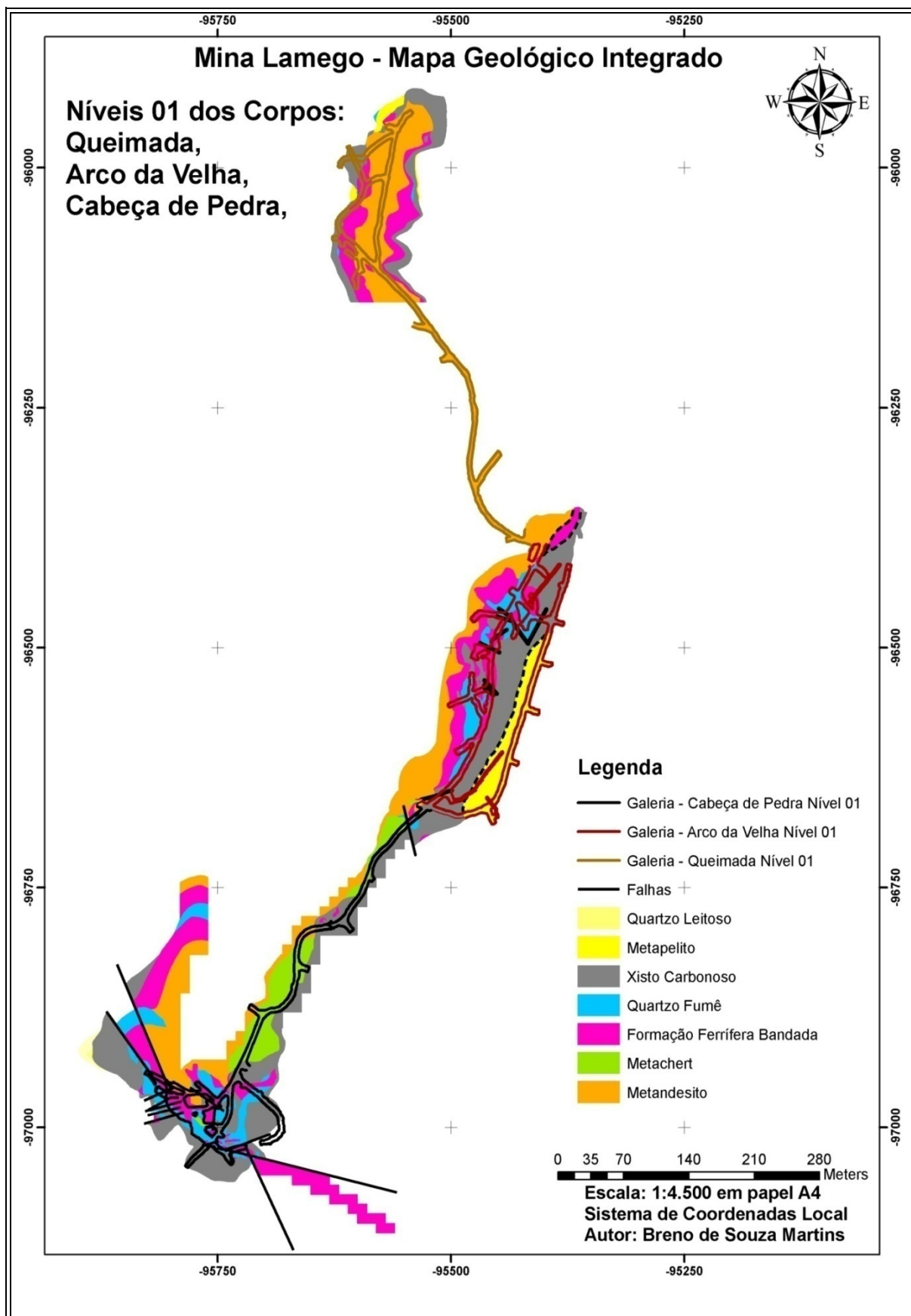
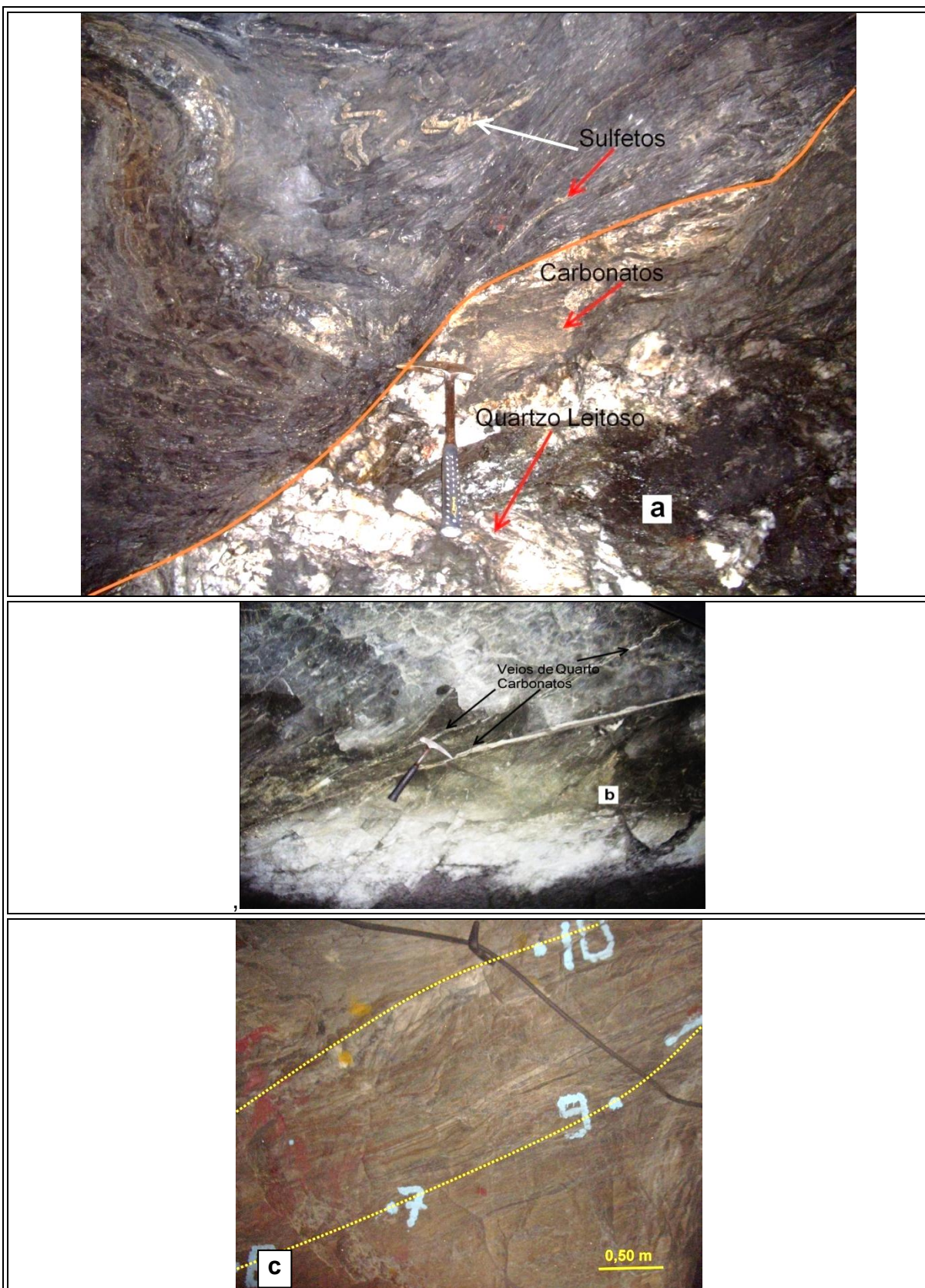


FIGURA 4.10 - Mapa geológico simplificado integrado dos corpos Queimada, Arco da Velha e Cabeça de Pedra níveis 01 no qual está evidenciado, na cor laranja, a litologia metandesito.



PRANCHA 4.1 - Fotografias do metandesito. a) de cor verde e foliada, Corpo Arco da Velha Nível 01; b) de cor verde e maciça e associado a carbonatos e quartzo leitoso, Corpo Carruagem Nível 01; c) em falha com o xisto carbonoso, Corpo Carruagem Nível 01; d) de cor cinza, foliado e em contato superior com formação ferrífera bandada, Corpo Arco da Velha Nível 01; e) de cor verde, cloritizado, foliado e associado com quartzo fumê, Corpo Carruagem Nível 01; e f) com níveis de *metachert*, Corpo Arco da Velha Nível 02.



PRANCHA 4.2 - Ocorrência de a) quartzo leitoso, carbonatos e piratas em zonas de falhas, Corpo Carruagem Nível 01, b) veio carbonato-quartzo entrecortando o metandesito, Corpo Arco da Velha Nível 02, e) Nível métrico de *metachert* dentro do metandesito, Corpo Arco da Velha Nível 02.

Ao microscópio, os metandesito exibem textura granoblástica e nematoblástica, granulação fina a média é maciças, localmente com uma massa fina de carbonato, sericita e quartzo, contendo cristais de plagioclásio subordinado atravessando vênulas de quartzo-carbonato (PRANCHA 4.3 b, c). Nestas massas finas há uma discreta orientação dos cristais fibrosos e de clorita rica em Mg.

O estudo das seções delgadas demonstrou que estas rochas são compostas por clorita (Mg e Fe, 42%), quartzo (18%), carbonato (20%), sericita (10%), plagioclásio (6%) e menores proporções de epidoto, anfibólio, turmalina, clinozoisita, piroxênio, titanita, pirita, ilmenita, calcopirita, arsenopirita, covelita, esfalerita, ouro e pirita arsenical (PRANCHA 4.3a).

Clorita ocorre em cristais anédricos a euédricos, placosos e com terminações fibrosas. Considerando as características petrográficas, sugere-se que dois tipos de clorita estão presentes, sendo uma rica em ferro e outra em magnésio. A primeira possui cor de interferência azul enquanto a segunda possui cor de interferência do marrom para o vermelho. Faixas micáceas apresentam-se pintalgadas por rutilo com raros cristais de turmalina associando-se a clorita (PRANCHA 4.8 c). A foliação desta rocha é impressa principalmente pela orientação da clorita, embora a mesma esteja localmente desarranjada (PRANCHA 4.3d).

Os cristais de quartzo são anédricos subédricos, inequigranular a equigranular com contatos irregulares. Podem estar inclusos nas cloritas e sulfetos. Em porções de veios, cristais de quartzo apresentam-se deformados, com granulação média a grossa, bordas lobadas, com finos cristais poligonais, produto de recristalização do primeiro (PRANCHA 4.4).

Carbonatos ocorrem em cristais alongados, subédricos a euédricos, de granulação média, textura poiquiloblástica e tamanhos variados. Preferencialmente estão orientados segundo a foliação e ocorrem inclusos em sulfetos, clorita e quartzo (PRANCHA 4.4).

Sericita apresenta-se em palhetas subédricas, tamanhos variados e por vezes sobre crescida por clorita. Semelhantemente à clorita pode apresentar orientação preferencial segundo a foliação (PRANCHA 4.4).

Plagioclásio possui granulação fina a média, e é predominantemente subédrico, raramente apresenta-se maclado e pode estar saussuritizado (PRANCHA 4.3 b, c).

Cristais de titanita disseminados apresentam-se subédricos a euédricos, em tamanhos variados. Epidoto é subédrico e ocorre sobre crescido em sericita e clorita (PRANCHA 4.3 e). Já os poucos cristais de turmalina são anédricos a subédricos, facetados e sobre crescido na matriz.

Pirita é anédrica a subédrica, comumente associada a agregados de quartzo e carbonatos (PRANCHA 4.5), pode apresentar-se arsenical e formando arsenopirita, que ocorre subédrica a euédrica, em cristais grossos, com hábito de pirita, fragmentada/interrompida e com preenchimento de quartzo-carbonato (PRANCHA 4.6 a, b)

Ambos, pirita e arsenopirita, são porosos, exibem zoneamento definido por partes mais e menos porosas, mas comparativamente pirita tende a ser mais porosa do que arsenopirita (PRANCHA 4.6 c, d). Pirrotita é anédrica, de granulação fina a média, e associada a veios de quartzo-carbonato.

Raramente covelita ocorre associada a calcopirita e, em contato com agregados de pirita. (PRANCHA 4.5)

Em porções constituídas por rocha foliada, finos cristais de carbonato e sericita circundam sigmóides e/ou agregados oclares formados por sulfetos, entre eles, pirita, arsenopirita, pirrotita e esfalerita (PRANCHA 4.6 c, d). Nestas rochas mais

foliadas, franjas de quartzo ocorrem paralelas à foliação e próximo a cristais de carbonato, resultando em uma textura anastomosada (PRANCHA 4.6 e, f).

Microvênulas, ora ricas em quartzo ora ricas em carbonatos, descontínuas e subparalelas à foliação incipiente, também estão presentes e podem, localmente, estar boudinadas, alongadas e ocorrer com agregados de epidoto, clorita de magnésio, pirita e franja de quartzo (PRANCHA 4.7 a, b).

Ocorrem também faixas crenuladas e dobras marcadas por sericita e clorita, com grande número de veios de quartzo-carbonato e sulfeto, nos quais se formam franjas de quartzo e sulfetos que podem estar alongados segundo a foliação (PRANCHA 4.8 a, b).

Cristais oclares de carbonato e faixas irregulares de sulfetos (pirita e arsenopirita) com franjas de quartzo ocorrem paralelos à foliação sendo que, localmente, as franjas podem estar ou não rotacionadas (PRANCHA 4.6a, b).

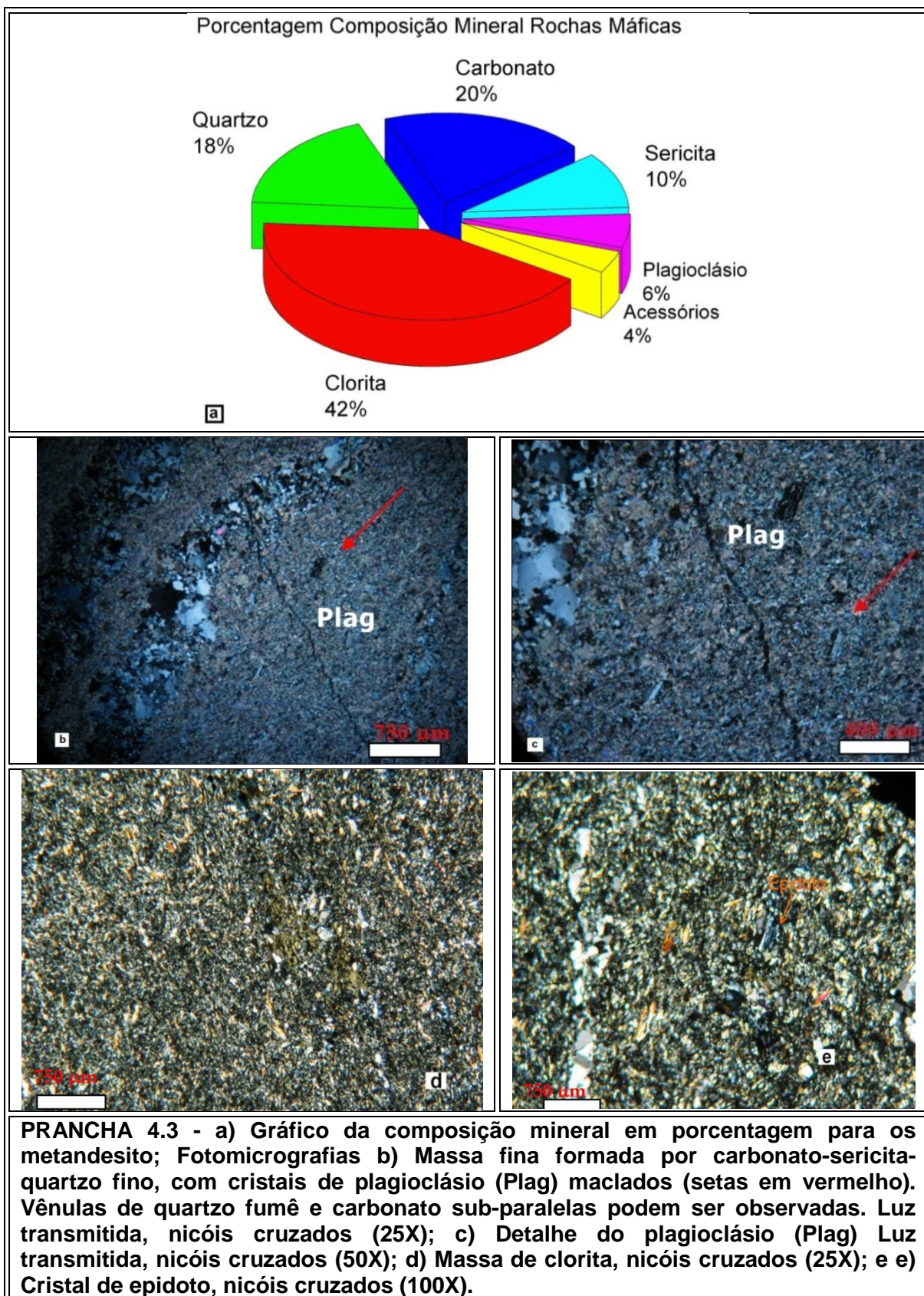
Em bordas de mica-clorita orientadas segundo a foliação, a ocorrência de pirrotita é comum. Ocorrem, subordinamente, pirrotita e esfalerita em aparente equilíbrio textural (PRANCHA 4.7c), associadas a carbonatos em franjas/sigmóide.

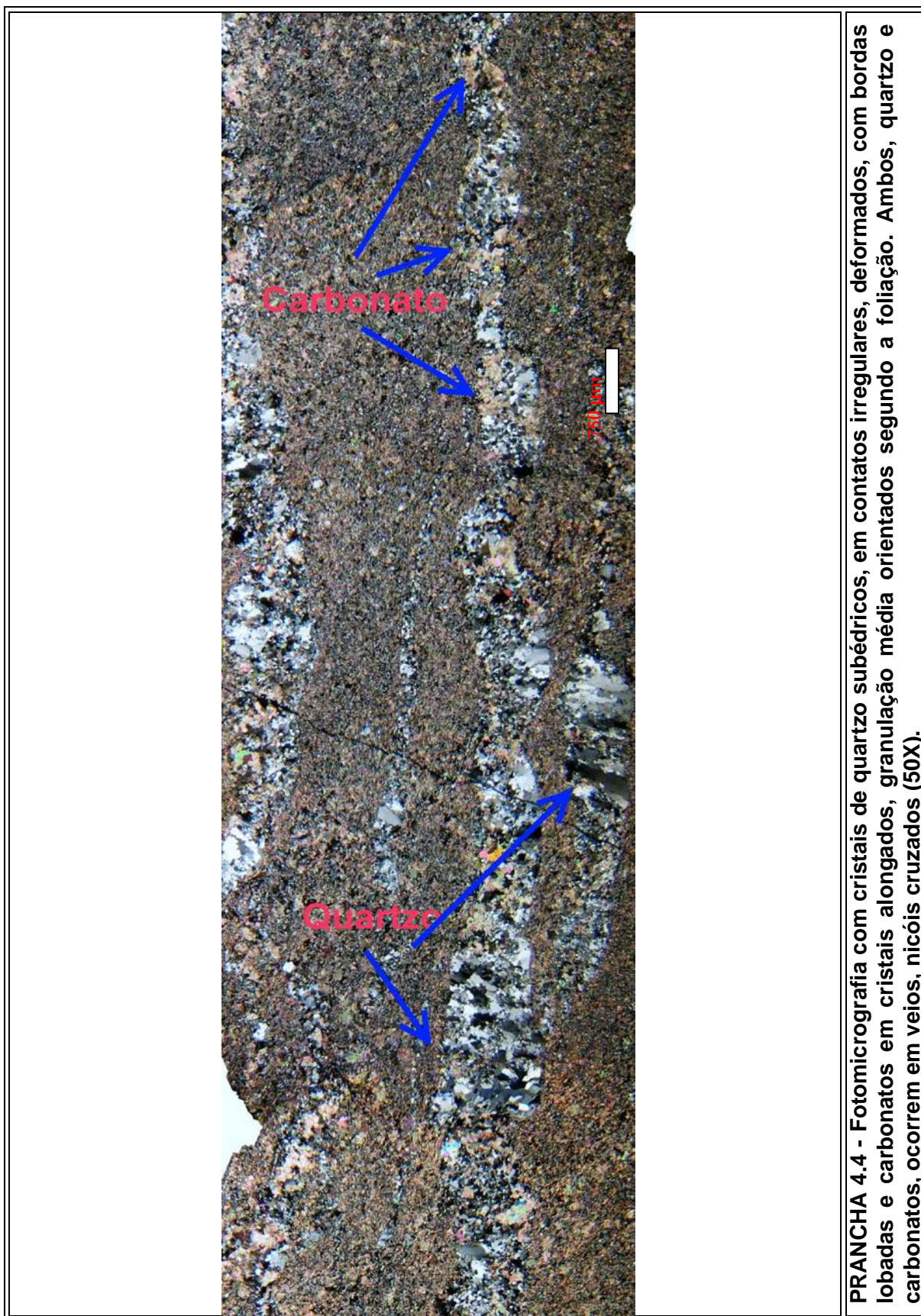
A alteração hidrotermal dessas rochas é representada por cloritização, carbonatação, sericitização e silicificação. Onde rochas metabasálticas estão fortemente alteradas a carbonato e quartzo, a alteração carbonática ocorre de forma disseminada e arsenopirita sobre cresce cristais de carbonato (PRANCHA 4.8 e, f).

Clorita (rica em Mg) tende a ocorrer tardiamente em relação ao quartzo, sendo que quartzo deformado ocorre junto com carbonatos grossos (PRANCHA 4.8 d).

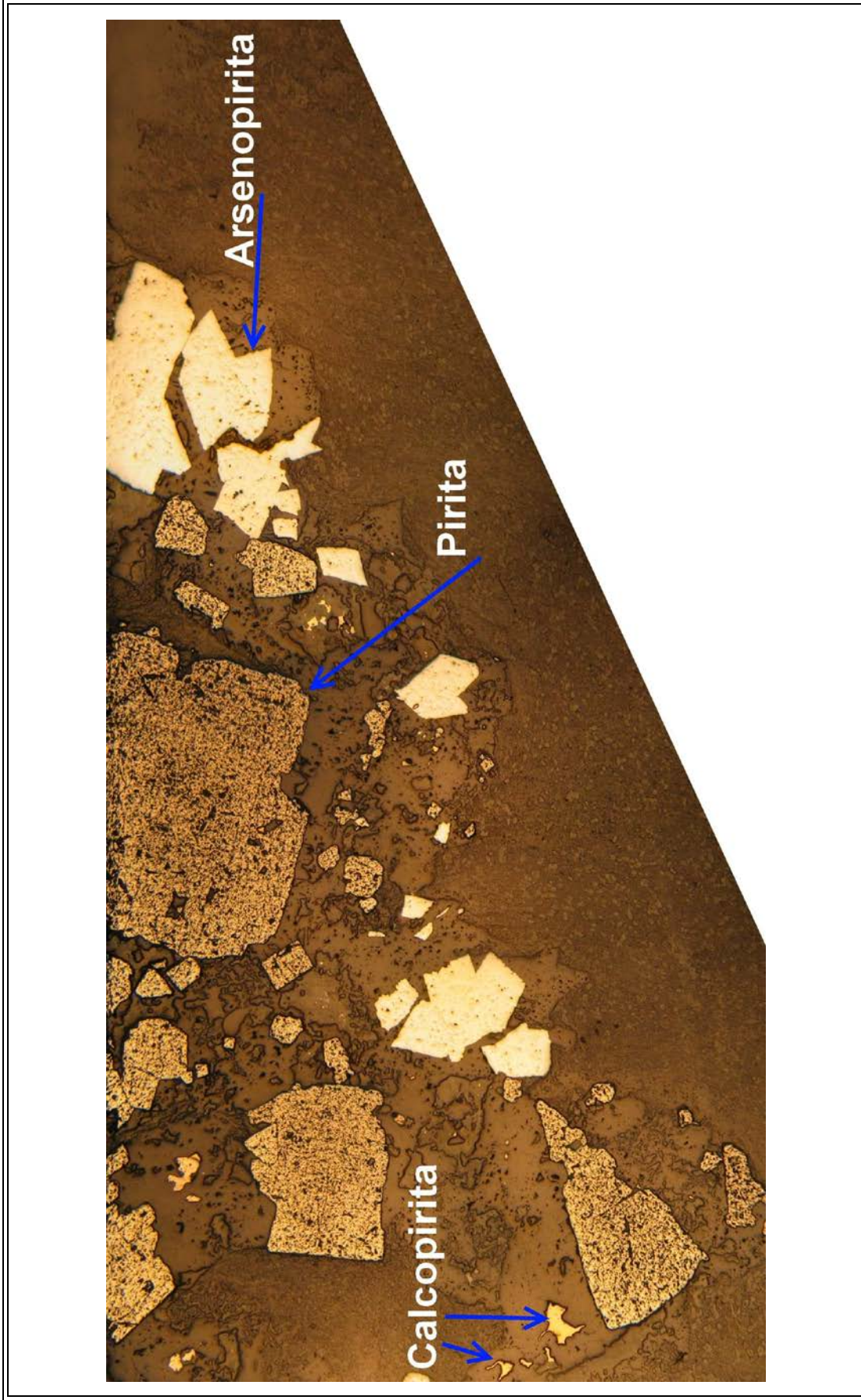
Carbonatos ocorrem como produto de alteração da clorita; plagioclásio também pode estar alterado a carbonatos.

Covelita e calcopirita estão ambas alteradas para malaquita (PRANCHA 4.7 d). Este último tipo de alteração ocorre em porções de veio, que apresentam carbonatos e quartzo mais grossos, com carbonato adentrando a rocha a partir destas porções (PRANCHA 4.7e).

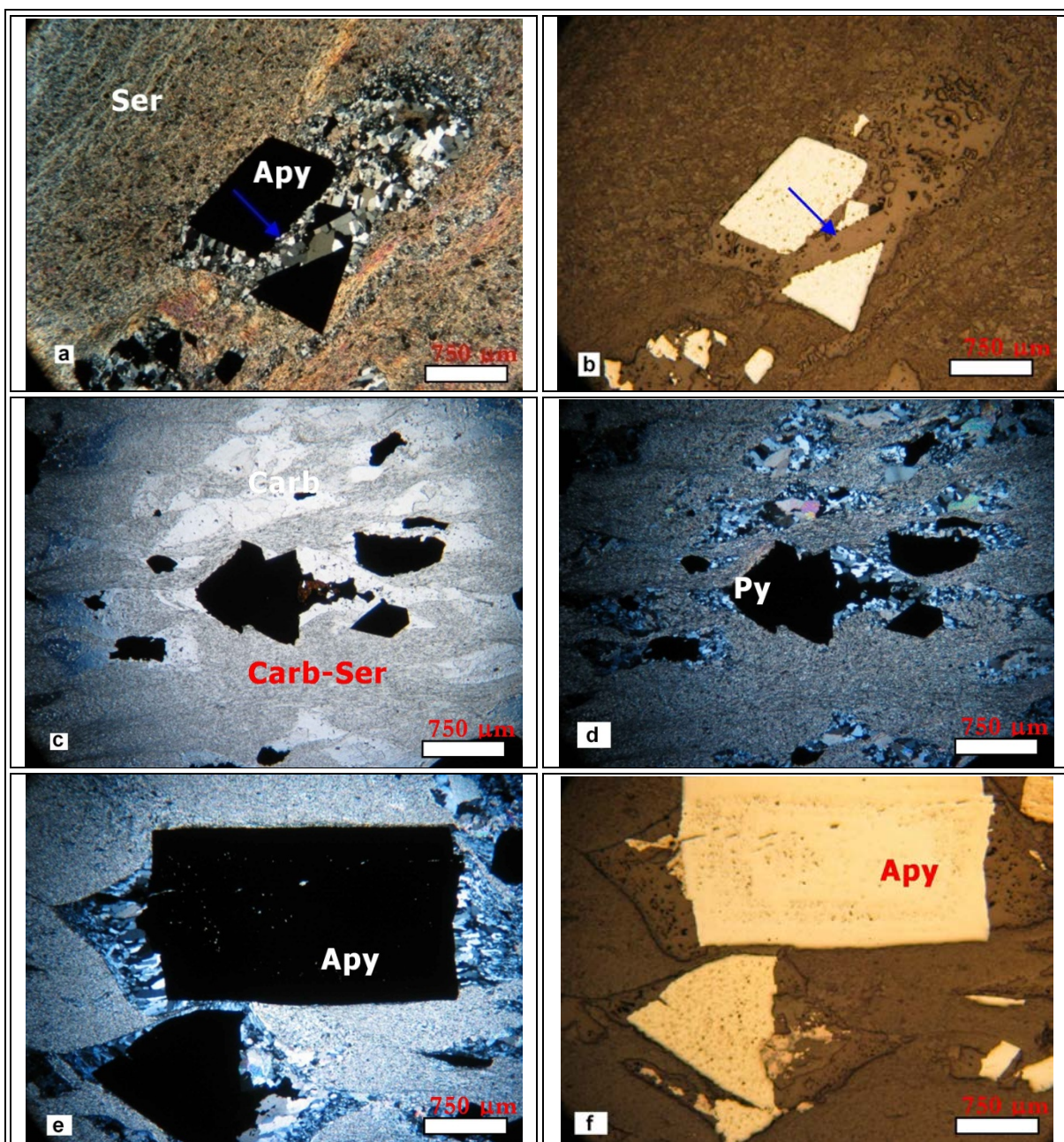




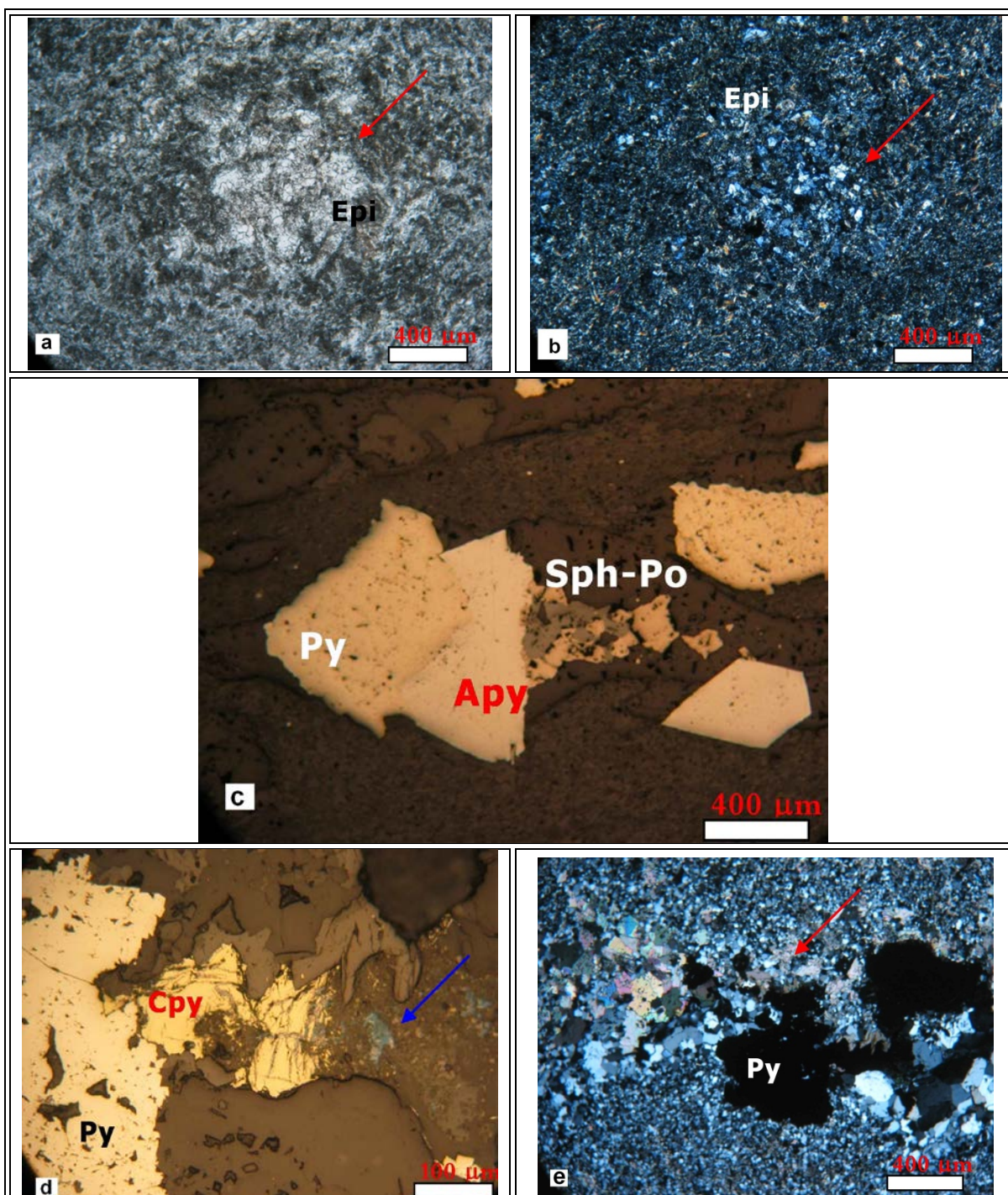
PRANCHA 4.4 - Fotomicrografia com cristais de quartzo subédricos, em contatos irregulares, deformados, com bordas lobadas e carbonatos em cristais alongados, granulação média orientados segundo a foliação. Ambos, quartzo e carbonatos, ocorrem em veios, nicóis cruzados (50X).



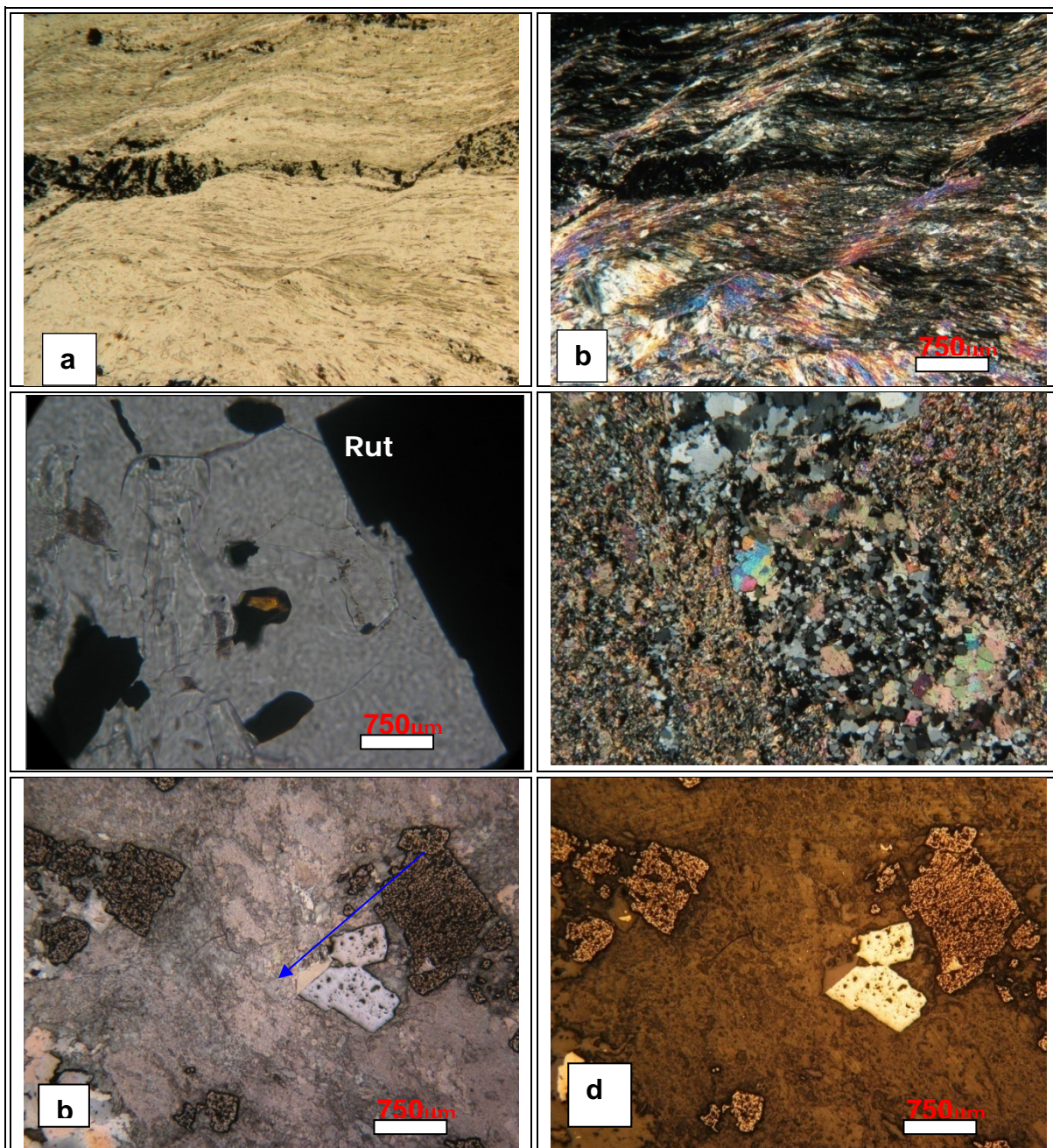
PRANCHA 4.5 - Fotomicrografia com cristais de pirita subédrica a euédrica, porosa e associada a agregados de quartzo; arsenopirita subédrica a euédrica e com cristais grossos; calcopirita fina, anédrica e associado a massas de quartzo.



PRANCHA 4.6 - Fotomicrografias a) Cristal euédrico de arsenopirita (Apy) rompido por quartzo (Qtz) em xisto. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); b) Cristal euédrico de arsenopirita (Apy) rompido por quartzo (Qtz) em xisto. Luz refletida, nicóis cruzados (25X); c) Cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf). Luz transmitida, nicóis cruzados; d) Cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf), e luz refletida (25X); e) Cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf). Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); f) Cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf), luz refletida (25X).



PRANCHA 4.7 - Fotomicrografias a) Massa fina de clorita-epidoto-quartzo-anfibólio e agregado de cristais finos de epidoto em metabasalto cloritizado. Luz transmitida, nicóis descruzados (50X); b) Massa fina de clorita-epidoto-quartzo-anfibólio e agregado de cristais finos de epidoto em metabasalto cloritizado. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X); c) cristal de arsenopirita (Apy) zonado, com partes mais e menos porosas, e franjas de quartzo (Qtz) e sulfetos (Sulf). Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X); d) Detalhe mostrando pirita (Py) e calcopirita (Cpy), esta última alterada a malaquita, e relicto de covelita (Cov-seta). Luz refletida (200X); e) Massa fina de quartzo (Qtz) e carbonato (Carb), com porções irregulares de carbonato pouco mais grosso. Notar que carbonato parece adentrar e disseminar a rocha a partir dessa porção. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X).



PRANCHA 4.8 - Fotomicrografias a) Faixas crenuladas e dobradas marcadas por sericita e clorita. Luz transmitida, nicóis paralelos, (50X); b) Faixas crenuladas e dobradas marcadas por sericita e clorita. Luz transmitida, nicóis cruzados, (50X); c) Detalhe mostrando cristal de rutilo (seta azul) Luz transmitida, nicóis descruzados (50X); d) Quartzo tardio em relação a carbonato. Luz transmitida, nicóis cruzados, (50X); e) Arsenopirita sobrecrecendo cristais de carbonato. Luz refletida, nicóis descruzados (25X); f) Arsenopirita sobrecrecendo cristais de carbonato. Luz refletida, nicóis cruzados (25X);

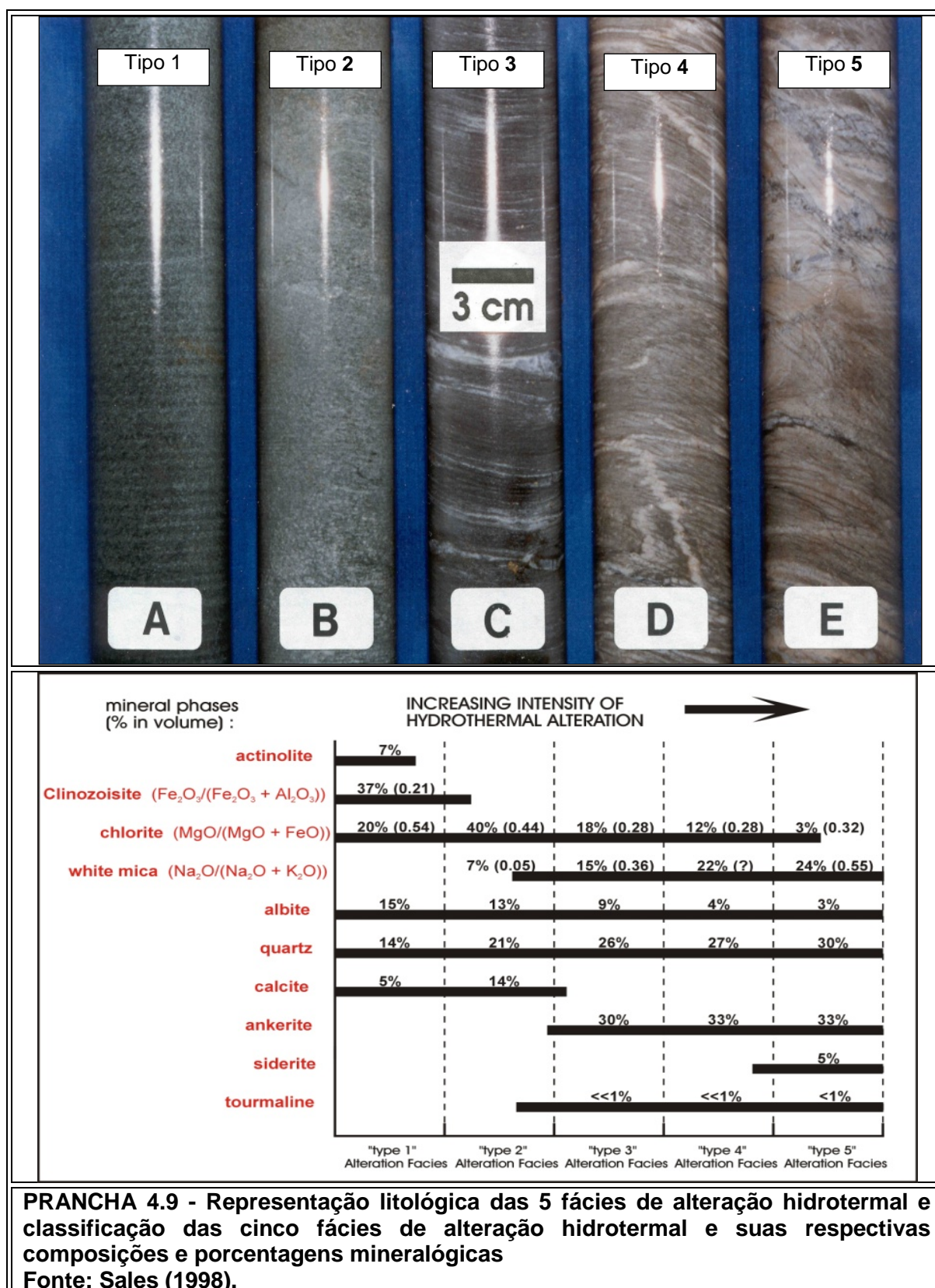
Trabalhos anteriores de litogeoquímica e petrografia nos metandesitos dos depósitos Cuiabá e Lamego foram realizados respectivamente por Vieira (1992) e Sales (1998). Este último as nomeou de Unidade Vulcânica e propôs uma classificação baseada na observação visual (porcentagem em volume) dos principais minerais, ao comparar seus resultados com os de Vieira (1992).

De acordo com Vieira (1992) e Sales (1998), as rochas básicas são subdivididas em cinco fácies de alteração hidrotermal (PRANCHA 4.9). A rocha básica menos alterada é um metabasalto (fácies tipo 1 da PRANCHA 4.9). Apresenta grão muito fino (até 90 microns), é fracamente foliado, localmente constituindo xistos verde-acinzentados, contendo epidoto, clorita, albita, quartzo, actinolita e calcita. São rochas geralmente maciças e comumente "manchadas" por finos cristais de calcita de cor branco-creme. Com o aumento da intensidade de alteração hidrotermal, essas rochas dão lugar à clorita-quartzo-calcita (\pm mica branca) xistos (fácies tipo 2 da PRANCHA 4.9). Tem grão fino, em geral <90 microns, foliados, cor verde, composto essencialmente por clorita, quartzo, calcita e albita. Algumas diferenças entre os tipos 1 e 2 são apresentadas por Sales (1998):

- ✓ Rochas típicas de alteração tipo 2 não contêm epidoto-clinozoizita ou actinolita e contêm mais clorita e calcita do que os litotipos da fácies de alteração tipo 1.
- ✓ Mica branca não ocorre em fácies de alteração do tipo 1, mas podem estar presente em pequenas quantidades nas fácies de alteração tipo 2.

Os moscovitas xistos (fácies tipos 3 e 4 da PRANCHA 4.9), com quantidades variadas de clorita, ankerita e albita, são as rochas visivelmente mais claras de todo o conjunto. São fortemente foliadas, de grão muito fino (até 100-120 microns), cinza-esverdeados ou verde-beges, compostos essencialmente por ankerita, quartzo, mica branca, clorita e albita (SALES, 1998). Os moscovitas xistos podem ser diferenciados por tipos mais ou menos ricos em clorita. Os ankerita-quartzo-siderita xistos (fácies tipo 5 da PRANCHA 4.9) constituem os tipos rochosos mais fortemente alterados hidrotermalmente da Unidade Vulcânica. Eles são de grão muito fino (até 80-100 microns), moderadamente foliado. São xistos cinzentos de cor

bege (claro) contendo minerais carbonáticos (até 40% em volume), quartzo (30%), mica branca (24%), com pouca ou nenhuma clorita.



4.4 *Metachert*

O *metachert* é uma rocha escura, bandada, que ocorre em horizontes estratigráficos descontínuos e cuja espessura pode atingir até 5 metros.

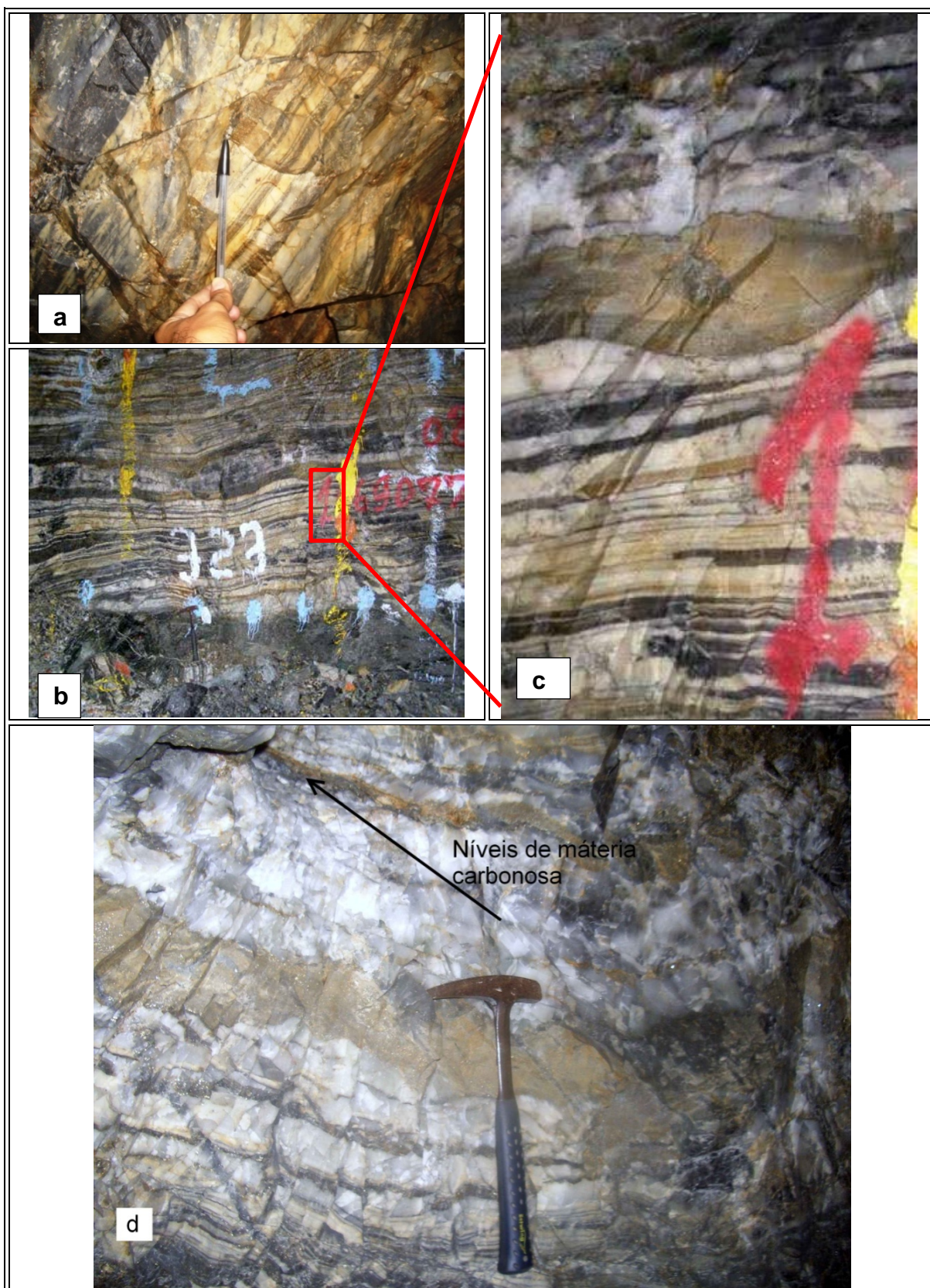
Semelhante ao que ocorre com a formação ferrífera bandada, descrita na seção 4.5 do presente capítulo, o *metachert* não está presente em todo o Depósito Lamego, podendo ser representado por uma camada com menos de um metro. Sua ocorrência limita-se aos corpos:

- ✓ Arco da Velha, na porção sul, rampa ascendente do Nível 02 do mesmo corpo,
- ✓ Em toda a extensão da galeria de acesso do Corpo Cabeça de Pedra Nível 01 (PRANCHA 4.10 a);
- ✓ Arco da Velha Nível 02 (PRANCHA 4.10 b);
- ✓ Queimada Nível 01, em menor proporção.

Vale ressaltar que parte significativa dos afloramentos, mapeados no passado, e de testemunhos de sondagem, antigamente descritos como FFB, consistem de fato em *metachert*, em geral ferruginoso e/ou carbonoso.

O *metachert* varia entre *metachert* carbonático, recristalizado ou não, *metachert* venulado, sulfetado ou não, passando ainda a *metachert* micro-bandado ferruginoso, caracterizando assim três tipos principais entremeados entre si.

Em escala de afloramento, estas rochas são compostas essencialmente por quartzo e quantidades menores de carbonato e pirita como mineral acessório (PRANCHA 4.10 a, b, c). Localmente podem apresentar um nível muito fino, menor que 2 cm, de xisto carbonoso, especificamente no corpo Arco da Velha Nível 02 e no qual não foi possível cartografá-lo em virtude da escala.



PRANCHA 4.10 - *Metachert* a) exibindo carbonato e pirita como mineral acessório, Corpo Arco da Velha Nível 02; b) Afloramento de *metachert* ferruginoso e carbonoso, bandado, Corpo Arco da Velha, Nível 02, c) detalhe do bandamento do *metachert*, Corpo Arco da Velha Nível 02 e, d) níveis de matéria carbonosa no *chert*, Corpo Cabeça de Pedra Nível 01.

Em lâmina, o *metachert* apresenta-se bandado com textura predominantemente granoblástica para as bandas de *chert* e subordinadamente nematoblástica para bandas de matéria carbonosa; possuem granulação fina a média e são maciços.

Ao microscópio os minerais observados são quartzo (85%), carbonatos (10%), clorita, sericita, cloritóide, rutilo, pirita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, pirrotita, pirita arsenical e com estes últimos perfazendo 5% além de matéria carbonosa (PRANCHA 4.11 a).

O quartzo predomina como cristais de granulação fina, anédricos a subédricos, inequigranulares a equigranulares, com contatos poligonais que caracteriza um *chert* recristalizado. Localmente apresenta-se interposto com sericita e pode estar incluso em sulfeto ou em porções de veios (PRANCHA 4.11 b, c).

Cristais de carbonato podem atingir até 4 mm. Dois tipos são descritos:

- (i) um fino e sujo, manchado e impregnado por fina poeira escura, aparentemente original (PRANCHA 4.11 e).;
- (ii) outro mais grosso, límpido, interpretado como de origem hidrotermal e comumente associado com quartzo poligonal (PRANCHA 4.11 e). Subordinadamente ocorrem faixas espessas nas quais se misturam os dois tipos de carbonato (PRANCHA 4.11 e).

Subordinadamente ocorrem cristais de clorita, anédricos a subédricos, com predomínio de clorita de Fe. Sericita apresenta-se em uma massa irregular, de aspecto fibroso, predominantemente marrom e mesclada com matéria carbonosa, ambas orientadas segundo o bandamento (PRANCHA 4.11 d), que está localmente crenulado.

Cloritóide ocorre como cristais alongados, de hábito lamelar, localmente radial, subédrico, com granulação fina e cor de interferência azul (PRANCHA 4.12 a, PRANCHA 4.13).

Pirita possui granulação média a grossa, é porosa, subédrica e poiquiloblástica (PRANCHA 4.12 b), podendo apresentar-se arsenical, com inclusões de carbonato. Pirita euédrica, de granulação fina, tende a formar-se junto com quartzo poligonal.

A arsenopirita ocorre fina, euédrica associada com pirita mais grossa e porosa (PRANCHA 4.12 b), em cristais orientados segundo faixa de clorita, matéria carbonosa e formando à custa de carbonato manchado (PRANCHA 4.12 c, d)

Pirrotita é alongada paralelamente às faixas ricas em carbonato muito fino, enquanto cristais alongados de magnetita euédrica estão associados a trilhas descontínuas ricas em *chert* recristalizado. Também ocorrem esfalerita e calcopirita, que são raras, e estão associadas em faixas de carbonato fino e em veios (PRANCHA 4.17 e).

O bandamento apresenta-se com intercalações de bandas:

- (i) ricas em *chert* recristalizado (PRANCHA 4.14 a,b);
- (ii) de carbonato-sulfeto-quartzo com matéria carbonosa (PRANCHA 4.14 a,b) na qual é observado cloritóide radial (PRANCHA 4.15a).

Localmente ocorrem veios-vênulas de:

- (i) quartzo, sulfeto e carbonato paralelos e discordantes do bandamento (PRANCHA 4.15 b, c, d).
- (ii) carbonato, discordante do bandamento, e localmente intrabanda, caracterizando uma textura *stockwork* (PRANCHA 4.16 a, b).

Ocorrem inúmeras porções de veios compostos por pirita e franjas de quartzo, nas quais clorita (rica em Fe) pode estar associada. Veios aparentemente tardios, de quartzo-carbonato-pirita, interrompem estes outros veios caracterizando uma textura em pente (PRANCHA 4.16 c, d, e, f).

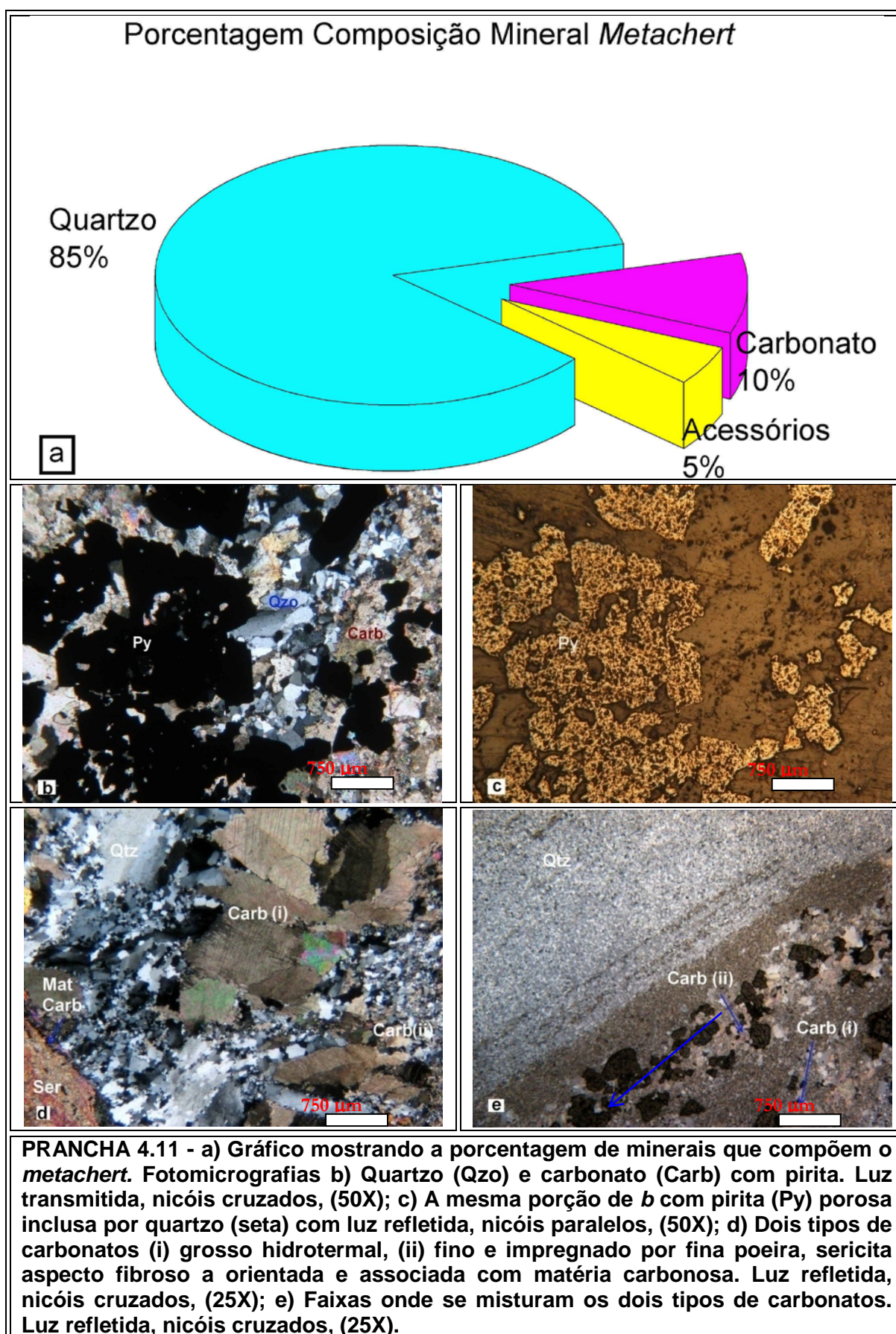
Entre as feições reliquias é possível citar a presença de bandamento original preservado na proximidade de veios, sendo estes “invadidos” por quartzo e a presença de quartzo vulcânico (PRANCHA 4.17a).

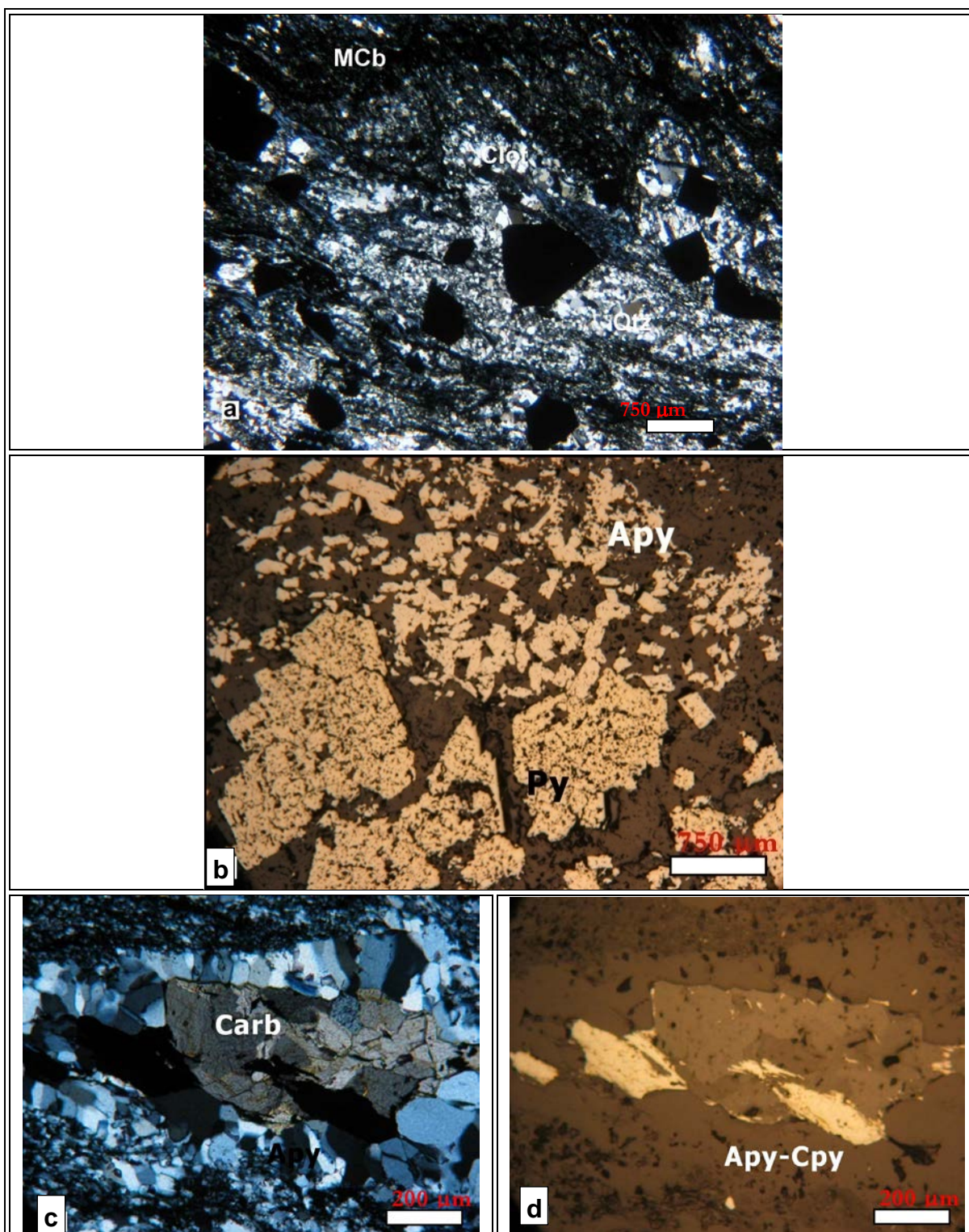
Faixas que contêm sericita, matéria carbonosa, pirita fina com porções de quartzo e carbonato podem conter faixas piritosas, aparentemente originais dessas rochas, além da presença de pirita autigênica recristalizada (PRANCHA 4.18).

Entre os tipos de alteração observados destacam-se:

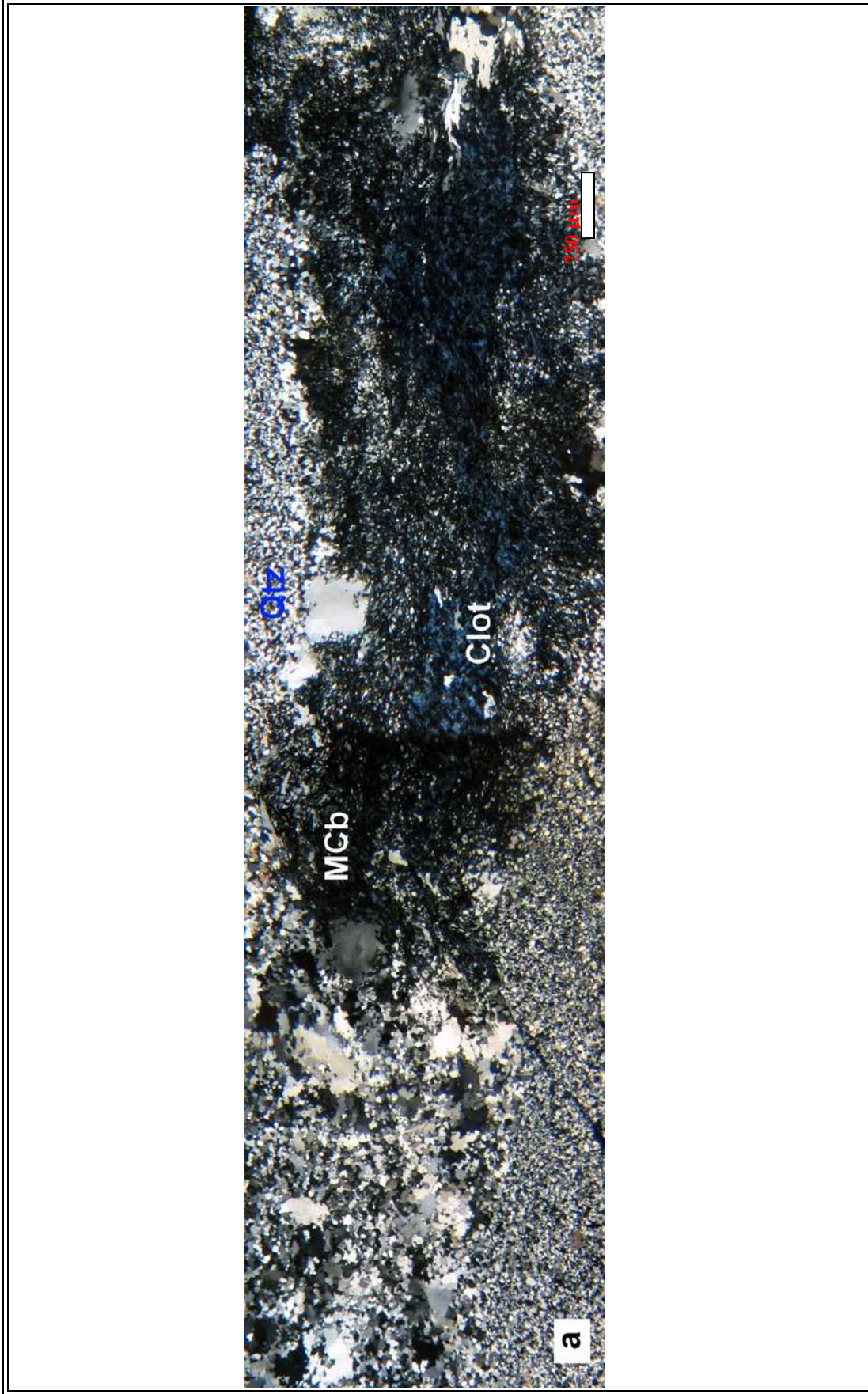
- ✓ Silicificação:
 - Presença de quartzo deformado e de bordas lobadas (fumê).
 - Veios de quartzo deformado isentos de opacos com algum carbonato associado.
 - Veios de quartzo fumê discordantes do bandamento contendo cristais de quartzo deformados que exibem bordas lobadas, com intensa formação de sub-grãos (PRANCHA 4.17 b), com algum carbonato associado às bordas.
 - Quartzo da rocha e quartzo produto de recristalização de quartzo fumê (PRANCHA 4.17 a, b) que são de difícil diferenciação.

- ✓ Sulfetação, que é tardia, pós carbonatação:
 - Pirita e, raramente, arsenopirita crescem à custa de pirrotita, e esta parece se formar a partir de carbonato manchado.
 - Esfalerita fina e pirita ocorrem em borda de carbonato (PRANCHA 4.17 d, e).

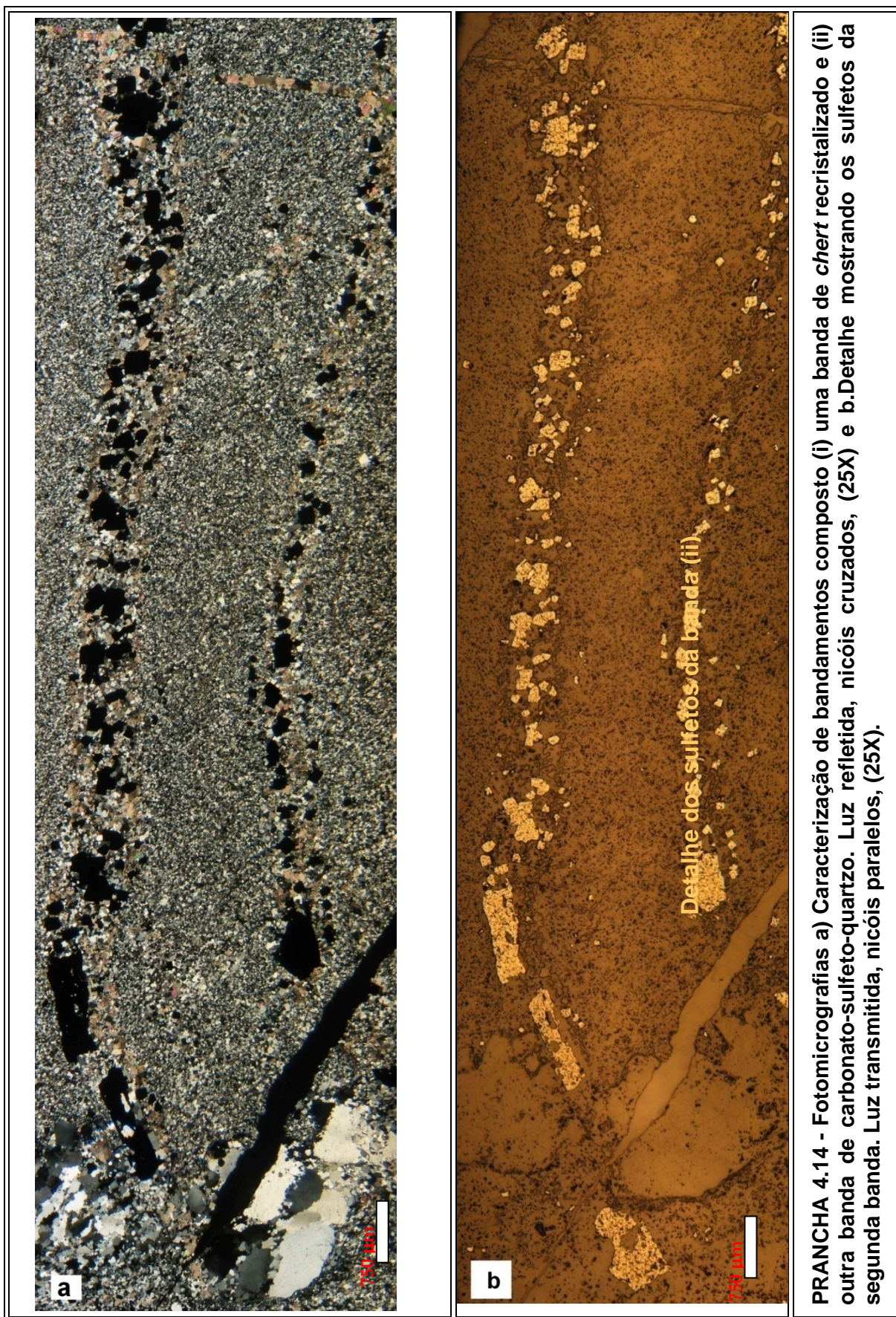




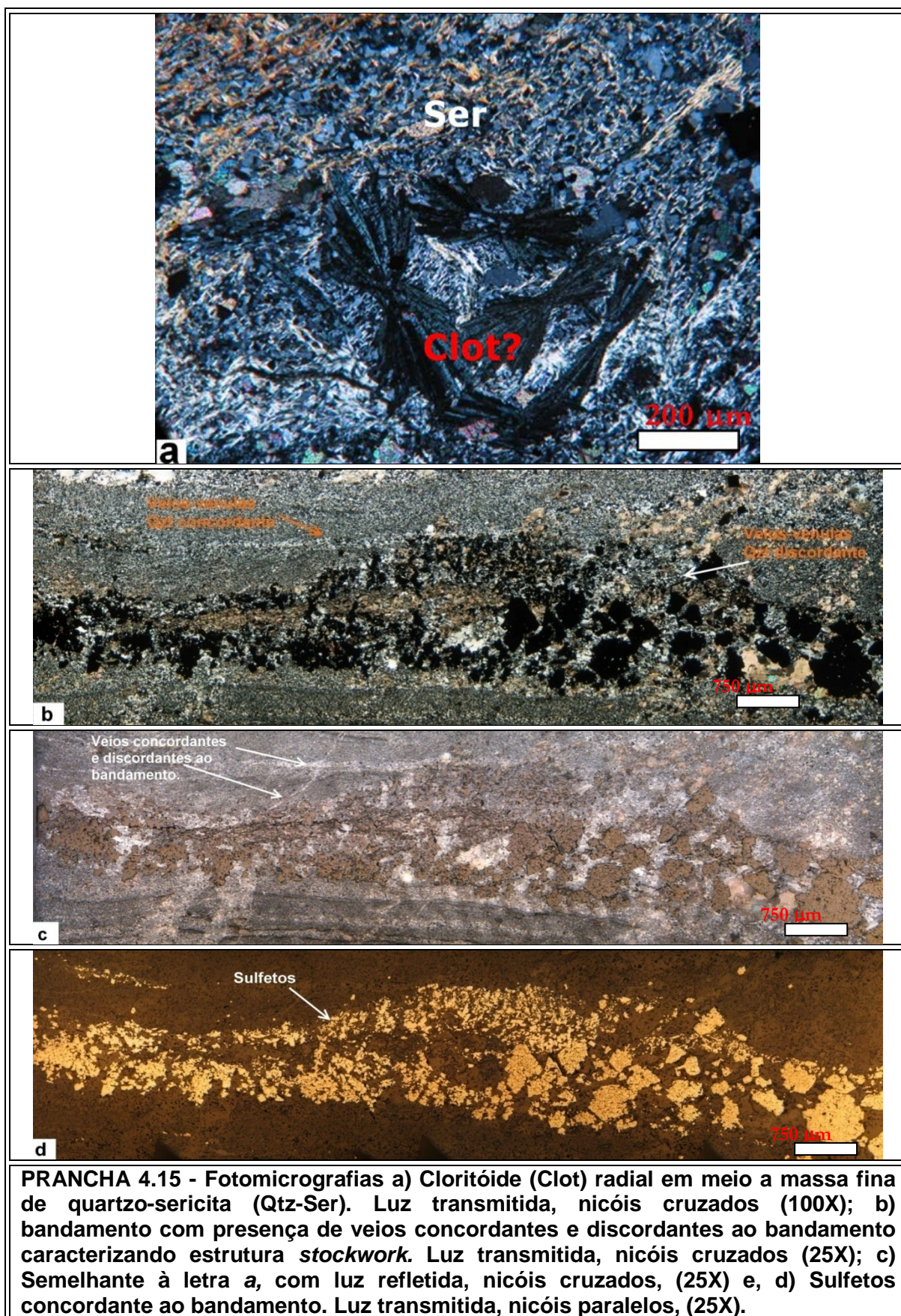
PRANCHA 4.12 - Fotomicrografias a) Detalhe do cloritóide (Clot) em habito prismático e associado a quartzo. Luz transmitida, nicóis cruzados; b) Detalhe mostrando cristais porosos de pirita (Py) e cristais finos euédricos de arsenopirita (Apy). Luz refletida, nicóis paralelos (100X). c) Carbonato (Carb) manchado em *vug*. Observe cristais de quartzo (Qtz) com textura em pente. Luz transmitida, nicóis cruzados (100X); d) Arsenopirita (Apy) e calcopirita (Cpy) parecem se formar a custa de carbonato (Carb) manchado em *vug*. Luz refletida (100X).

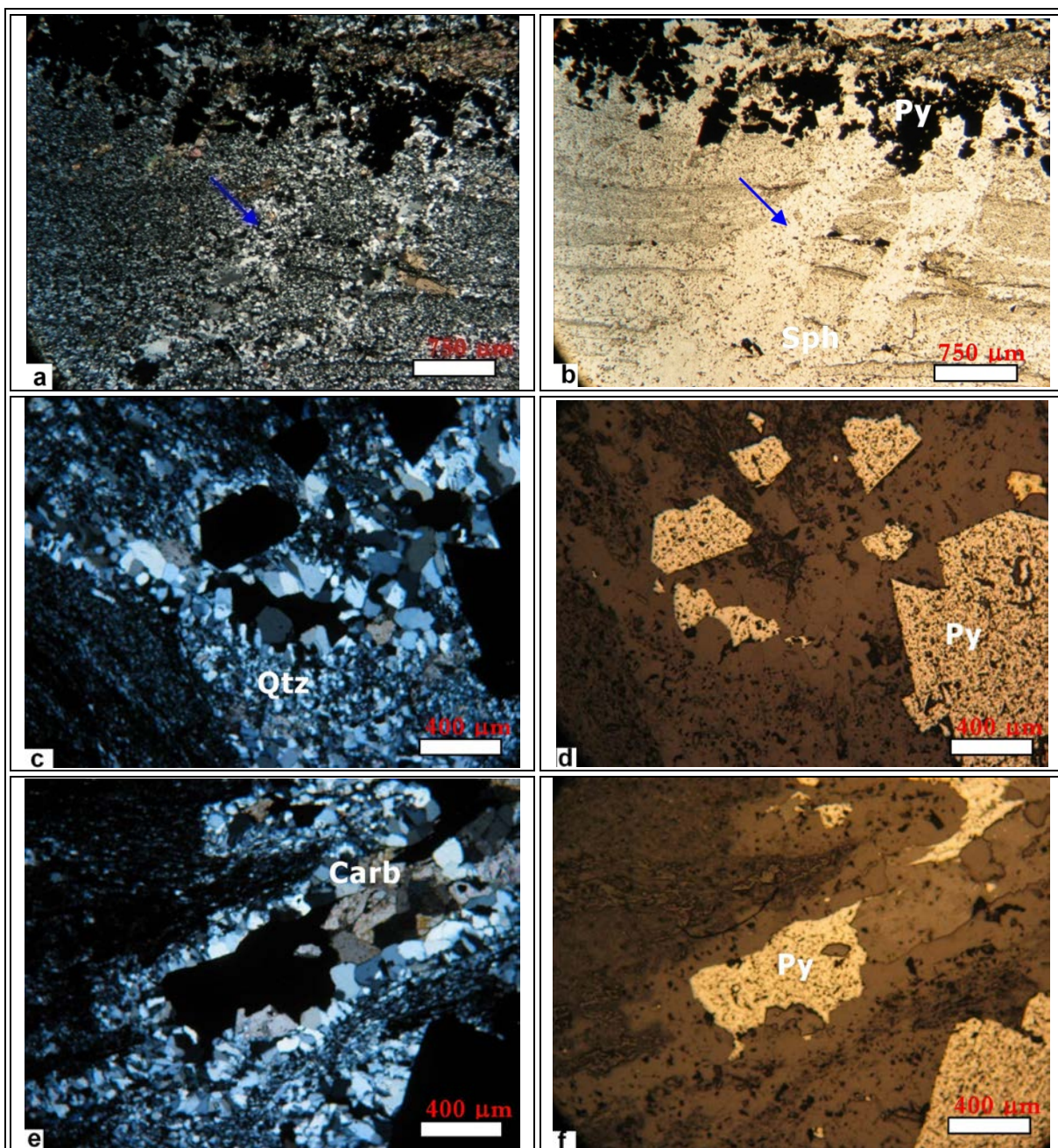


PRANCHIA 4.13 - Fotomicrografia a) Cloritóide (Clot) associada com matéria carbonosa (MCb) e quartzo (Qtz). Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X);

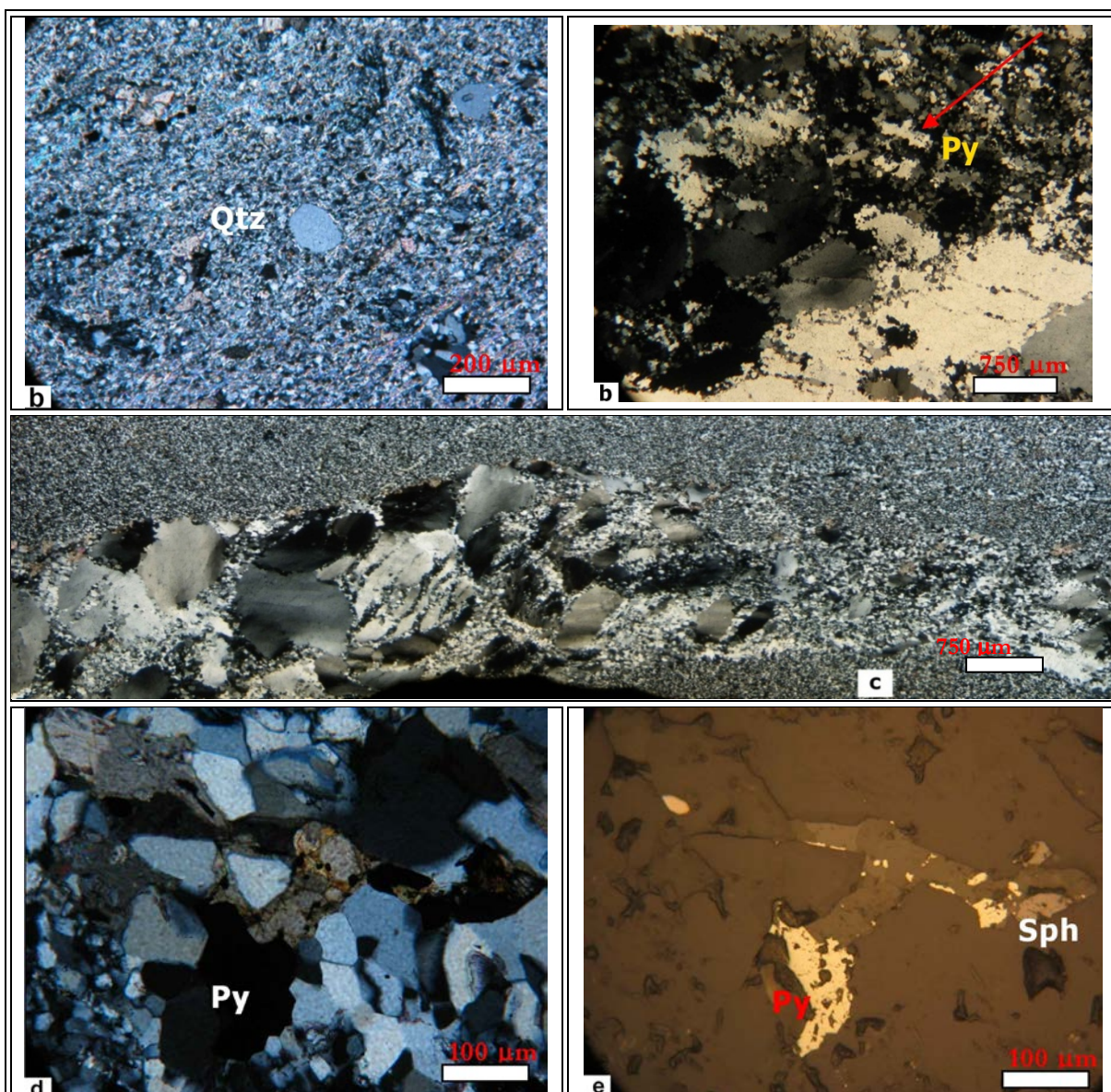


PRANCHA 4.14 - Fotomicrografias a) Caracterização de bandamentos composto (i) uma banda de *chert* recristalizado e (ii) outra banda de carbonato-sulfeto-quartzo. Luz refletida, nicóis cruzados, (25X) e b. Detalhe mostrando os sulfetos da segunda banda. Luz transmitida, nicóis paralelos, (25X).

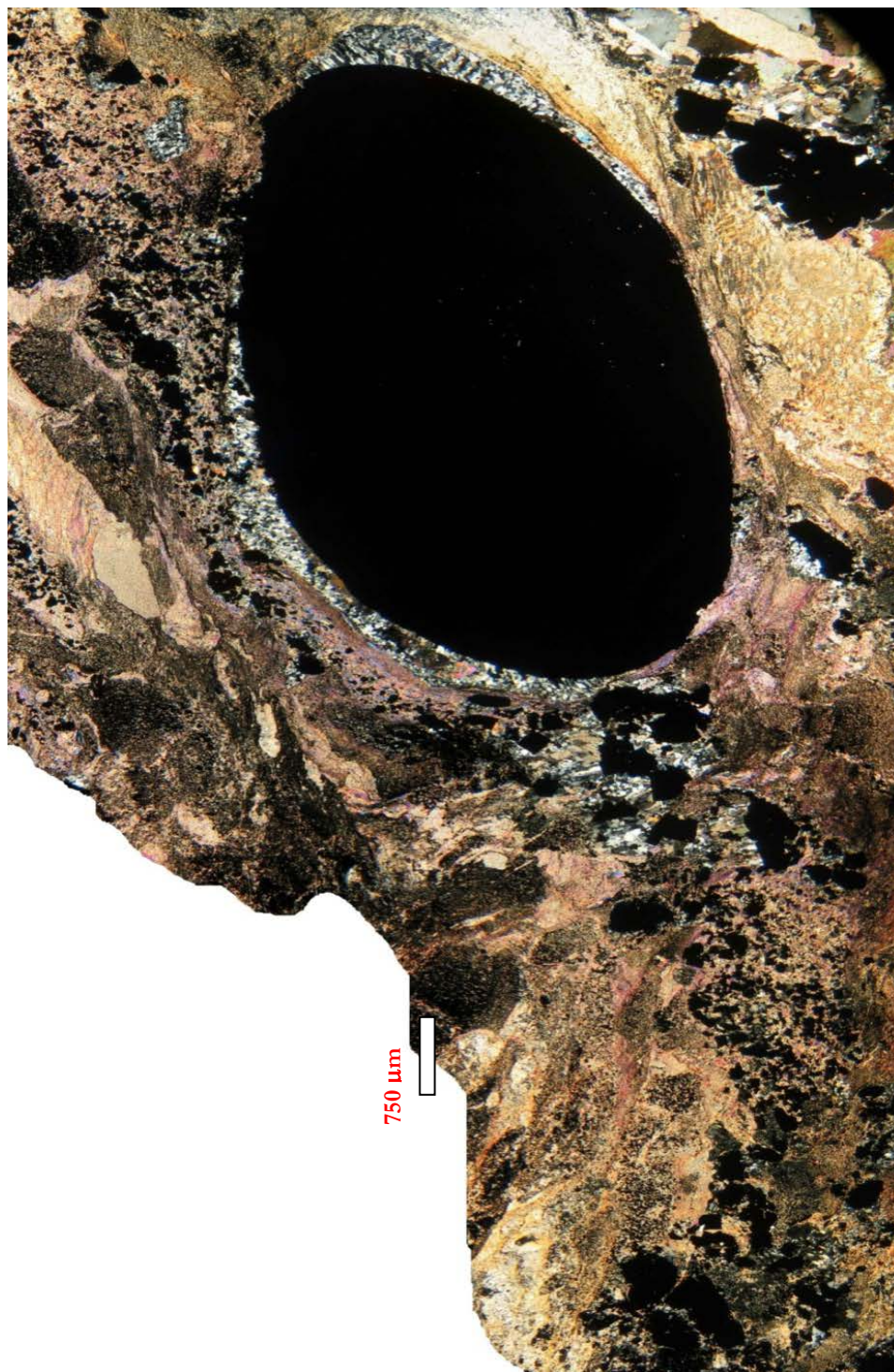




PRANCHA 4.16 - Fotomicrografias a) Microbandamento de matéria carbonosa (Mat Cb) e quartzo (Qtz) e banda rica em sulfetos com vênulas discordantes de quartzo-carbonato (Qtz-Carb). Luz transmitida, nicóis cruzados (25X). b) Mesma porção da fotomicrografia a realçando microbandamento discordante e sulfetos são esfalerita e pirita. Luz transmitida, nicóis descruzados (25X). c) Cristais de pirita (Py) porosa em veio-*vug* de quartzo (Qtz) e carbonato (Carb). Luz transmitida, nicóis cruzados (50X). d) Pirita em veio. Luz refletida, nicóis cruzados (50X). e) Veio-*vug* preenchido por quartzo (Qtz), carbonato (Carb) manchado. Luz transmitida, nicóis cruzados, (50X). f) Pirita porosa (Py) em veio *vug*. Luz refletida, nicóis descruzados (50X).



PRANCHA 4.17 - Fotomicrografias a) Provável cristal de quartzo (Qtz) vulcânico. Luz transmitida, nicóis cruzados (100X). b) Cristais de quartzo (Qtz) deformados, com bordas lobadas e com intensa formação de subgrãos. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X). c) Veio de quartzo (Qtz) deformado e bordas lobadas. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X). d) Cristais de carbonato (Carb) manchado, com sulfetos (Sulf) associados, em meio a veio de quartzo (Qtz). Luz transmitida, nicóis cruzados (200X); e) Foto anterior mostrando cristais de esfalerita (Sph) fina, e pirita (Py) em borda de carbonato (Carb). Luz refletida (200X).



PRANCHIA 4.18 - Fotomicrografia aixas de sericita, matéria carbonosa, pirita fina com porções de quartzo e carbonato além da presença de pirita autigênica recristalizada

4.5 Formação Ferrífera Bandada

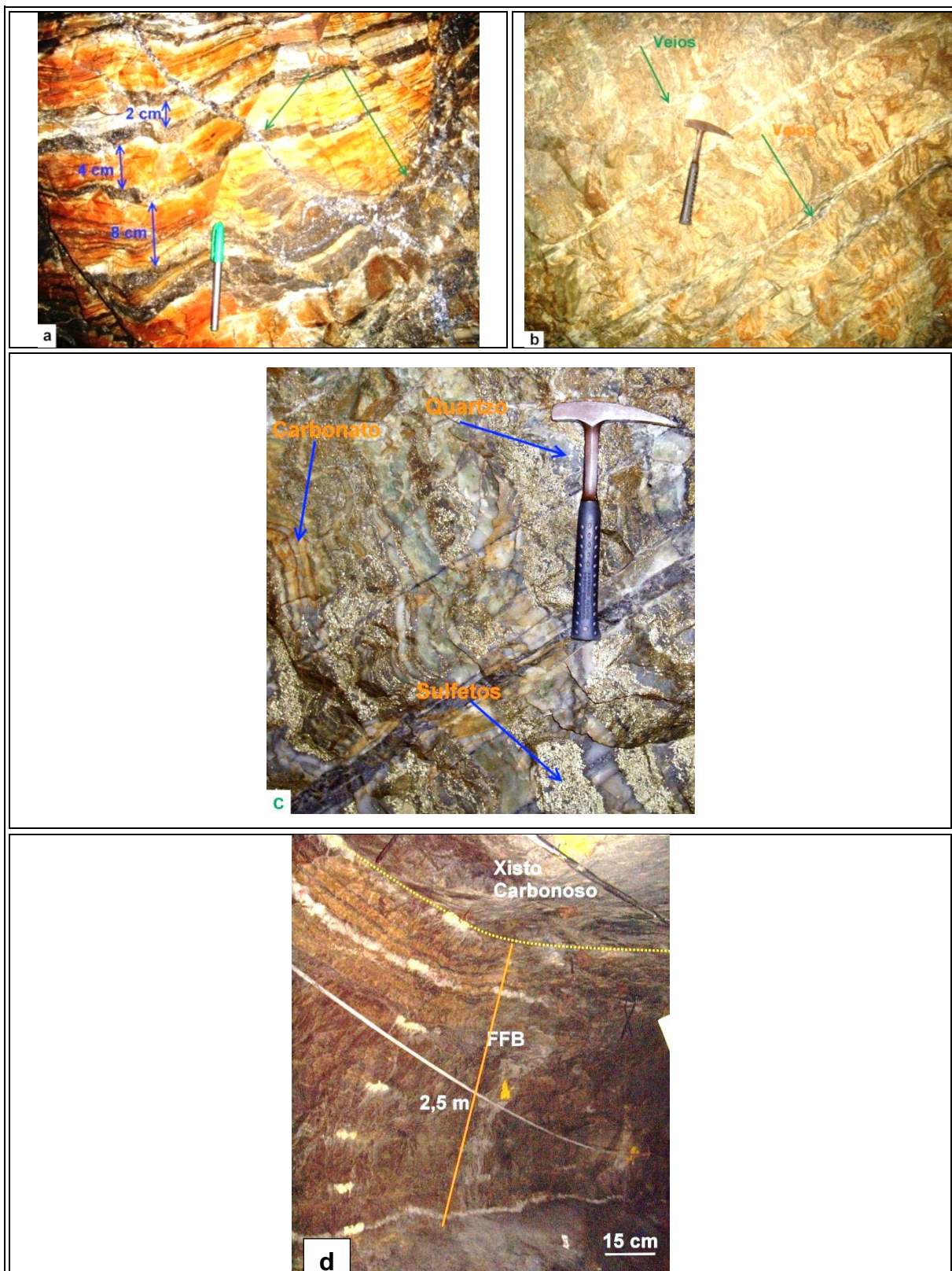
A formação ferrífera é de fácil caracterização devido ao seu aspecto ferruginoso, bandado, continuidade, e aspecto maciço (PRANCHA 4.19 a, b). Estas rochas são encontradas associadas e em contato inferior com metandesito (PRANCHA 4.1 d), mas localmente exibem contato com os *metacherts*. Formam corpos alongados, dobrados, com espessamento nas zonas de charneira (Vide Capítulo 05 seção 5.2.3), fraturas e veios diversos (PRANCHA 4.19 a, b).

A espessura é variável e, em zonas de flanco, como no Corpo Arco da Velha, podem atingir até mais de 15 metros de espessura (FIGURA 4.4 e FIGURA 4.5), enquanto em zonas de charneira, como no Corpo Cabeça de Pedra, a espessura é da ordem de 35 metros (6 e FIGURA 4.7).

A rocha possui textura granoblástica, equigranular, bandada, exibindo alternância de bandas claras e escuras com espessura variando de poucos milímetros para vários decímetros (PRANCHA 4.19 a). São compactos e constituídos por quartzo, carbonato, clorita, sulfetos e óxidos.

O bandamento apresenta-se com intercalações de bandas (PRANCHA 4.19 a, b, c):

- (i) claras constituídas por quartzo, associado subordinadamente com carbonatos (ankerita e siderita) de grão fino; e
- (ii) sulfetos, principalmente pirritas hidrotermais, magnetita e clorita. Esse bandamento é interpretado como de origem sedimentar, ou como camadas deposicionais de origem vulcanogênica-sedimentar.



PRANCHA 4.19 - a) FFB com veio cortando o bandamento e variação na espessura do mesmo, Corpo Arco da Velha Nível 01; b) FFB com veios cortando o bandamento sistematicamente caracterizando uma clivagem espaçada, Corpo Cabeça de Pedra Nível 01; c) Minerais presentes no bandamento: quartzo, carbonato e sulfetos (principalmente pirita), Corpo Cabeça de Pedra Nível 01; d) Espessura de 2,5 metros para formação ferrífera bandada, Arco da Velha Nível 01.

Ao microscópio a rocha apresenta-se com textura granolepidoblástica, granulação fina a média, fracamente foliada em níveis de clorita e bandas maciças composta por quartzo-carbonato. Há veios de composição quartzo-carbonática paralelos e descontínuos que ocorrem truncando o bandamento.

A mineralogia global é constituída por quartzo (35%), carbonato (20%), clorita (15%), sericita (10), sulfetos (10%) entre os quais se destacam pirita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita e pirrotita. Outros minerais são: mica branca, magnetita, ouro, rutilo e matéria carbonosa (estes juntos perfazem um total de 10% - PRANCHA 4.20a).

O quartzo (PRANCHA 4.20 b) ocorre em dois tipos:

- (i) o primeiro é anédrico a subédrico, inequigranular, com grãos finos a médios, em contatos irregulares a poligonais; e
- (ii) o segundo ocorre em porções de quartzo com bordas serrilhadas, deformado, tipo fumê, com cristais localmente estirados, formando uma lineação de estiramento e com franjas de recristalização (PRANCHA 4.20 c).

Semelhantemente ao quartzo, o carbonato (PRANCHA 4.20 d) apresenta-se em dois tipos:

- (i) o primeiro é anédrico, com grão fino e fino a médio, com contatos poligonais a irregulares; e
- (ii) o segundo possui hábito radial, está manchado, pode apresentar extinção ondulante e comumente está estirados formando uma lineação de estiramento.

A clorita (PRANCHA 4.20 e) é verde, rica em ferro, euédrica a subédrica, com tamanho variado e, localmente, define uma foliação incipiente.

A sericita e mica branca ocorrem em palhetas anédricas a subédricas, com granulação fina a média, textura poiquiloblástica, contendo inclusões de quartzo,

clorita, carbonatos e localmente apresentam associação com matéria carbonosa (PRANCHA 4.21).

Pirita é subédrica a euédrica, porosa, localmente arsenical (PRANCHA 4.22 a). Tem granulação fina a média, sendo que cristais grossos (aprox. 1 cm de comprimento) ocorrem em veios intrabanda, geralmente com inclusões de carbonato e calcopirita (PRANCHA 4.22 b).

A arsenopirita ocorre euédrica, poiquiloblástica, em granulação fina a média com cristais grossos (1 cm) próximo a veios intrabandas; possui hábito losangular e apresenta-se crescendo à custas de pirita (PRANCHA 4.22 c).

Calcopirita é rara, euédrica, de granulação fina, podendo apresentar geminação polissintética; está incluída em esfalerita, pirita e ilmenita conforme observado na PRANCHA 4.22 b, d.

Já a esfalerita ocorre em uma massa irregular (PRANCHA 4.23), anédrica, de granulação fina a média e associada com carbonato e quartzo (PRANCHA 4.24).

Ouro de tamanho entre 0,04 a 0,05 mm ocorre associado à pirita, geralmente arsenical. Ocorre incluída em piritas, poroso de pirita arsenical, bordas (contato) entre bandas de carbonato-pirita e quartzo fumê, e contato entre arsenopirita e quartzo fumê (PRANCHA 4.25 a, b, c, d).

Em amostras pouco alteradas hidrotermalmente, o bandamento pode ser caracterizado por porções:

- (i) quartzo e carbonato (PRANCHA 4.26 a); e
- (ii) quartzo, carbonatos, pirita e arsenopirita, sendo que a presença de cristais grossos, aproximadamente 1 cm de comprimento, ocorre em veios intrabanda (PRANCHA 4.26 a, b).

Em porções fortemente alteradas hidrotermalmente, o bandamento é composto por bandas:

- (i) de carbonato sulfetadas, com clorita; e
- (ii) nas quais predomina o quartzo, com menor quantidade de carbonatos e raros sulfetos. Nesta última banda, observam-se faixas de quartzo deformado, tipo fumê, e carbonatos. A ocorrência de arsenopirita fina nas bordas de contato entre os dois bandamentos é comum (PRANCHA 4.25 e, f).

É importante salientar que geralmente, quando observado em lâmina, o bandamento aparece descaracterizado devido à intensa silicificação, e que bandas de *metachert* bem preservadas ocorrem internamente à formação ferrífera bandada-FFB; entretanto, mesmo essas acham-se invadidas por quartzo com recristalização em quartzo fumê.

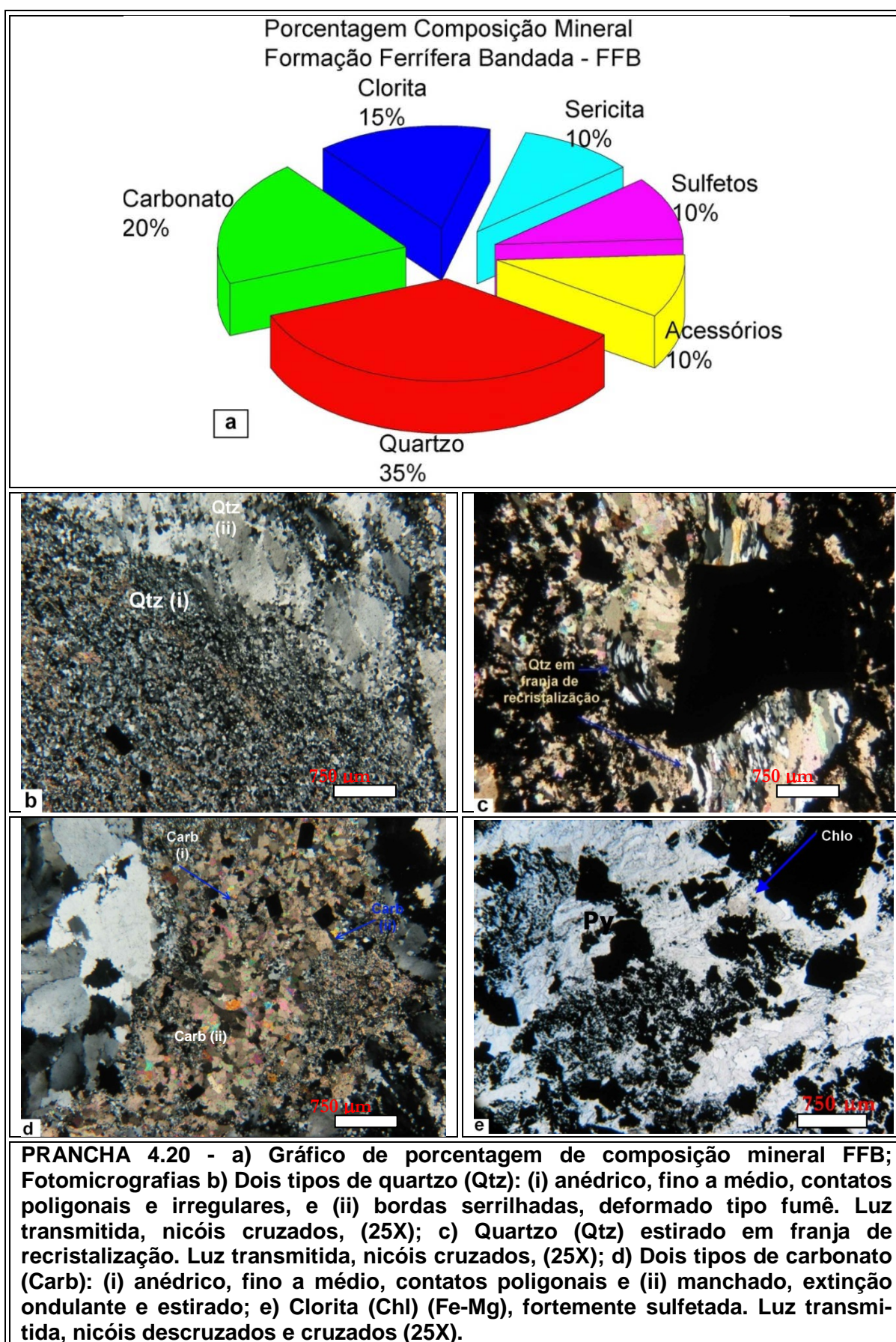
Franjas formadas principalmente por quartzo, clorita (Fe e Mg) e \pm carbonatos são comuns, em torno de sulfetos, essencialmente pirita, os quais parecem crescer à custa de carbonatos (PRANCHA 4.27 a).

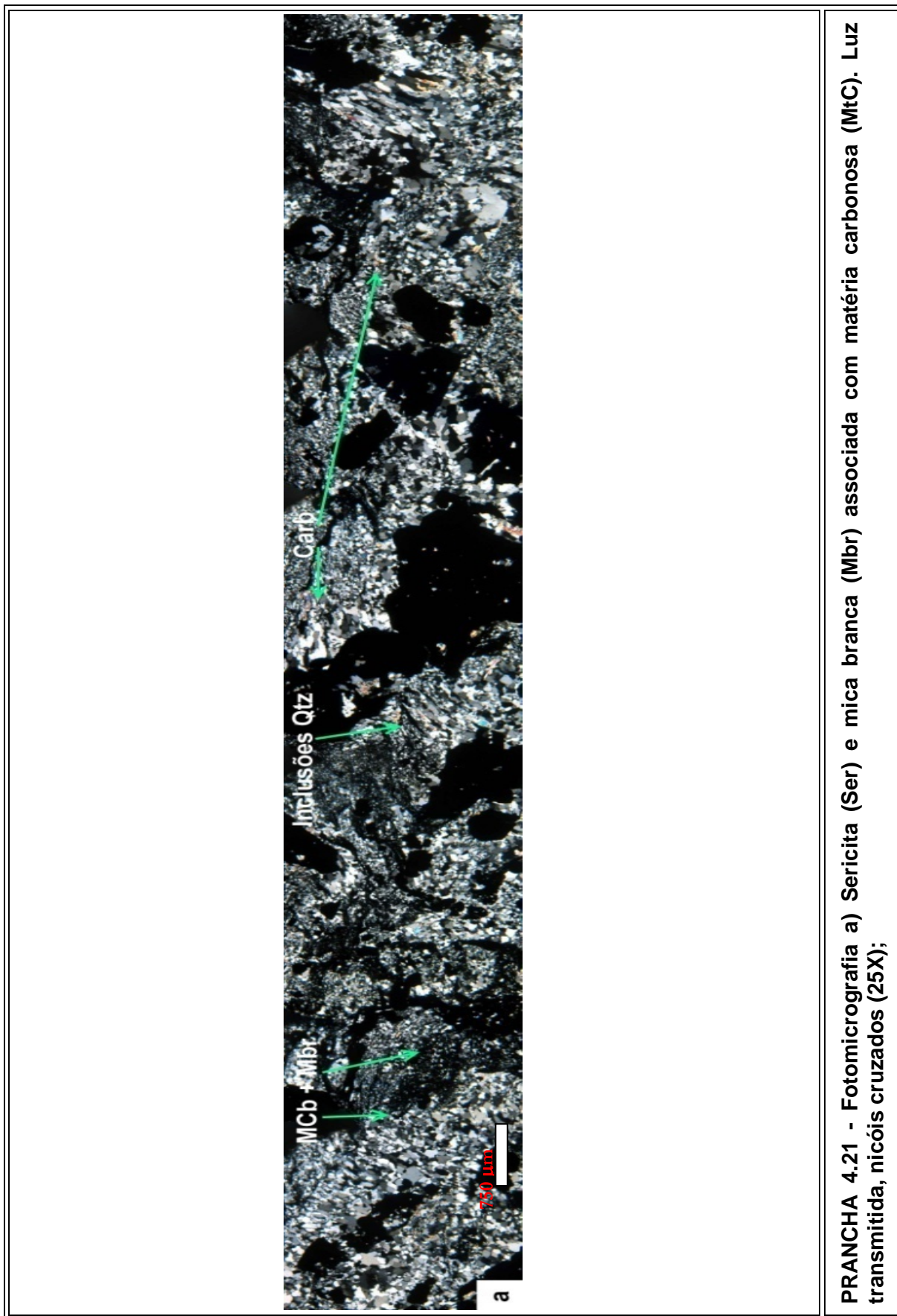
Os principais tipos de alteração são:

- ✓ Silicificação, que ocorre como:
 - Quartzo deformado do tipo fumê, com sulfetos associados em vênulas compostas por sericita, carbonatos e clorita.

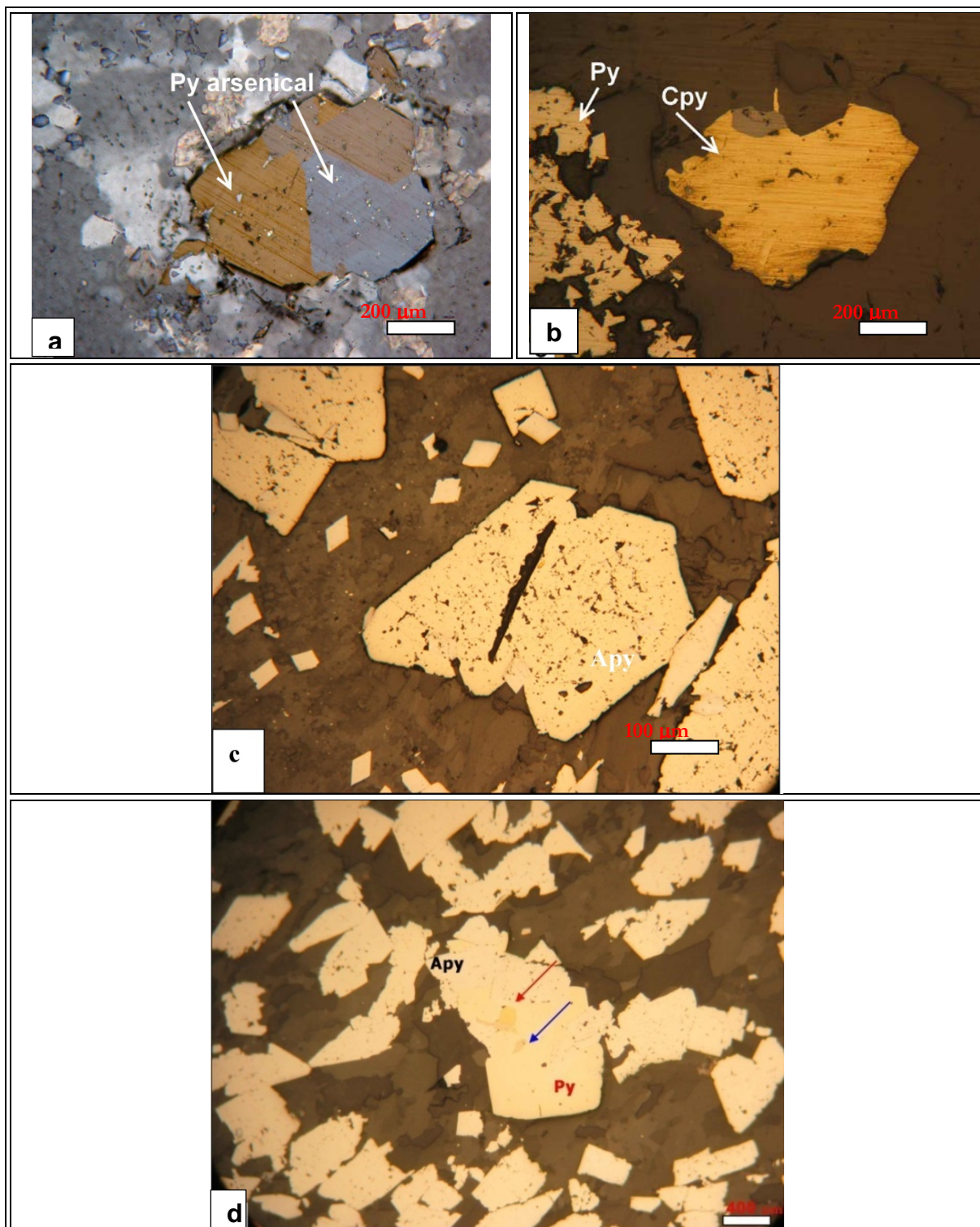
- ✓ Sulfetação, que ocorre:
 - Geralmente, mas não necessariamente, associada principalmente à fase de carbonatação e menos às partes silicificadas;
 - Associada às bandas mais ricas em carbonato e quartzo do tipo fumê;
 - Com pirrotita se formando à custa de magnetita grossa desagregada, conforme observado na PRANCHA 4.27 b;
 - Com pirrotita e calcopirita em equilíbrio textural;

- Com pirita em avançado estágio de arsenopiritização, mas sem formar arsenopirita, e raramente contendo inclusões de esfalerita e calcopirita;
 - Com pirita levemente arsenical formada a partir da pirrotita;
 - Com magnetita hidrotermal, definida com base no tamanho, geralmente maior quando comparada com magnetita sedimentar, ocorrendo:
 - (i) muito fina, onde há alternância de bandas de *metachert* (\pm carbonática) com bandas de carbonato, possivelmente siderita;
 - (ii) mais grossa, hidrotermal, em agregados finos (PRANCHA 4.27 e,f);
 - (iii) em microbandamentos de composição carbonática ();
 - (iv) em partes das bandas da FFB mais preservadas (PRANCHA 4.27 c, d);
 - (v) associada a calcopirita e pirita (PRANCHA 4.27 e, f).
- ✓ Carbonatação:
- Em locais com intensa carbonatação e porções de quartzo fumê, os carbonatos apresentam-se isentos de sulfetos.
 - Carbonatos, mica branca, clorita, além da pirrotita, ocorrem comumente em vênulas, faixas e/ou bandas.

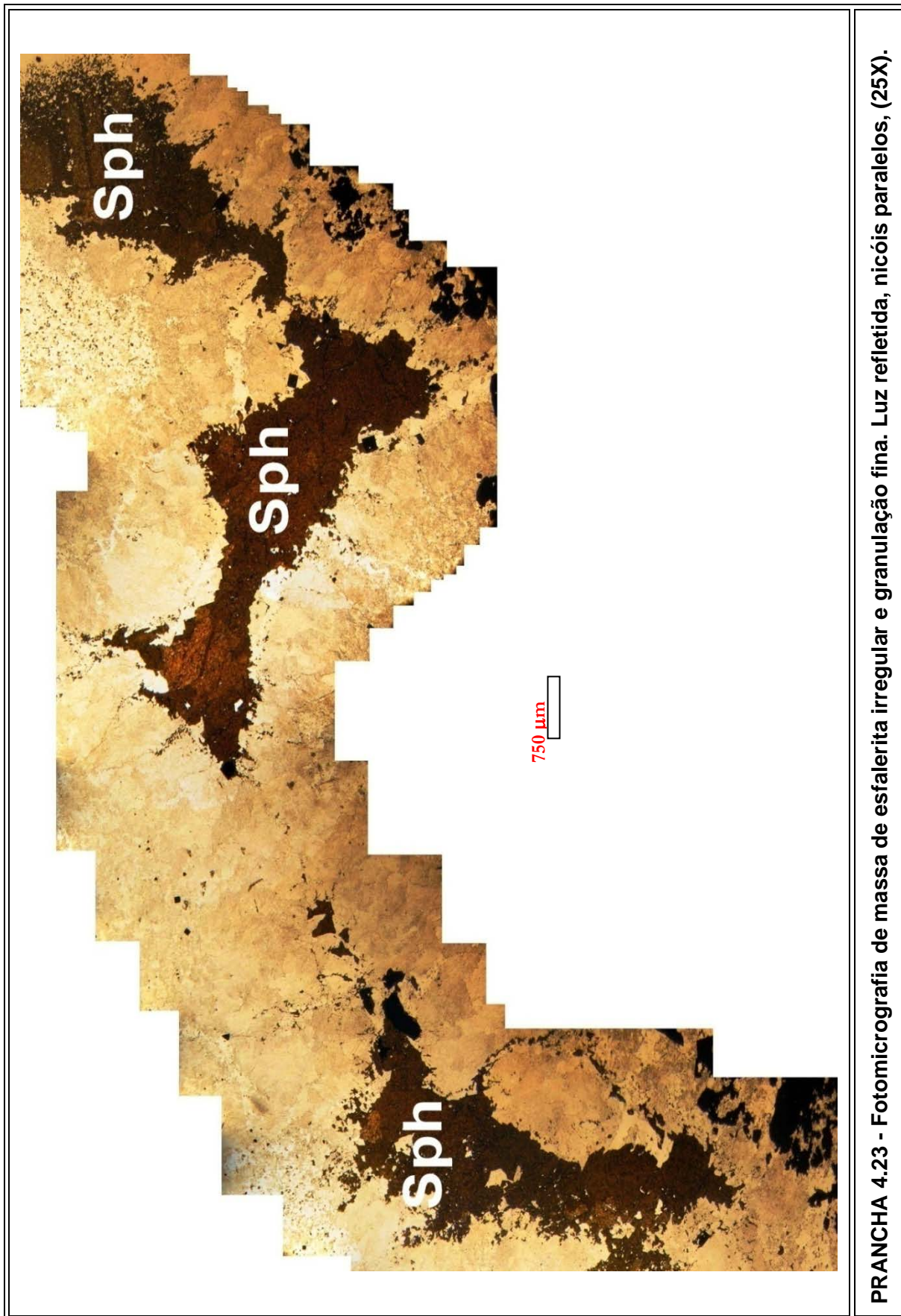


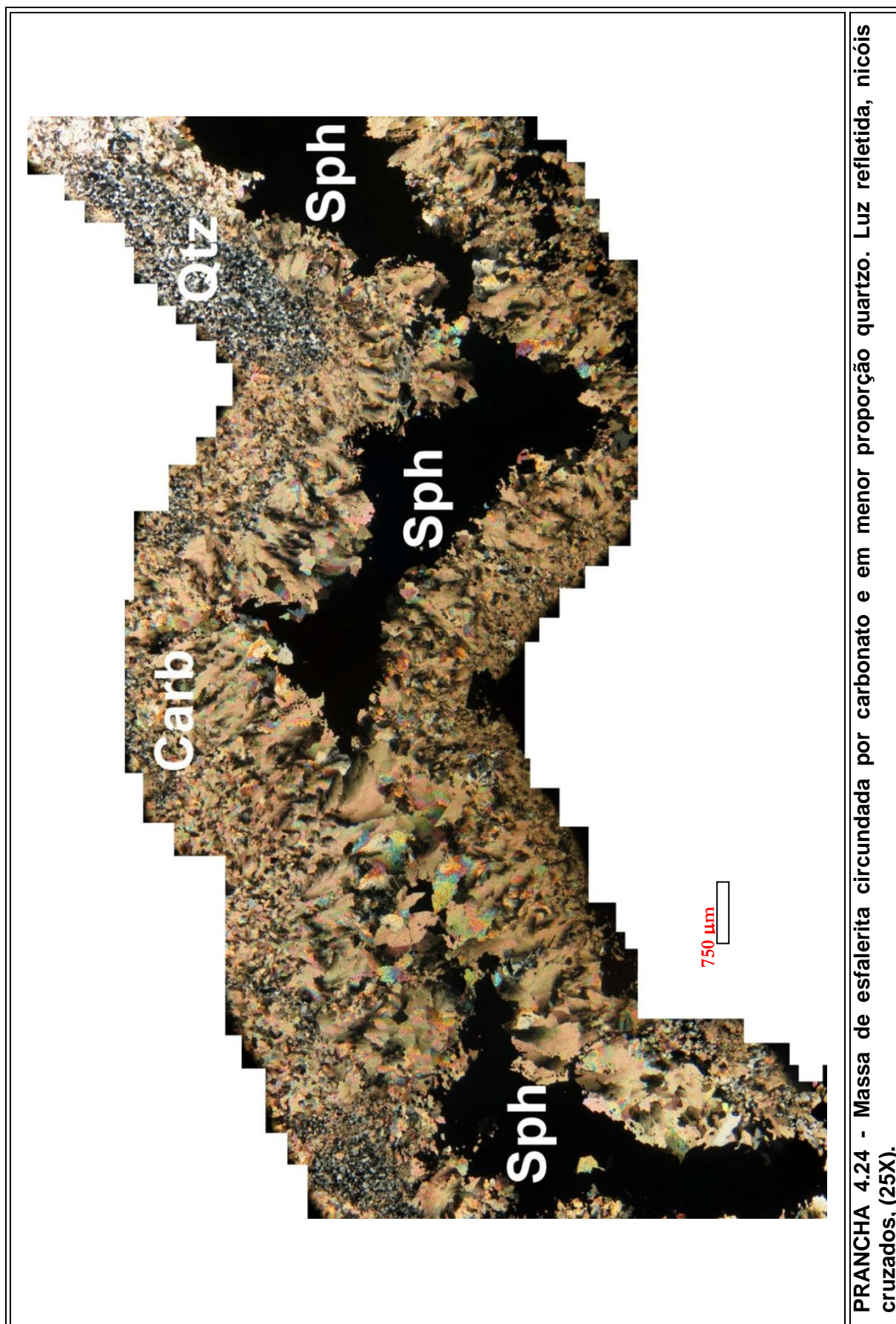


PRANCHA 4.21 - Fotomicrografia a) Sericita (Ser) e mica branca (Mbr) associada com matéria carbonosa (MtC). Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);

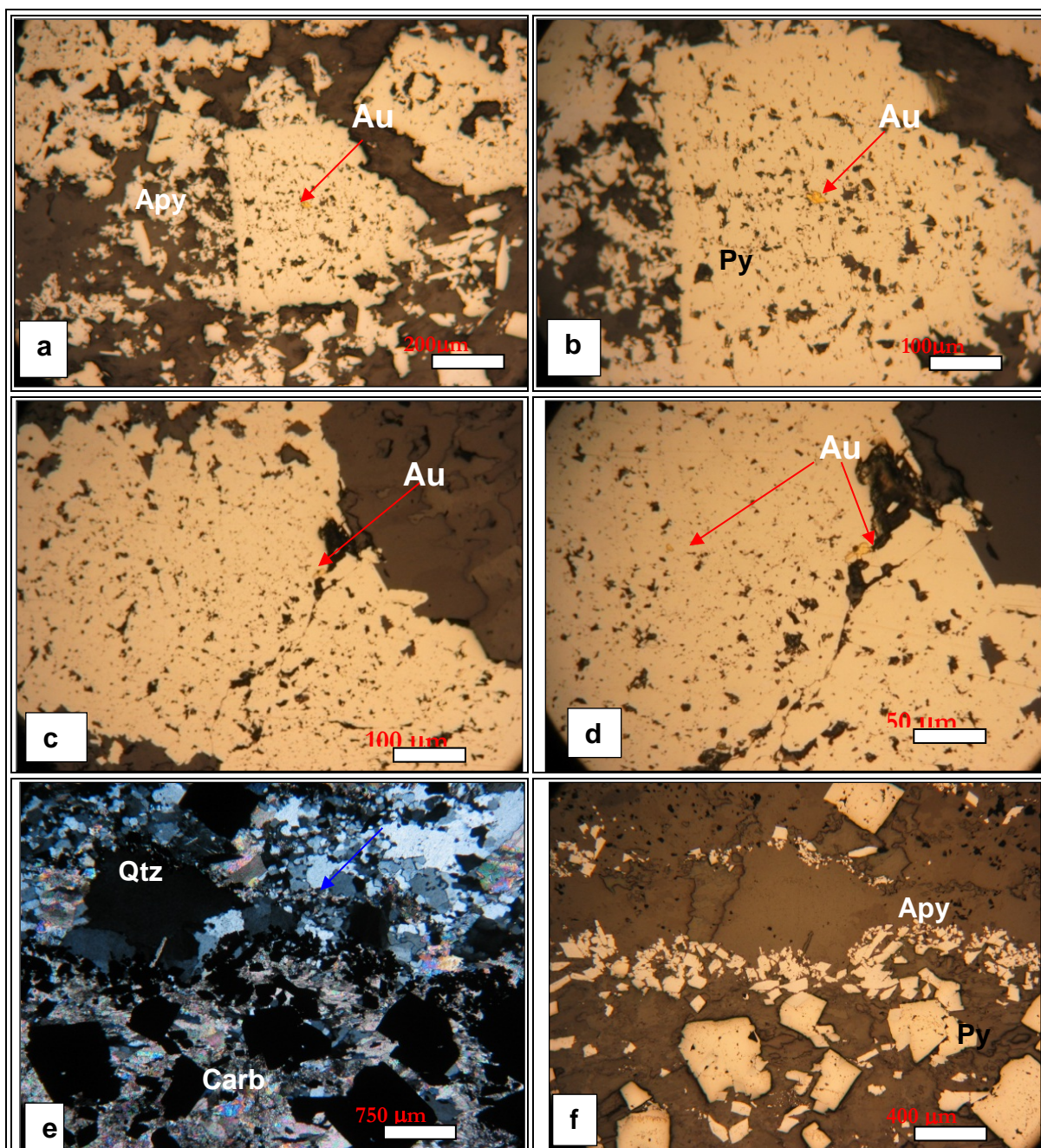


PRANCHA 4.22 - Fotomicrografias a) Pirita localmente arsenical. Luz refletida, nicóis descruzados, (200X); b) Cristal de calcopirita próximo a pirita. Luz transmitida, nicóis descruzados, (200X); c) Cristais de pirita (Py) porosa, cristais euédricos de arsenopirita (Apy). Luz refletida, nicóis descruzados (100X); d) Detalhe mostrando rara calcopirita (Cpy - seta vermelha) em pirita (Py), que se altera a arsenopirita (Apy). Note que cristal muito fino ilmenita (Ilm - seta azul) também está incluso em pirita (Py). Luz refletida, nicóis descruzados (20X).

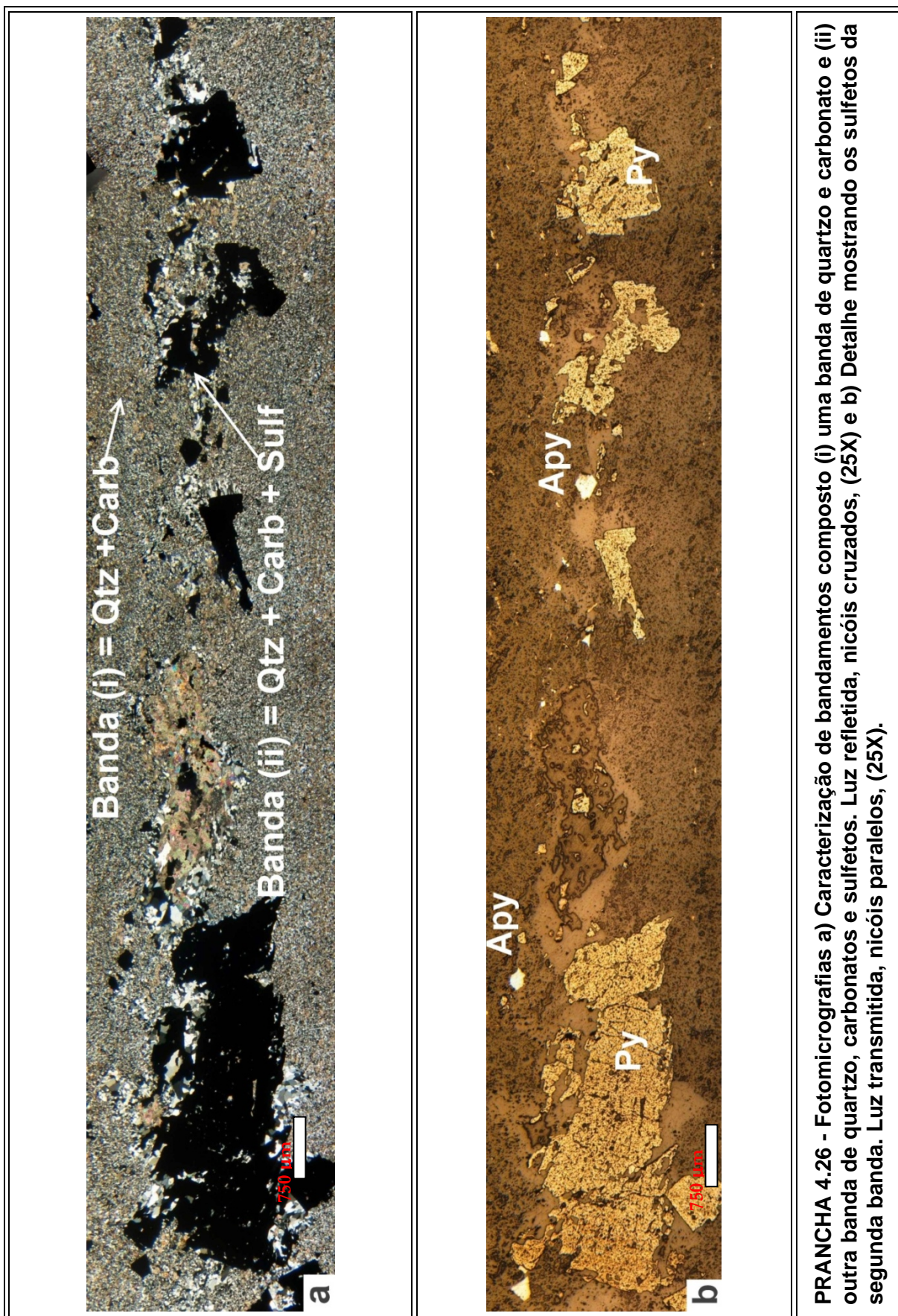


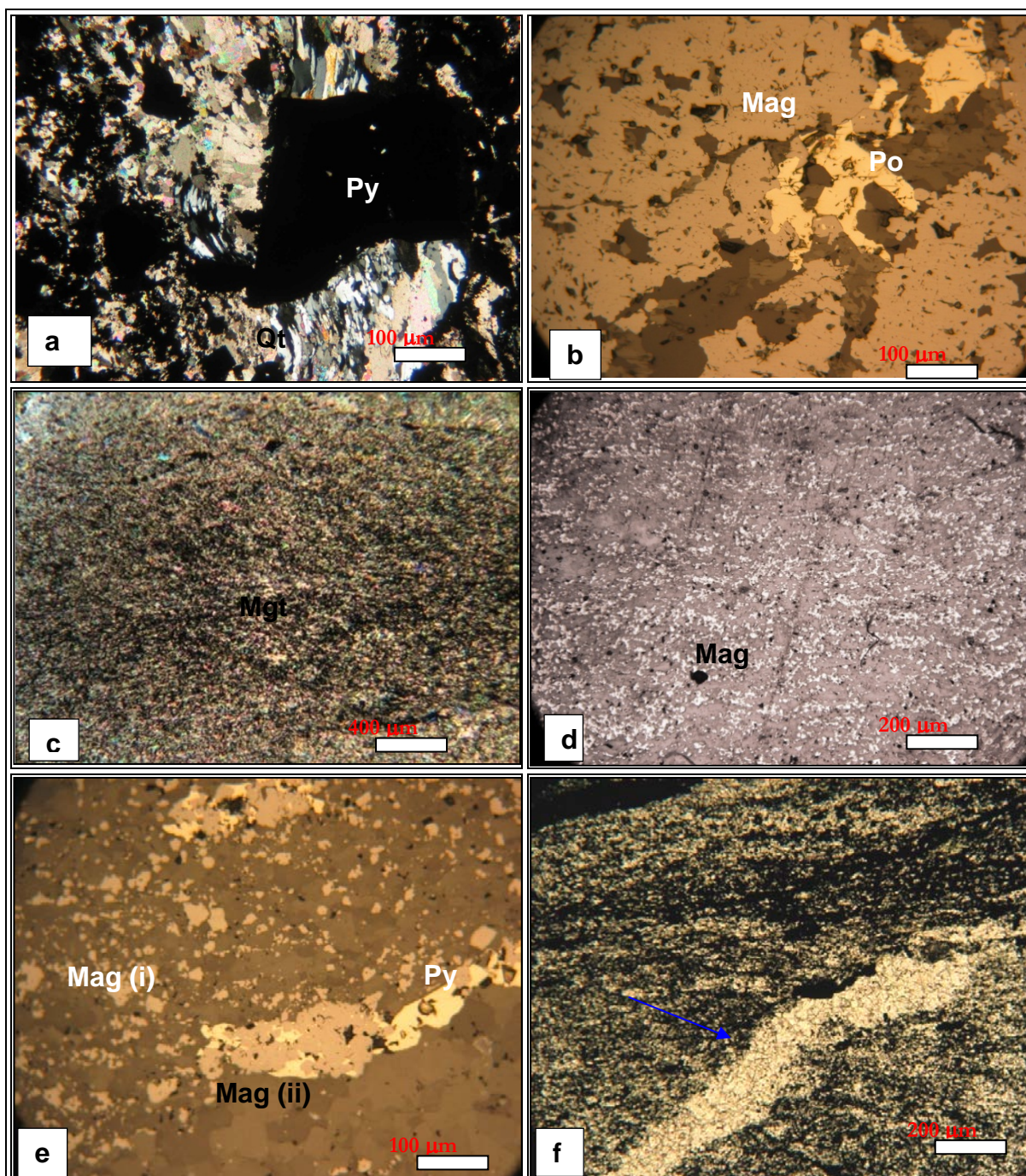


PRANCHA 4.24 - Massa de esfalerita circundada por carbonato e em menor proporção quartzo. Luz refletida, nicóis cruzados, (25X).

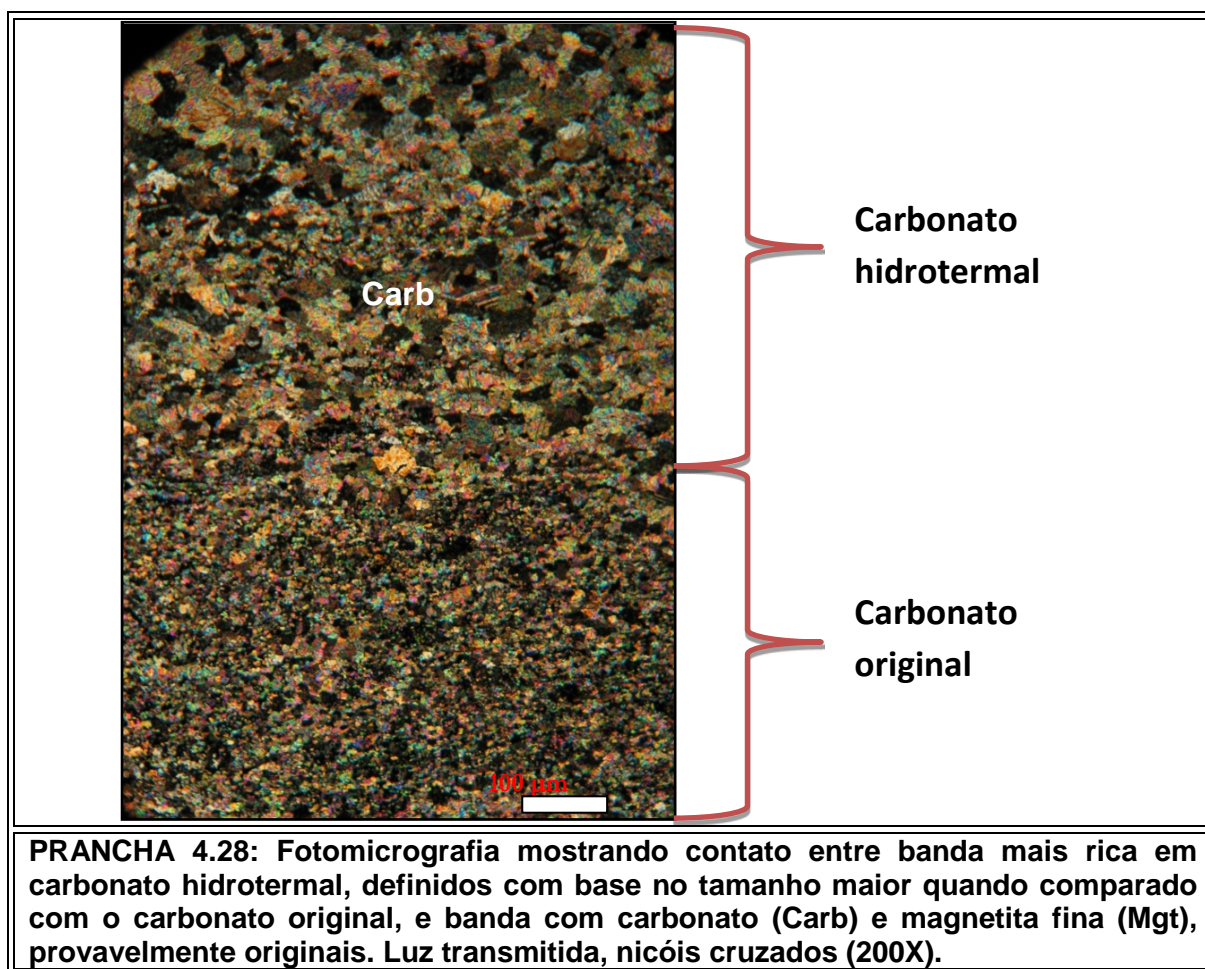


PRANCHA 4.25 - Fotomicrografias a) Cristais porosos de pirita (Py) e arsenopirita (Apy), fina lamelar. Detalhe mostrando partícula de ouro fina (0,05 mm) incluída em pirita (Py). Luz refletida (100X); b) Mesma seção de a, mas com aumento de 200X; c) Partículas de ouro incluídas em cristais de pirita (Py) porosa arsenical. Luz refletida (100X); d) Mesma seção de c, mas com aumento de 200X; e) Faixas de arsenopirita (Apy) fina nas bordas (contato) entre banda (i) dominada por carbonato-pirita (Carb-Py) e (ii), onde predomina quartzo (Qtz) deformado tipo fumê. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); e) Detalhe mostrando faixas de arsenopirita (Apy) fina nas bordas ao longo do contato de porções de quartzo (Qtz). Luz refletida (50X).





PRANCHA 4.27 - Fotomicrografias a) Pirita (Py) envolta de quartzo (Qtz) em franja; b) Pirrotita (Po) se forma a custa de magnetita (Mag) grossa desagregada em FFB hidrotermalizada. Luz refletida (200X); c) Cristais muito finos de magnetita (Mag) e carbonato (Carb) constituindo bandas mais preservadas da FFB. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X); d) Detalhe da foto anterior mostrando microbandamento definido pela intercalação de finas bandas de magnetita (Mag) e carbonato (Carb). Luz transmitida, nicóis cruzados (100X); e) Cristais finos de magnetita (Mag) (i) em banda de FFB e cristais mais grossos (ii) provavelmente hidrotermais, em borda de veio de carbonato Carb (seta azul fotomicrografia f). Notar no detalhe que pirita (Py) cresce a custa de magnetita (Mag) (ii). Luz transmitida, nicóis descruzados (100X) e luz refletida (200X).



4.6 Zonas de Silicificação.

A silicificação em Lamego inclui o desenvolvimento de grande volume de quartzo fumê, formando veios e massas irregulares que ocorrem em toda a mina. O ouro está fortemente associado a este tipo de quartzo. Entremeadado ao quartzo fumê, formam-se porções de quartzo leitoso que são resultantes da recristalização do fumê.

Entre as características dos veios/massas de quartzo fumê destacam-se:

- (i) granulação grossa, localmente > 0,5 cm (PRANCHA 4.29 a);
- (ii) associação com sulfetos e carbonatos (PRANCHA 4.29 a, b);
- (iii) escala deste centimétrica decamétrica (PRANCHA 4.29 c, d, e);
- (iv) relação principalmente com formação ferrífera bandada, xisto carbonoso e em menor proporção metandesito (PRANCHA 4.30 a, b, c). Para os dois primeiros casos predomina um aspecto de *boudinagem*, quando se trata de massas com escala hectométrica a decamétrica;
- (v) com veios concordantes e/ou discordantes ao bandamento da formação ferrífera, passando de discordante a concordante e cortando porções já silicificadas e sulfetadas (PRANCHA 4.31 a, b, c); onde discordantes podem crenular o bandamento (vide Capítulo 5 seção 5.2.1 PRANCHA 5.6 d);
- (vi) concordante com e/ou dobrado em relação aos planos de foliação do xisto carbonoso (PRANCHA 4.30 b).

Localmente aparecem:

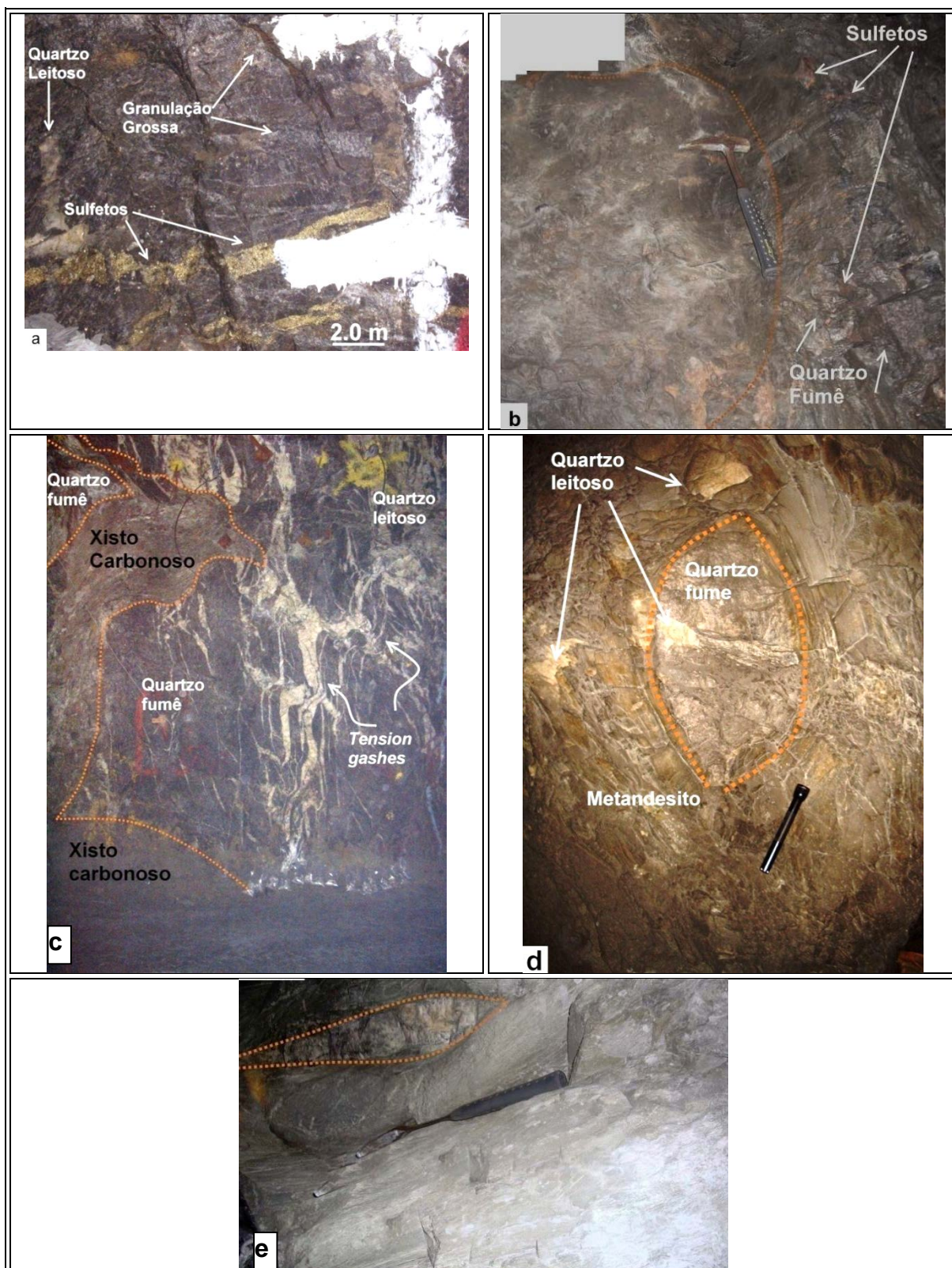
- (vii) como sigmóides rotacionados ou não (vide Capítulo 5 seção 5.2.4);
- (viii) boundinados em uma estruturação conhecida como *pinch-and-swell* (PRANCHA 4.31 d; vide Capítulo 5 seção 5.2.4);
- (ix) venulados onde próximos a zonas de falha e cisalhamento (PRANCHA 4.32 a, b);

- (x) em aspecto brechado (PRANCHA 4.32 4.29 c); e
- (xi) porções subordinadas de quartzo leitoso, que parece se formar a partir do quartzo fumê (PRANCHA 4.29 a, c, d; PRANCHA 4.30 b; PRANCHA 4.31 d) e ocorrem como veios *enechelon* (PRANCHA 4.32d), *tension gashes* (PRANCHA 4.29 c) e *texturas stockwork* (PRANCHA 4.32 e).

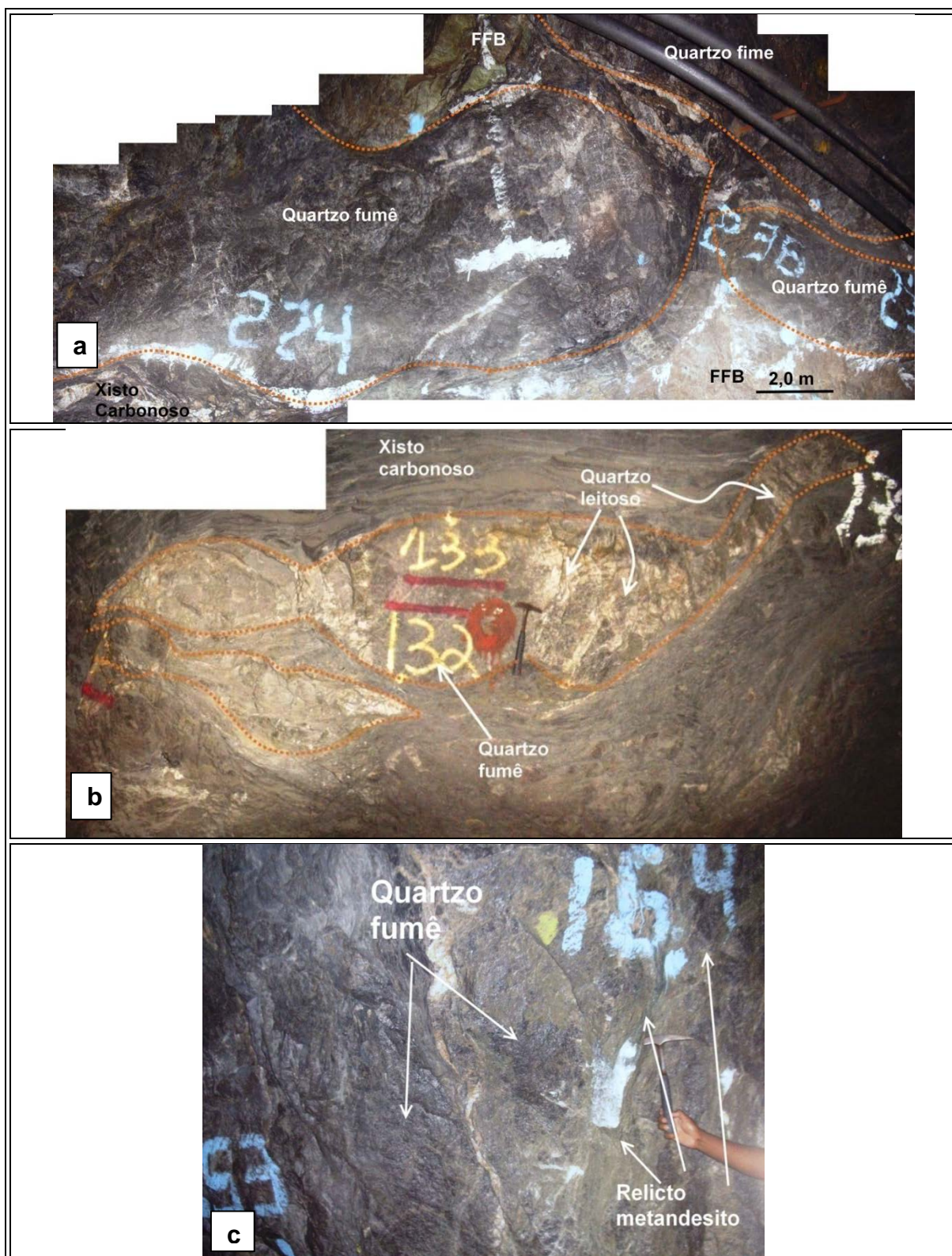
Em zonas intensamente deformadas as diversas formas de silicificação podem ocorrer associadas. Na PRANCHA 4.33, por exemplo, observa-se que estão associadas às ocorrências (i), (ii), (iii), (iv), (vi), (vii) e (ix).

As massas/veios de quartzo fumê são subdivididas em quatro tipos:

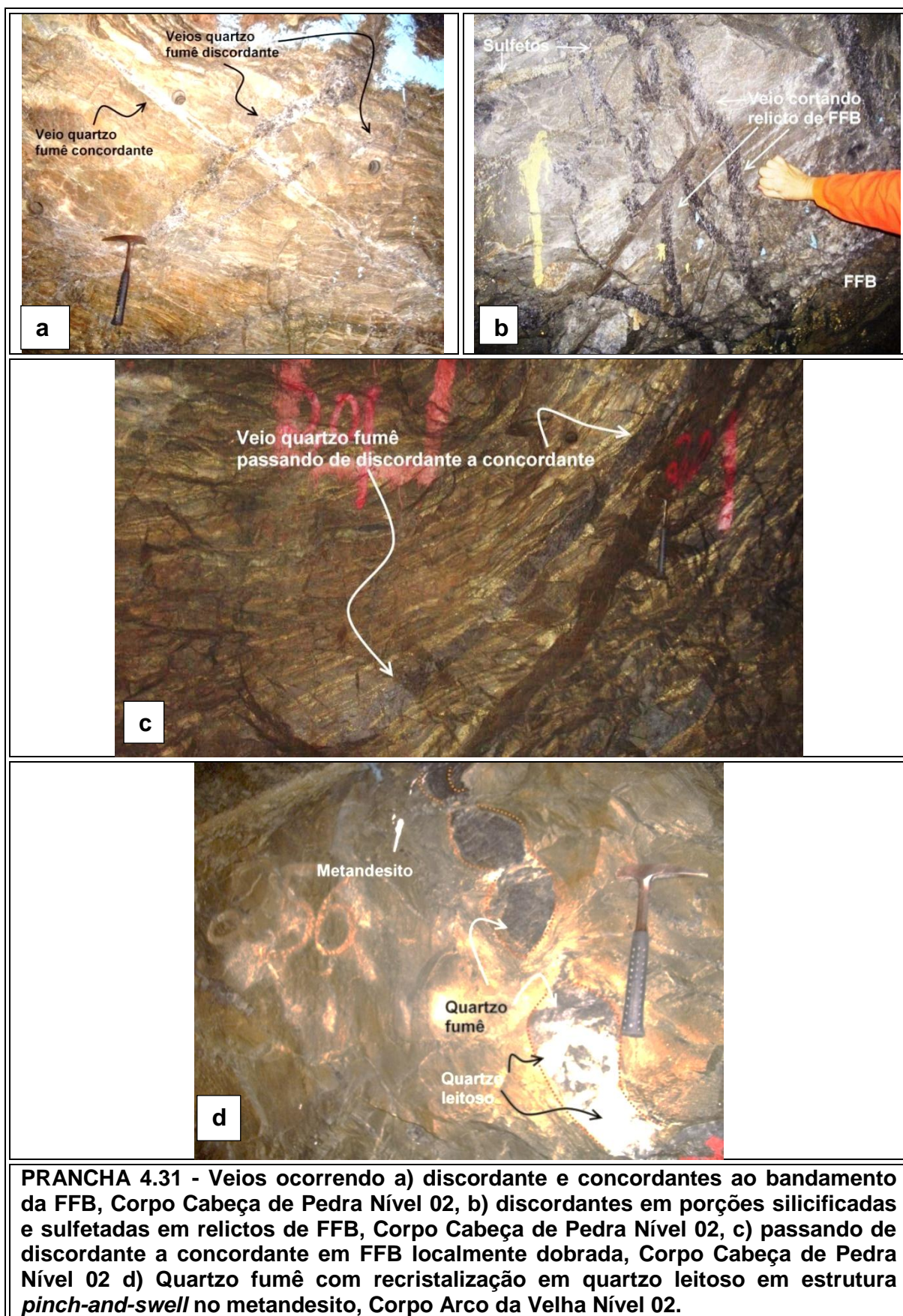
- (i) Quartzo fumê com FFB sulfetadas ou não, que cortam a formação ferrífera bandada (PRANCHA 4.30 a, PRANCHA 4.31 a, c e PRANCHA 4.32 d, e);
- (ii) Quartzo fumê com faixas de xistos sulfetados ou não, onde associados a xistos carbonosos e xistos cloritizados (PRANCHA 4.29 b, d, e, PRANCHA 4.30 b, d, PRANCHA 4.31 d, PRANCHA 4.32 a, b, c, e,);
- (iii) Quartzo fumê sulfetados ou não, que podem ocorrer tanto concordante como discordante a FFB bem como xistos carbonosos, e não contendo fragmentos reliquiais de rocha (PRANCHA 4.29 a, PRANCHA 4.31 b, PRANCHA 4.32);
- (iv) Quartzo fumê associado com quartzo leitoso, que são massas de quartzo leitoso com carbonato-clorita+sulfetos, carbonato, e carbonato em veios com faixas de mica verde. Geralmente estão associadas a faixas de metandesito, formação ferrífera bandada e xisto carbonoso quando estes estão falhados e/ou cisalhados, Possuem textura brechada, vugs, quartzo em pente nas zonas de veios e podem estar associados ou não com carbonatos. Ocorrem em toda a mina, mas principalmente no Corpo Carruagem Níveis 01 e 02 e Arco da Velha Nível 02 (PRANCHA 4.32 a, b, c, d, e);

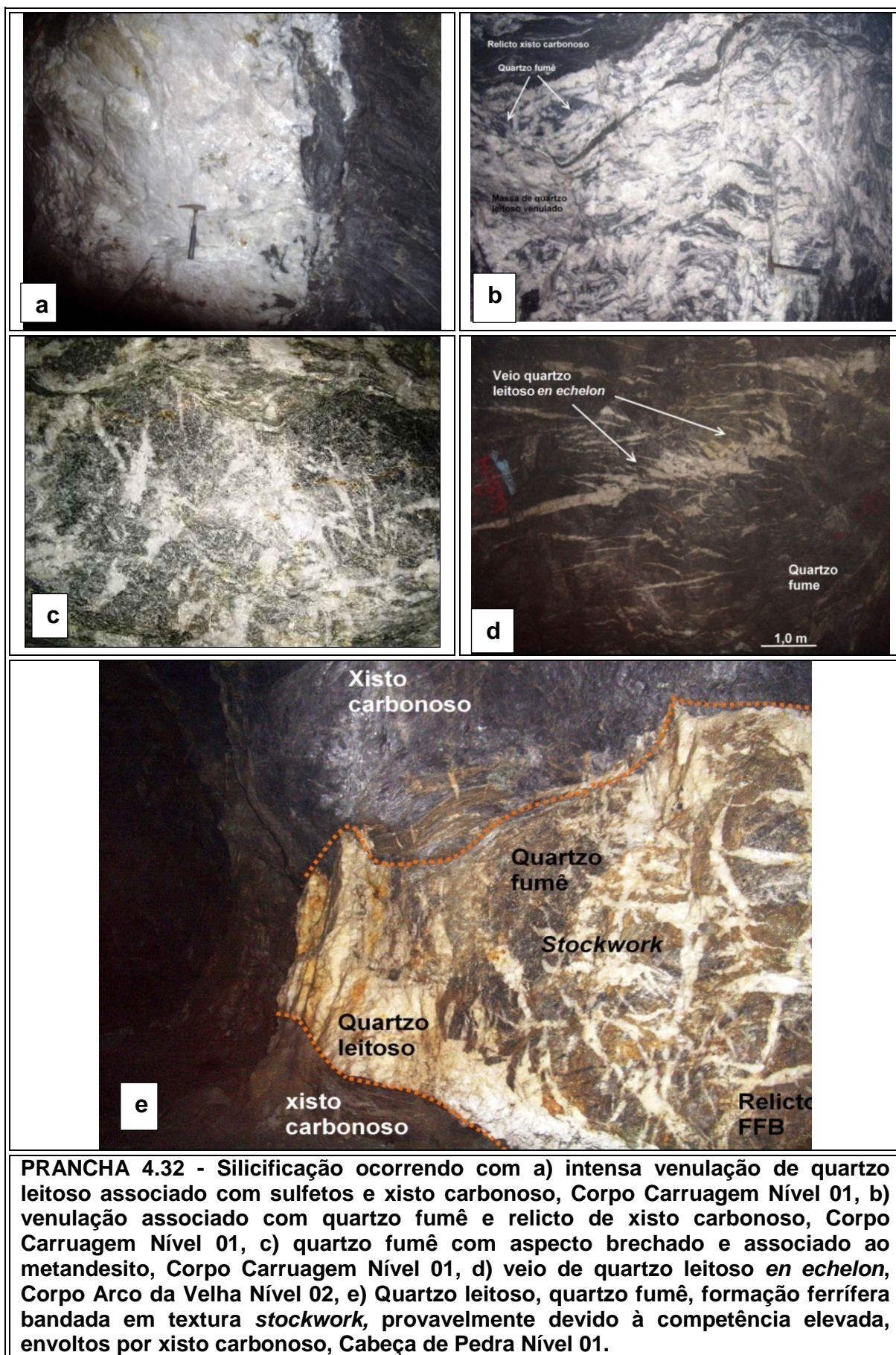


PRANCHA 4.29 - Silicificação com a) quartzo de granulação grossa, sulfetos e quartzo leitoso, Corpo Arco da Velha Nível 01; b) quartzo fumê associado com carbonato no xisto carbonoso, Corpo Cabeça de Pedra Nível 01; c) Escala hectométrica da massa de quartzo fumê envolvido por xisto carbonoso, Corpo Carruagem Nível 02; d) Escala métrica da massa de quartzo fumê, Corpo Arco da Velha Nível 02, e) Escala centimétrica da massa de quartzo fumê, Corpo Arco da Velha Nível 02.



PRANCHA 4.30 - Silicificação com massas de quartzo a) boudinado, com recrystalização em quartzo leitoso e dentro da formação ferrífera bandada, Carruagem Nível 01; b) boudinado, com recrystalização em quartzo leitoso e no xisto carbonoso, Corpo Carruagem Nível 02; c) massa irregular e com recrystalização em quartzo leitoso no metandesito foliado, Corpo Carruagem Nível 02.







PRANCHA 4.33 - Ocorrência associada das formas de silicificação (i), (ii), (iii), (iv), (vi), (vii) e (ix).

Ao microscópio, quartzo é o mineral predominante nas zonas de silicificação (85-90%) e em menores proporções ocorrem carbonato, mica, muscovita, sericita, pirita, calcopirita, esfalerita, arsenopirita, galena, tenantita-tetraedrita, ouro e matéria carbonosa (PRANCHA 4.34 a).

Nos três primeiros tipos de quartzo fumê, ou seja, Quartzo fumê com FFB sulfetadas ou não, Quartzo fumê com faixas de xistos sulfetados ou não e Quartzo fumê sulfetados, quartzo e carbonatos presentes têm características distintas. O quartzo ocorre em:

- (i) Granulação média a grossa (até 3 cm), deformado, xenoblástico e irregular, com bordas lobadas e exibindo recristalização. Há gradação de quartzo deformado orientado mais grosso para quartzo fino poligonal (PRANCHA 4.34 b). Esse quartzo, que corresponde ao tipo fumê em amostra de mão, caracteriza-se por conter inúmeras inclusões fluidas bifásicas, líquido e vapor (PRANCHA 4.34 c);
- (ii) Granulação fina a média, em cristais subédricos a euédricos, associados aos sulfetos e, subordinadamente, carbonatos (PRANCHA 4.34 b).

Carbonatos ocorrem bem formados, subédricos a euédricos, de granulação fina a média, localmente orientada segundo uma foliação incipiente e com direções de clivagem muito bem marcadas (PRANCHA 4.34 b).

Já para o quarto tipo de ocorrência do quartzo fume, Quartzo Fume associado com Quartzo Leitoso, quartzo e carbonato que apresentam características muito semelhantes entre si, destacando-se:

- (i) faixas com contatos poligonais, granulação fina e arsenopirita dispersa em trilhas de 0,1 mm de espessura que circunda carbonato estirado (PRANCHA 4.35 a, b);
- (ii) faixas de granulação média a grossa, com bordas lobadas, deformado se com pirita e esfalerita ocorrendo em vênulas (PRANCHA 4.35 c,d);
- (iii) cristais estirados em faixas-vênulas ou em franjas em associação com pirita e arsenopirita (PRANCHA 4.35 e, f).

A mica branca tanto ocorre em palhetas verdes como transparentes (muscovita). A verde forma faixas descontínuas, e que definem foliação incipiente (PRANCHA 4.35 c). Nessas faixas, carbonatos associam-se mais comumente a sericita que ocorre em palhetas muito finas, subédricas, exibindo leve pleocroísmo verde. A outra mica apresenta-se em palhetas subédricas, com leve pleocroísmo verde e, localmente, pode envolver cristais de sulfetos, principalmente pirita.

A pirita é porosa, subédrica a euédrica, possuindo granulação média a grossa (PRANCHA 4.35 e), e com inclusões de quartzo, carbonatose, em menor proporção, calcopirita. Já a pirita arsenical exhibe cristais euédricos e granulação média a grossa. A pirita, inclusive de composição arsenical, ocorre associada a:

- (i) quartzo (PRANCHA 4.36 a, b);
- (ii) faixas de sericita-carbonato (PRANCHA 4.36 a, b);
- (iii) a arsenopirita (PRANCHA 4.36 c, d); e
- (iii) crescendo a custa de esfalerita (PRANCHA 4.35 d).

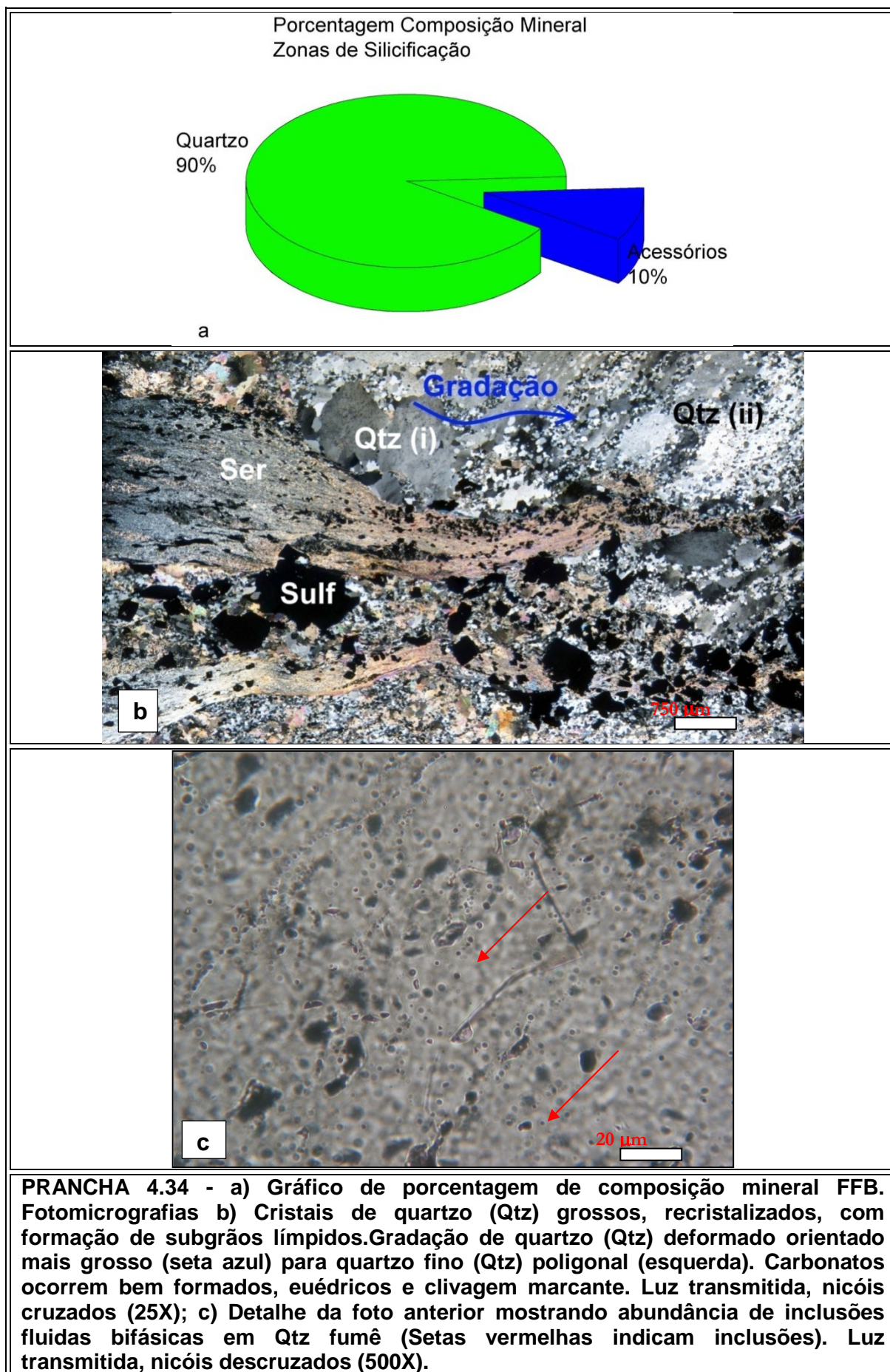
Arsenopirita aparece em grãos subédricos a euédricos, de granulação fina, forma a custa de pirita e mantendo mesmo hábito, principalmente ao longo das bordas de contato (PRANCHA 4.35 c, d).

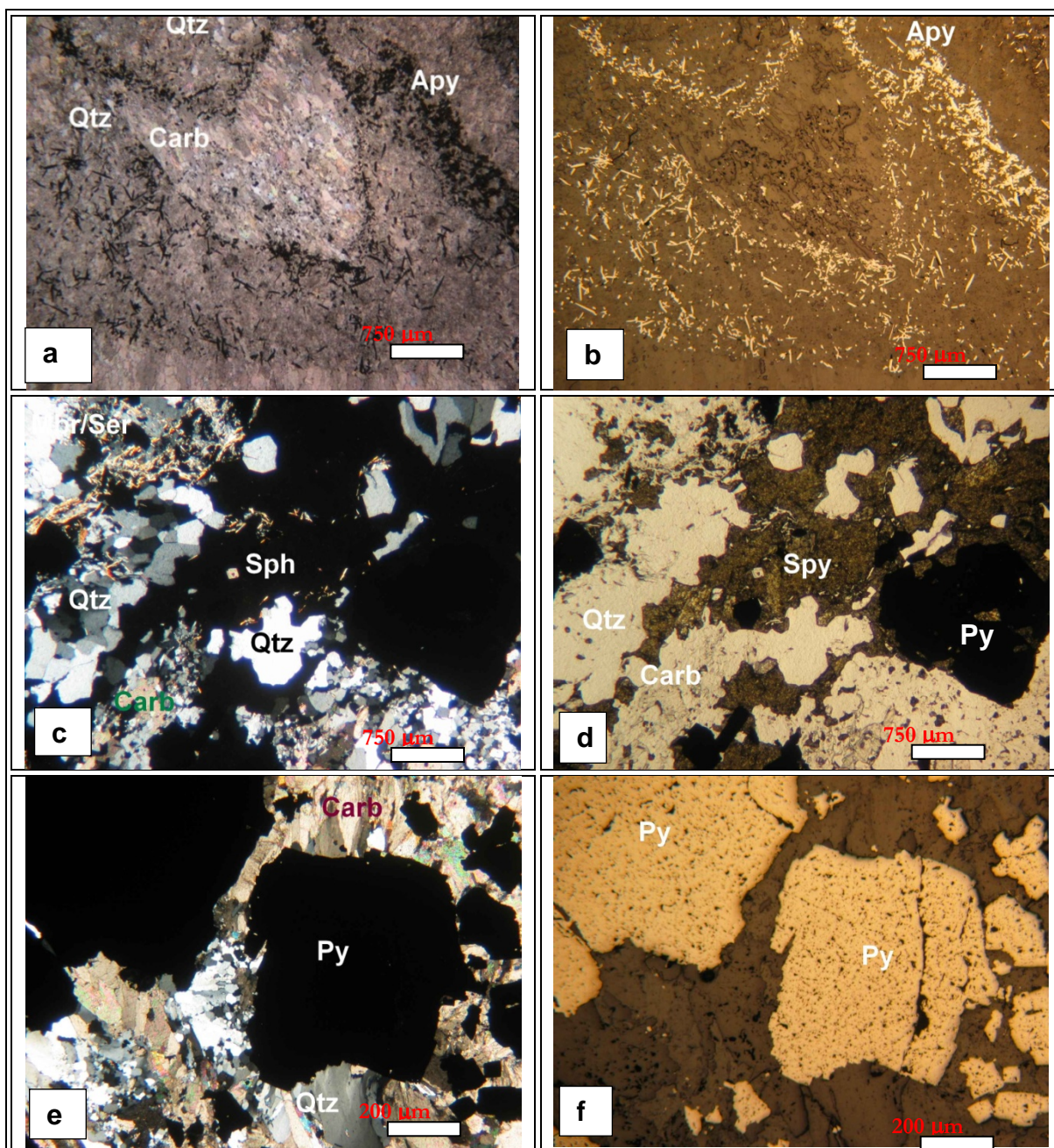
Outros sulfetos estão presentes, como:

- (i) pirrotita, que ocorre subédrica de granulação fina a média, como inclusões em arsenopirita (PRANCHA 4.36 e);
- (ii) galena, que ocorre subédrica, de granulação grossa e entre faixas de quartzo e carbonato, e em aparente equilíbrio textural com calcopirita (PRANCHA 4.37 a);
- (iii) esfalerita, que é anédrica, com granulação fina a média e é fortemente substituída por pirita e calcopirita nas bordas (PRANCHA 4.34 b); e
- (iv) cristais de calcopirita são raros, euédricos, granulação fina e encontrados inclusos em pirita.

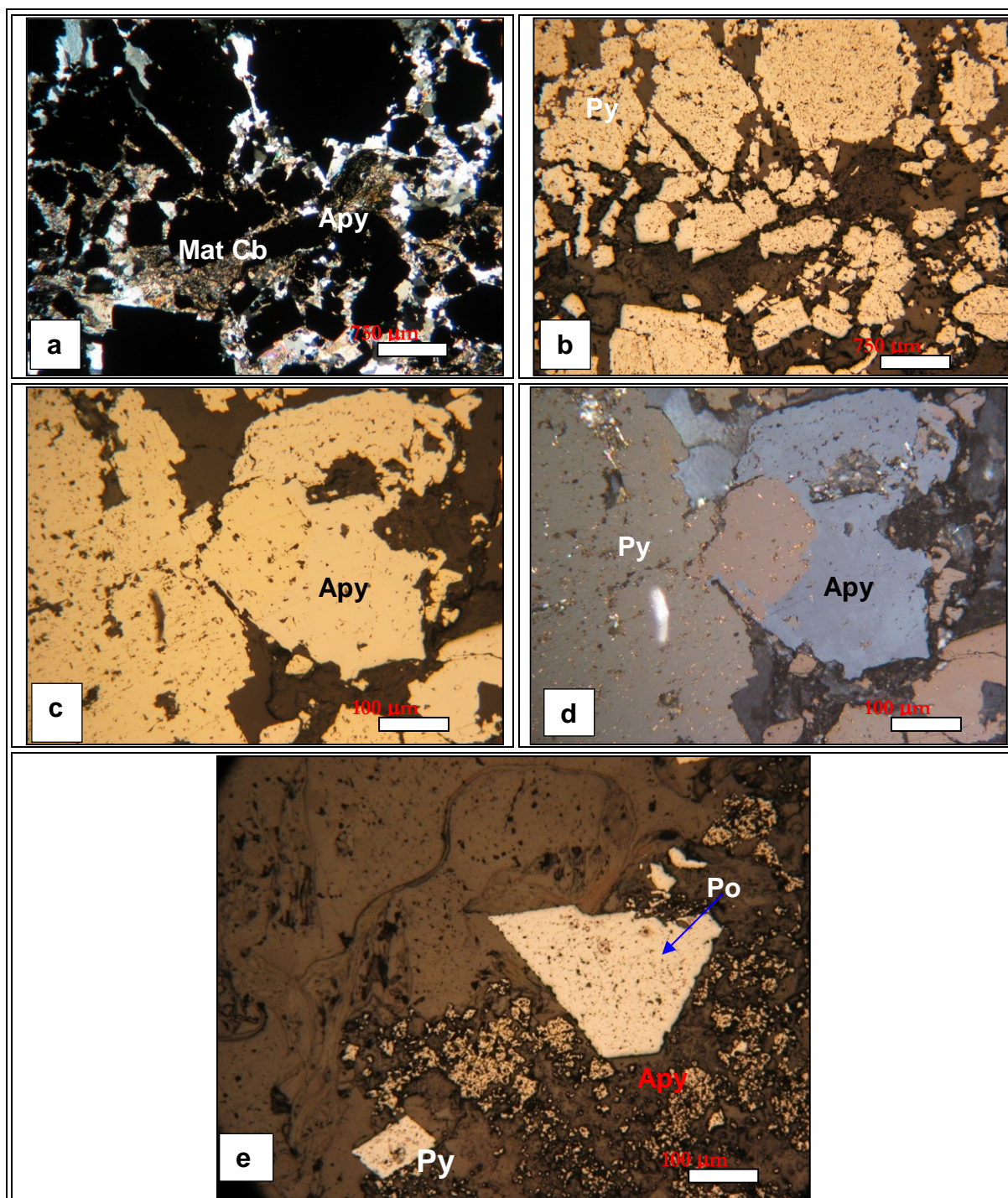
Partículas de ouro ocorrem:

- (i) inclusas em pirita e em esfalerita (PRANCHA 4.38 a, b);
- (ii) associadas a quartzo fumê, em inúmeras inclusões (PRANCHA 4.38 a,b);
- (iii) em borda de arsenopirita (PRANCHA 4.38 a, b);
- (iv) em trilha de pirita no contato entre quartzo fumê e faixa sericítica (PRANCHA 4.38 c);
- (v) granulares inclusas em arsenopirita (PRANCHA 4.38 d);
- (vi) filetes alojados em fraturas de arsenopirita (PRANCHA 4.39 a);
- (vii) localmente associadas a mica (PRANCHA 4.39 b);
- (viii) como inclusão em fraturas preenchidas por quartzo-carbonato (PRANCHA 4.39 c);
- (ix) associado com cristais de calcopirita em partículas de ouro muito finas, próximo de 0,008 mm (PRANCHA 4.39 d).

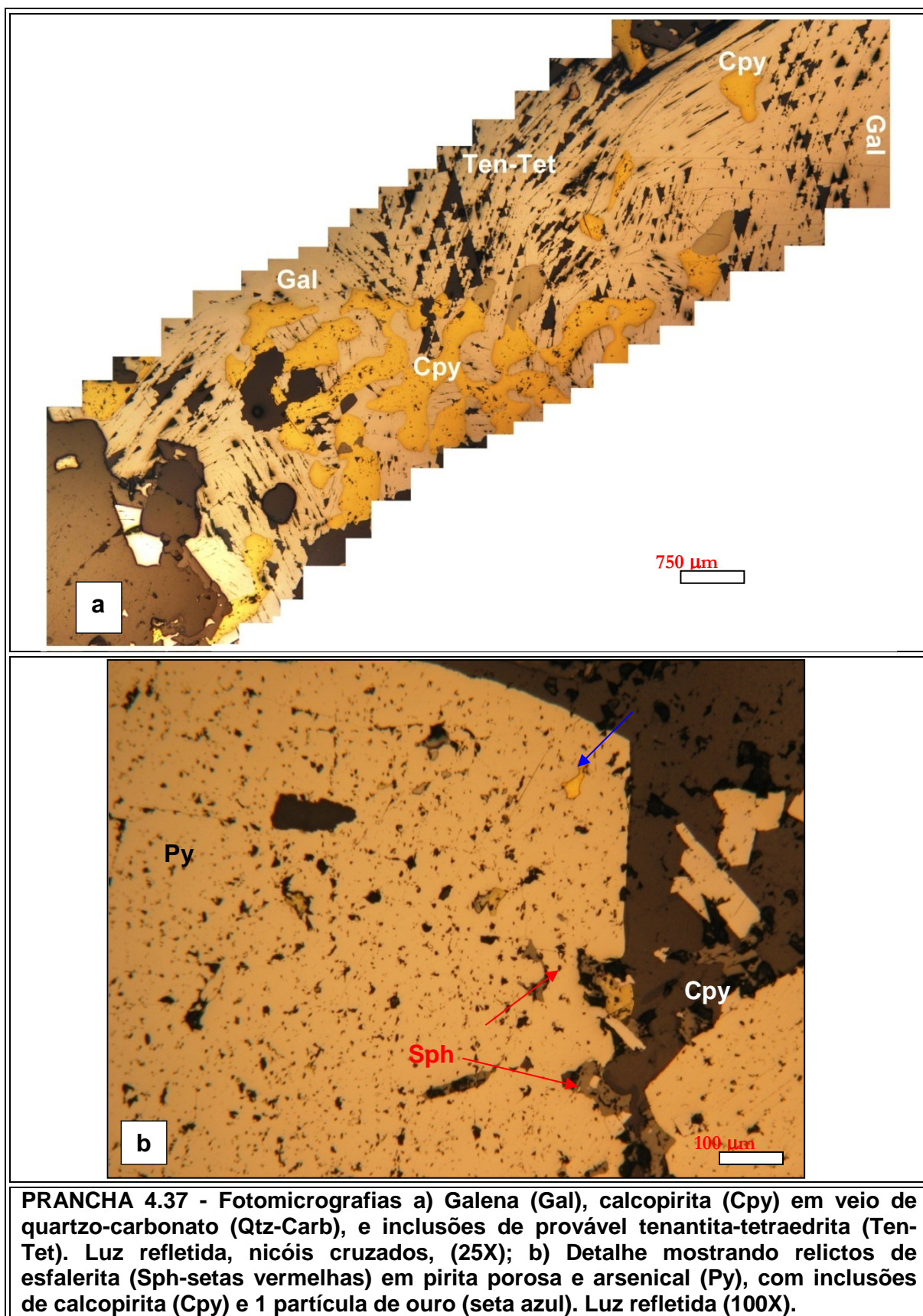


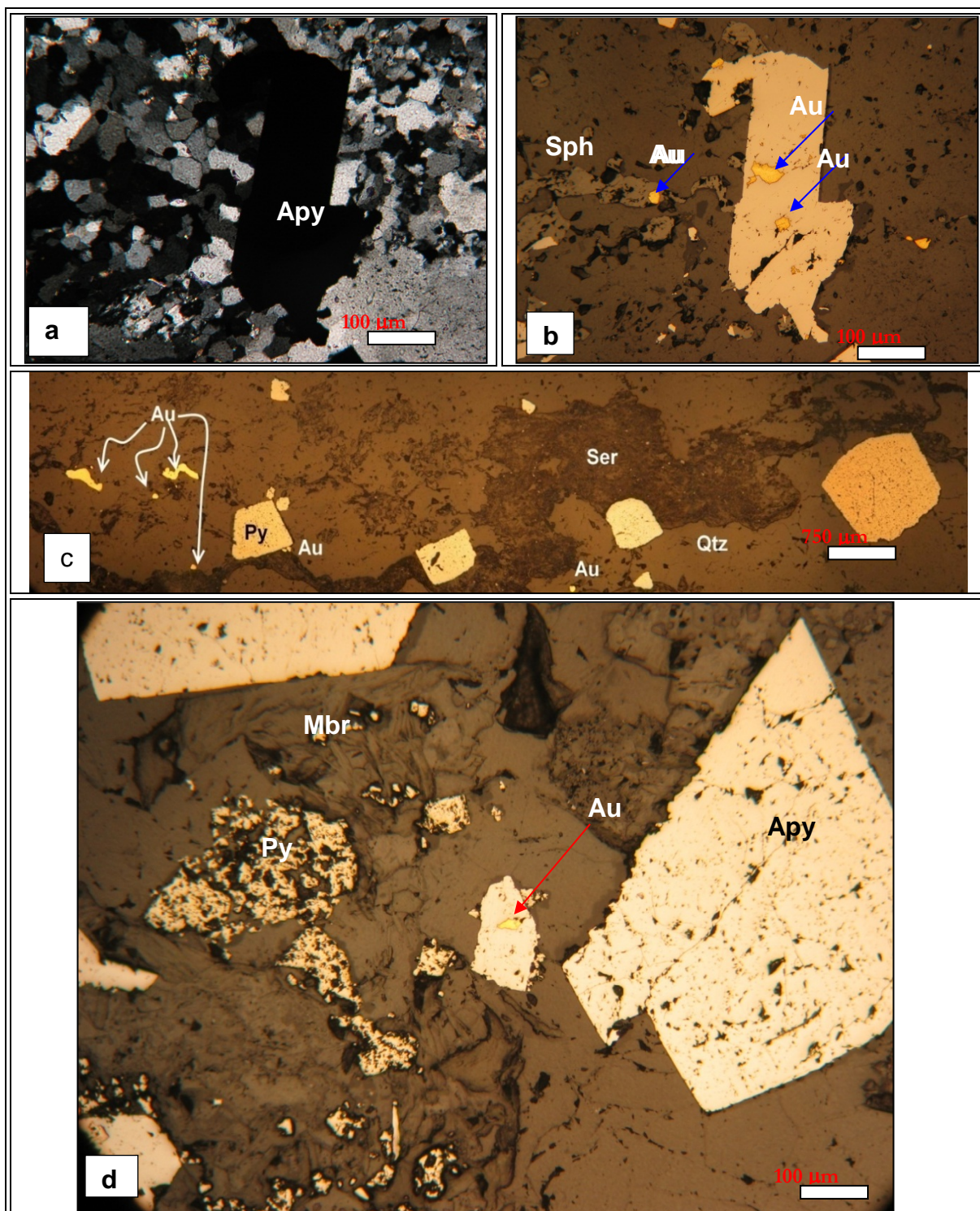


PRANCHA 4.35 - Fotomicrografias a) quartzo (qtz) e carbonato (carb) em contato poligonal e granulação fina. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); b) Mesma seção da fotomicrografia a na qual são ressaltados os cristais de arsenopirita (Apy). Luz refletida, nicóis descruzados, (25X); c) Quartzo (Qtz) e carbonato (Carb) de granulação média, bordas lobadas com vênulas de esfalerita. Faixa mica/sericita (Mbr/Ser) descontínua. Luz Transmitida, nicóis cruzados, (25X); d) Seção semelhante da fotomicrografia c na qual está evidenciado a esfalerita (Spy). Luz refletida, nicóis descruzados, (25X); e) Carbonato (Carb) e quartzo (Qtz) em franjas e associado com calcopirita. Luz refletida, nicóis cruzados, (50X); e) Mesma seção da fotomicrografia d na qual está ressaltado o cristal de pirita (Py). Luz refletida, nicóis descruzados (50X).

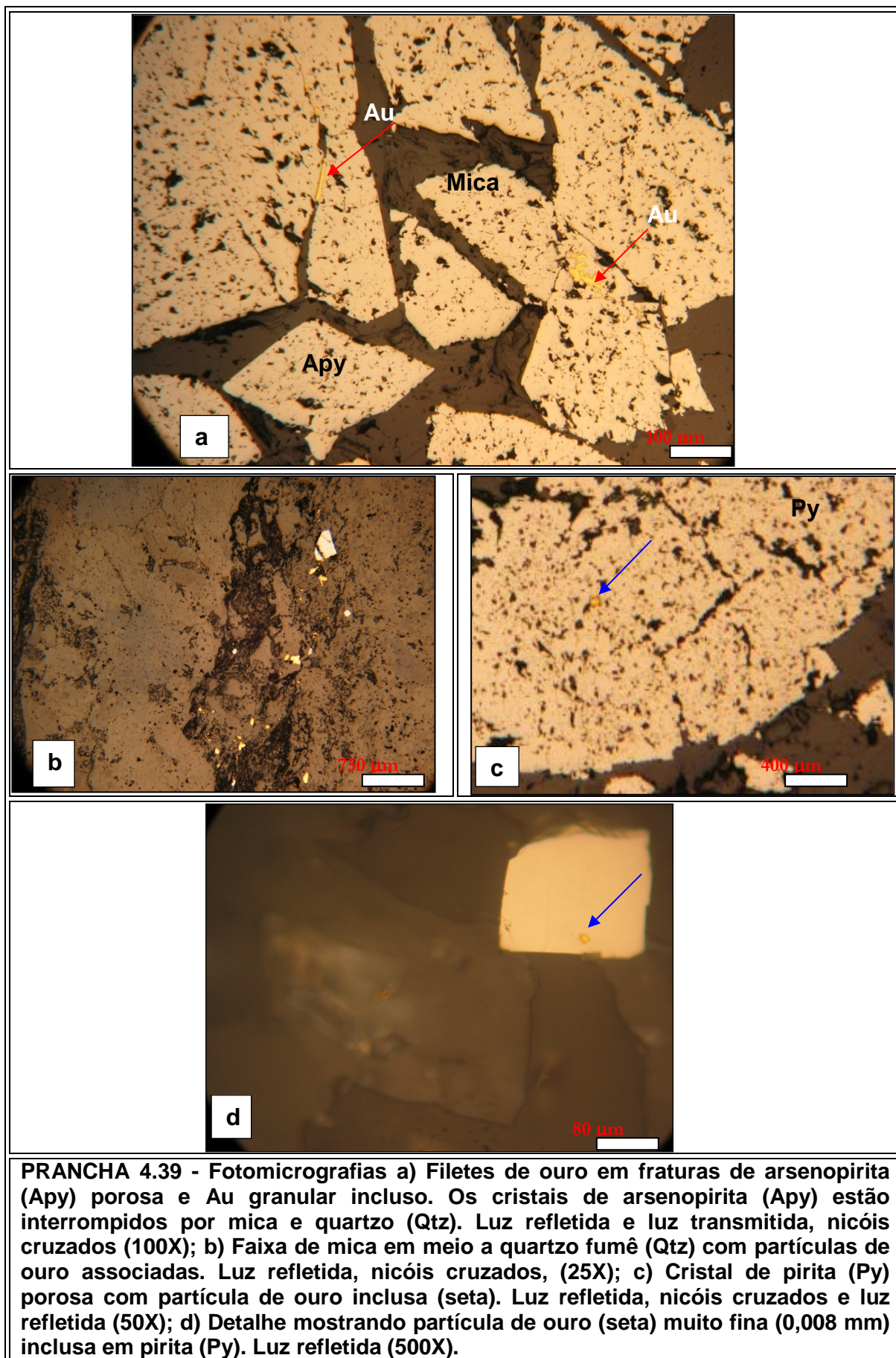


PRANCHA 4.36 - Fotomicrografias a) Cristais porosa e fraturados de pirita (Py), com cristais euédricos não porosos na borda (provável recristalização), envoltos por quartzo (Qtz), com faixas de matéria carbonosa (Mat Cb) e sericita (Ser). Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); b) Mesma seção de a sendo que neste caso estão ressaltados os cristais de pirita, Luz refletida, nicóis descruzados (25X); c) Arsenopirita (Apy) forma a custa de pirita (Py). Luz transmitida, nicóis descruzados (200X); d) Detalhe da arsenopirita (Apy) em contato com pirita. Luz transmitida, nicóis cruzados (200X); e) Detalhe mostrando finos cristais de pirita (Py) associados a carbonatos (Carb), prováveis porções reliquias de FFB, com arsenopirita (Apy) euédrica sobrecrescida, com inclusões de pirrotita (Po) (seta). Luz refletida (100X).





PRANCHA 4.38 - Fotomicrografias a) Cristais de quartzo no qual estão inclusas partículas de ouro. Luz transmitida, nicóis cruzados, (200X); b) Partículas de ouro (setas em azul) inclusas em pirita arsenical (Py), em esfalerita (Sph), e em meio a quartzo (Qtz). Luz refletida, nicóis cruzados (200X); c) Trilha de pirita (Py) e Au no contato fumê-faixa sericítica. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X); d) Detalhe mostrando partícula de ouro (0,06 mm) inclusa em arsenopirita (Apy), esta sobrecrescida em pirita porosa (Py) fina associada a Carb. Luz refletida (100X).



4.7 Xisto Carbonoso

Os xistos carbonosos ocorrem em contato inferior com a formação ferrífera bandada (PRANCHA 4.40 a), e são contínuos em todo o Depósito Lamego. Os contactos são nítidos, facilmente definidos, podendo ocorrer discordantes ou não. Em campo, são de fácil distinção devido a sua cor cinza escura a negra, serem intensamente foliados e exibirem um bom registro de lineações (PRANCHA 4.40 b). Ocorre com espessura de até 15-20 metros, sendo sua maior expressão no Corpo Cabeça de Pedra níveis 01 e 02.

Estas rochas são finamente laminadas, de granulação fina, textura lepidoblástica a granolepidoblástica, e compostas principalmente por matéria carbonosa, quartzo, clorita e carbonato.

Internamente, no xisto carbonoso, lentes de formação ferrífera bandada ocorrem;

- (i) dobradas (PRANCHA 4.40 c);
- (ii) concordantes (PRANCHA 4.40 d) com a foliação; e
- (iii) localmente invadidas por xisto carbonoso (PRANCHA 4.40 e).

Em (i) e (ii) a lente de formação ferrífera bandada exhibe dois níveis, um superior composto essencialmente por quartzo e outro inferior, composto principalmente por carbonato. Por outro lado, em (iii) carbonato é o mineral predominante.

O xisto carbonoso exhibe níveis de espessura milimétrica a centimétrica de:

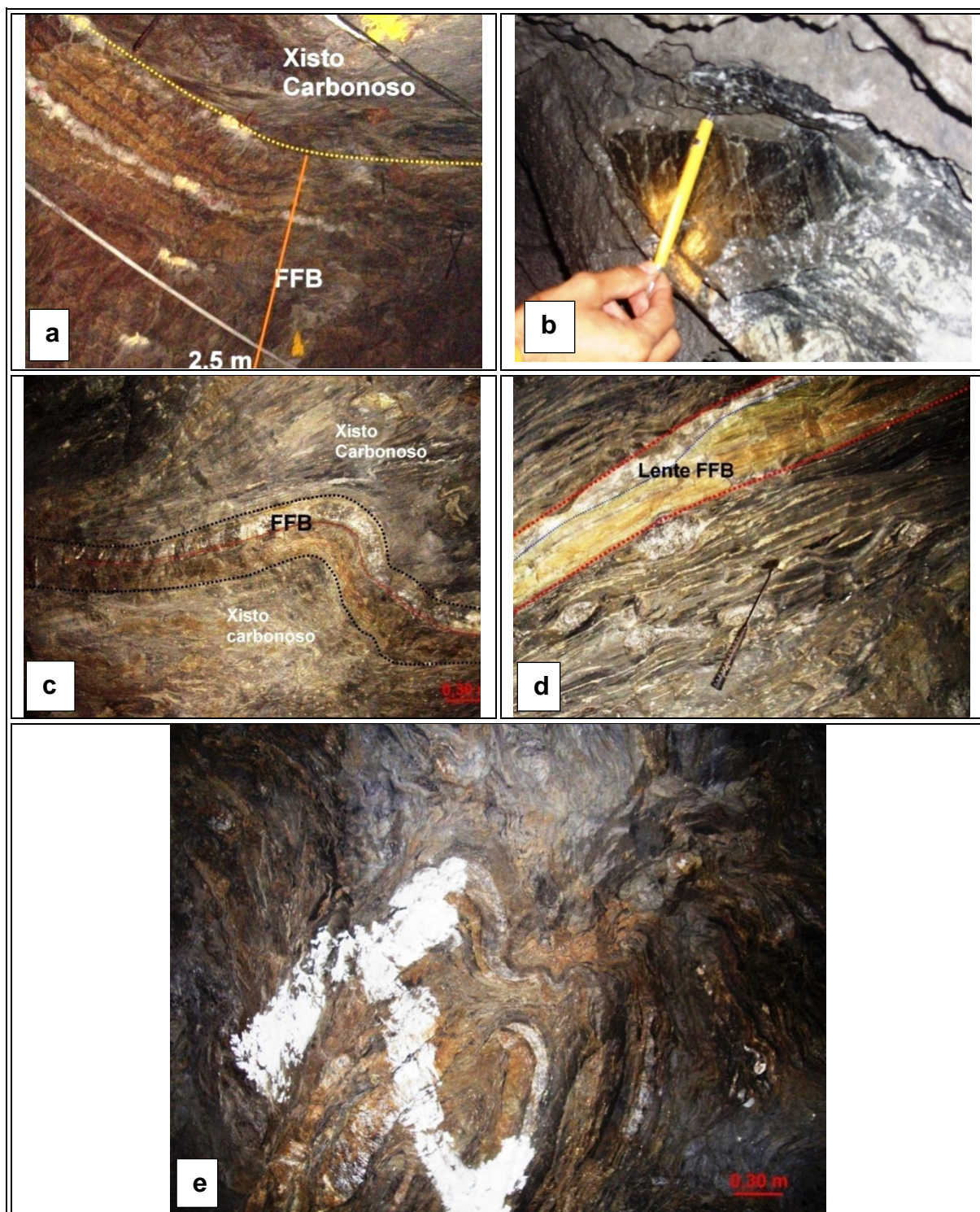
- (i) sulfeto maciço, que são descontínuos, estirados, dobrados e em círculo (PRANCHA 4.41 a, b, c);
- (ii) sulfetos-quartzo, que são contínuos e dobrados (PRANCHA 4.41 c, d e PRANCHA 4.42 d);

- (iii) quartzo-sulfeto, que são descontínuos e dobrados (PRANCHA 4.42 a);
- (iv) sulfetos-carbonato-quartzo, que são contínuos e dobrados (PRANCHA 4.42 d).

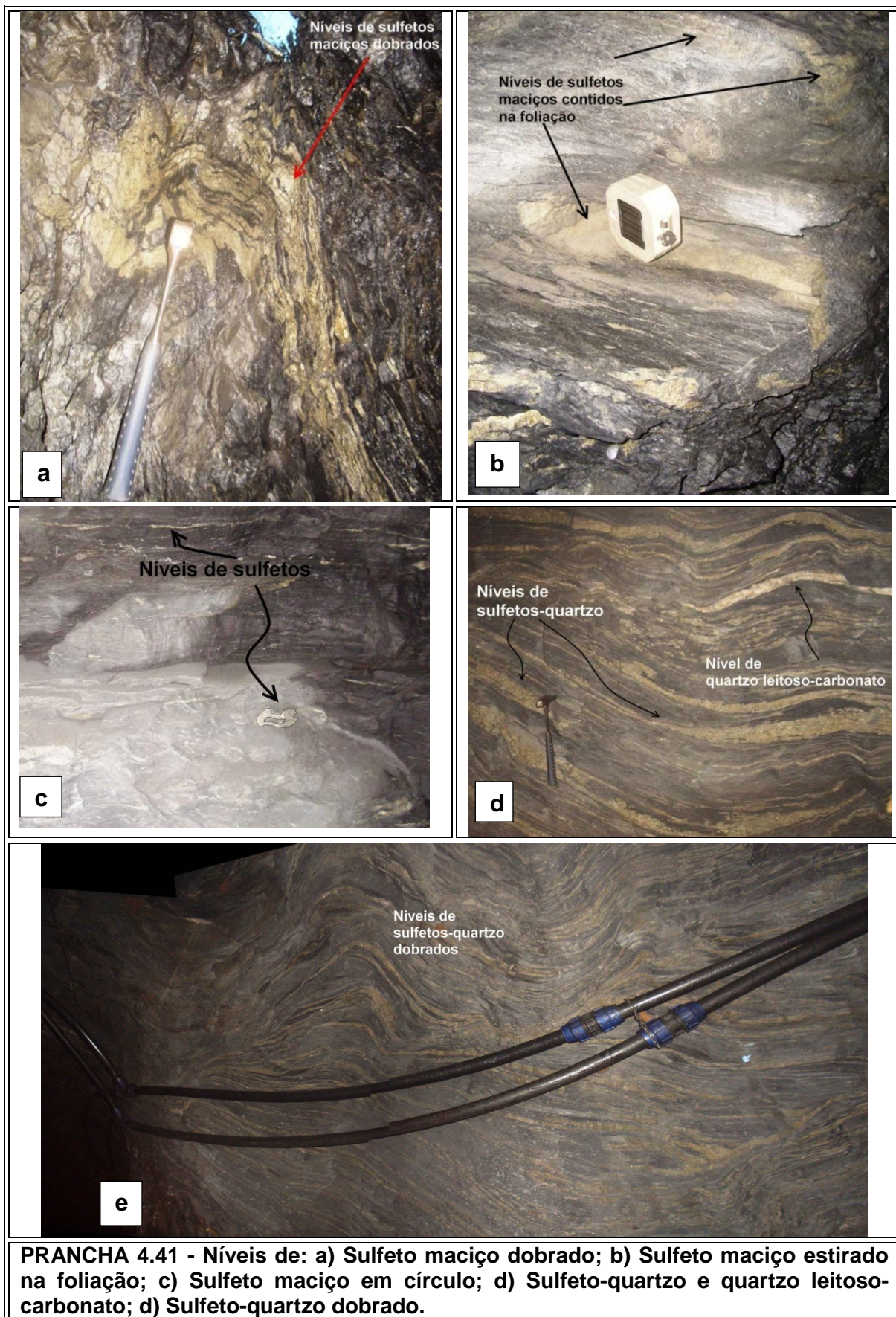
Subordinadamente ocorrem níveis descontínuos e milimétricos de:

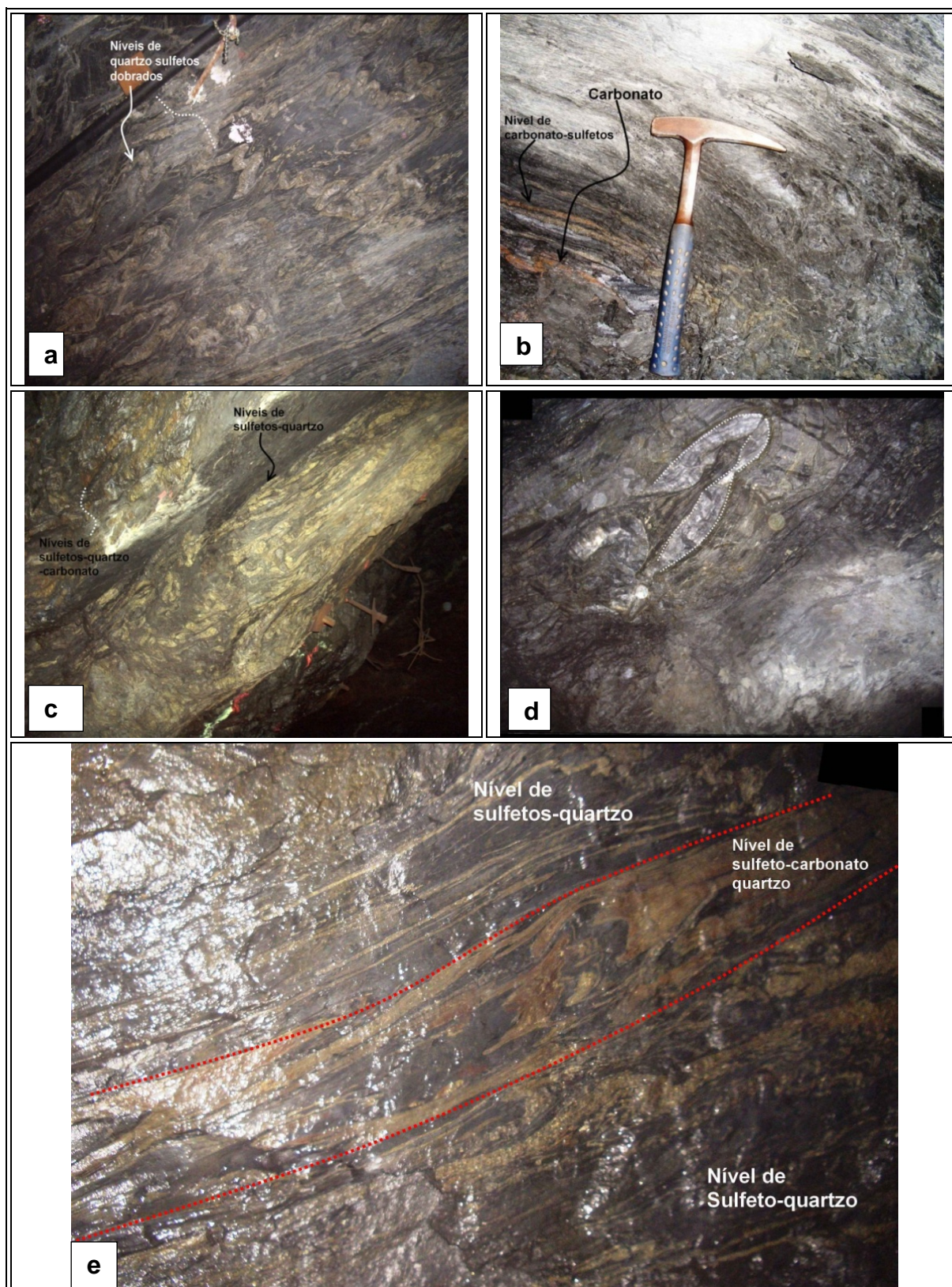
- (v) carbonato (PRANCHA 4.42 b);
- (vi) carbonatos-sulfeto (PRANCHA 4.42 b);
- (vii) quartzo leitoso-carbonato, que estão associados a zonas de falha (PRANCHA 4.41 d); e
- (viii) quartzo fumê, que invariavelmente estão dobrados (PRANCHA 4.42 d).

Especificamente no Corpo Cabeça de Pedra Nível 02 é observada a alternância dos níveis de sulfeto-quartzo e sulfeto-carbonato-quartzo (PRANCHA 4.42 d).



PRANCHA 4.40 - a) Xisto carbonoso em contato com formação ferrífera bandada; b) Planos de foliação bem definidos inclusive com bom registro de lineações; c) lente de formação ferrífera bandada exibindo dois níveis. Nível superior com predomínio de quartzo e inferior com carbonato; d) lente de formação ferrífera bandada concordante com a foliação, novamente dois níveis, um superior de quartzo e outro inferior de carbonato; e) xisto invadindo lente de formação ferrífera bandada dobrada.





PRANCHA 4.42 - Níveis de a) Quartzo-sulfeto dobrado; b) Carbonato e carbonato-sulfeto; c) Sulfetos-quartzo e sulfeto-quartzo-carbonato; d) Quartzo fumê dobrado; e) Sulfeto-quartzo e sulfeto-quartzo-carbonato alternados.

Ao microscópio os xistos carbonosos são compostos por matéria carbonosa (60%), quartzo (15%), carbonato (10%) e clorita (10%) (PRANCHA 4.43 a). Além de minerais acessórios (5%) de pirita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, covelita e pirita arsenical. É importante salientar que, dependendo da porção de rocha da qual a lâmina foi confeccionada, sulfetos podem perfazer até 40 % ou mais.

Quartzo ocorre em cristais poligonais, finos ou médios, alongados, com bordas lobadas e deformados do tipo fumê. Pode ocorrer orientado segundo a foliação, ou discordante desta. Quartzo da matriz da rocha possui granulação fina enquanto quartzo de veio é de granulação grossa (PRANCHA 4.43 b).

Carbonatos variam de subédricos a euédricos, alongados, de granulação média a grossa, orientados segundo a foliação e com bordas irregulares. Semelhante ao quartzo, carbonatos da matriz são finos e os de veios são grossos (PRANCHA 4.43 c).

Clorita forma finos cristais, anédricos a subédricos, por vezes crenulada, alternando-se com níveis de quartzo.

A pirita ocorre em quatro tipos de cristais:

- (i) finos, anédricos a subédricos, dispostos e orientados no bandamento (PRANCHA 4.44 a);
- (ii) médios a grossos, subédricos a euédricos, associados a bandas-porções de veios com quartzo e cristais reliquiares de magnetita (PRANCHA 4.44 b);
- (iii) grossos, porosos, subédricos, dispostos em veios de quartzo-carbonato e que apresentam rara ocorrência de esfalerita e bertierita (PRANCHA 4.44 c); e
- (iv) de euédricos a anédricos, subarredondados e, localmente, contém núcleos arredondados que parecem anteceder à pirita (PRANCHA 4.44 d, e,f).

Arsenopirita ocorre com granulação média à grossa, subédrica a euédrica e ocorre:

- (i) ao longo das bordas de pirita (PRANCHA 4.45 a); e
- (ii) intercalando-se em faixas de (a) clorita, carbonatos e quartzo, e (b) pirita, carbonatos, clorita e quartzo (PRANCHA 4.45 b). Arsenopirita forma principalmente à custa de pirita (PRANCHA 4.45 a).

Outros sulfetos são:

- (i) calcopirita, que ocorre anédrica a subédrica, de granulação fina e associada a carbonatos e quartzo (PRANCHA 4.45 c);
- (ii) rara covelita, com granulação fina, subédrica e associada a calcopirita e carbonatos; e
- (iii) rara esfalerita anédrica, e que também ocorrem associadas a calcopirita e carbonato (PRANCHA 4.45 c, d).

Rochas xistosas, mesmo ao microscópio, exibem um bom registro estrutural onde, para o caso em questão, as mais comuns são foliação (PRANCHA 4.40 b, c), franjas de quartzo-clorita (PRANCHA 4.43 c), franjas de quartzo que podem aparecer em torno dos sulfetos (PRANCHA 4.43 b), micro-bandamento, sigmóides em franjas de sulfetos (PRANCHA 4.43 a), algumas indicando rotação destes, faixas venulares paralelas à foliação e faixas dobradas de bandas carbonosas (PRANCHA 4.43 c).

A foliação ocorre principalmente pela orientação de matéria carbonosa e minerais como sericita, clorita e quartzo localmente anastomosada e rompida e, nesse caso, ocorrem níveis alternados de quartzo, clorita e sericita (PRANCHA 4.43b, c). Em zonas muito foliadas há presença de:

- (i) pirita;
- (ii) vênulas de quartzo em pente subparalelas a oblíquas à foliação com sulfetos e franjas de quartzo, e localmente clorita (PRANCHA 4.45 a, b).

Estas rochas exibem um micro-bandamento onde se intercalam bandas de:

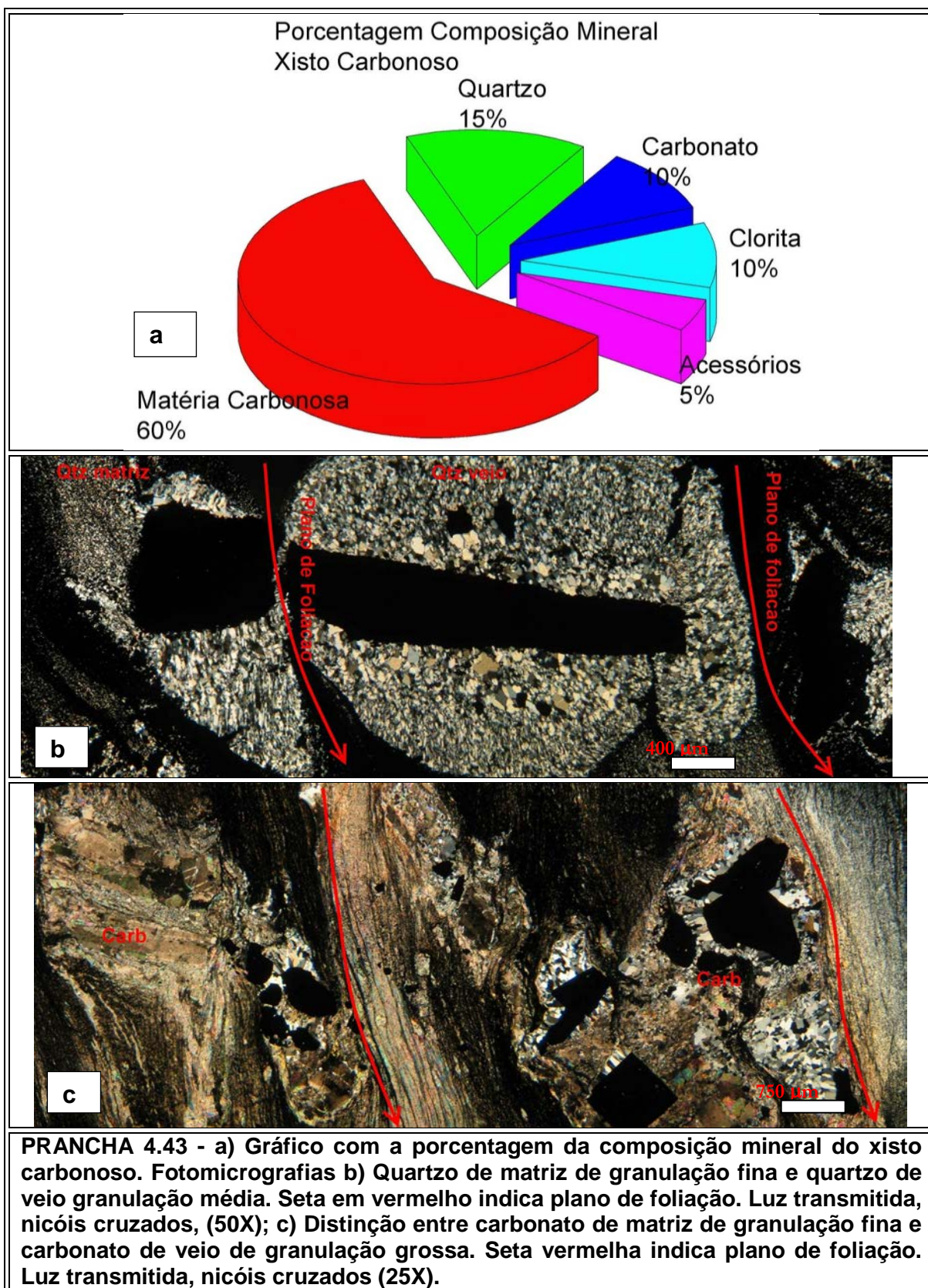
- (i) sericita-quartzo xisto foliado, na qual pirita-esfalerita estão subordinadas PRANCHA 4.46 a, b);
- (ii) matéria carbonosa e alguma pirita autigênica (PRANCHA 4.46 a, b);
- (iii) cristais muito finos de pirita, pirita mais grossa e franja de quartzo de origem hidrotermal, principalmente em virtude do tamanho dos cristais (PRANCHA 4.46 c, d);
- (iv) bandas de carbonatos e matéria carbonosa, oblíquas às demais (PRANCHA 4.46 e);.

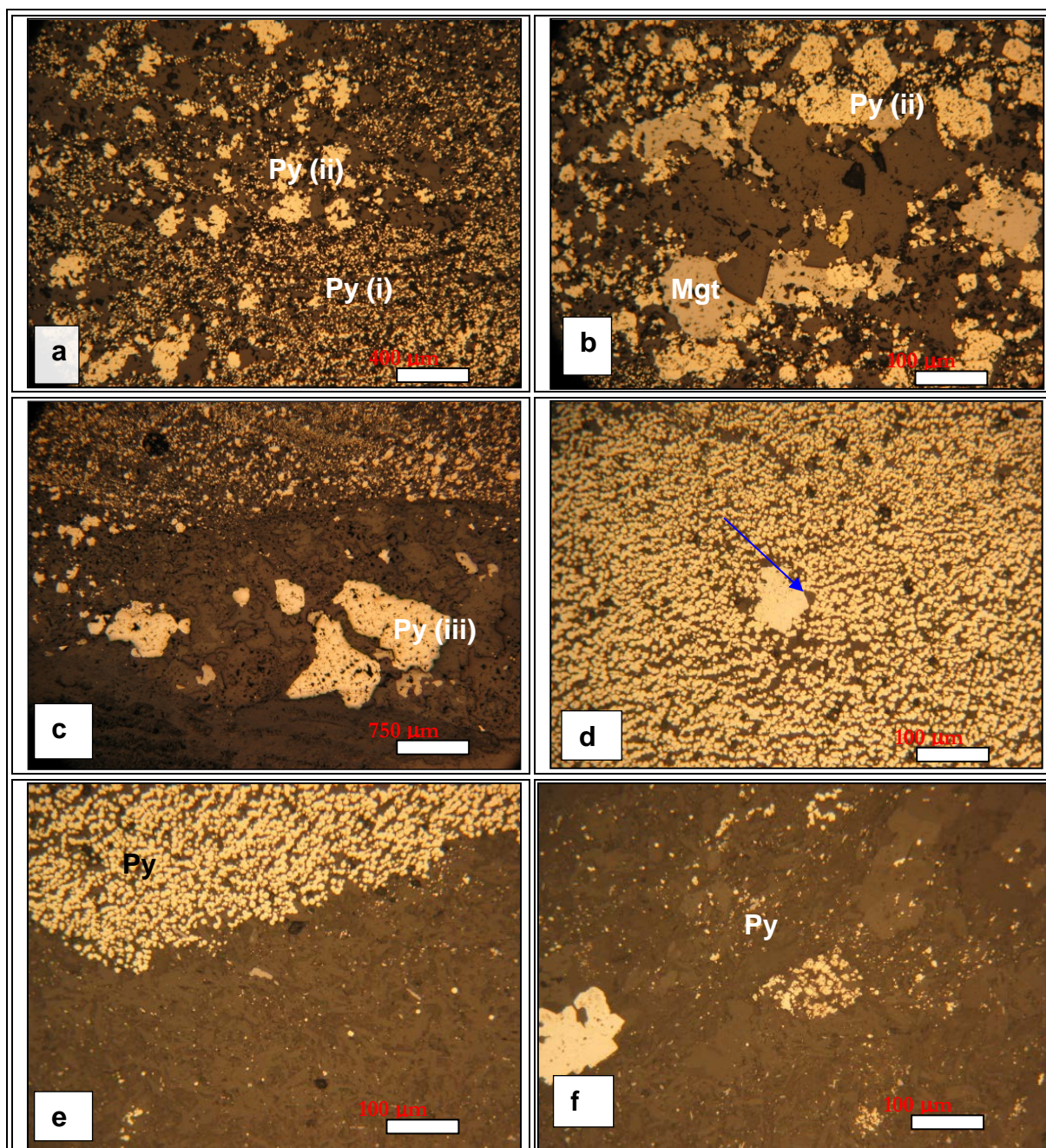
Feições reliquiares observadas são:

- (i) xisto em meio às porções de veio (PRANCHA 4.45 a);
- (iii) massas de pirita aparentemente framboidal (PRANCHA 4.44 d) no que, originalmente, poderia ser um folhelho negro piritoso.

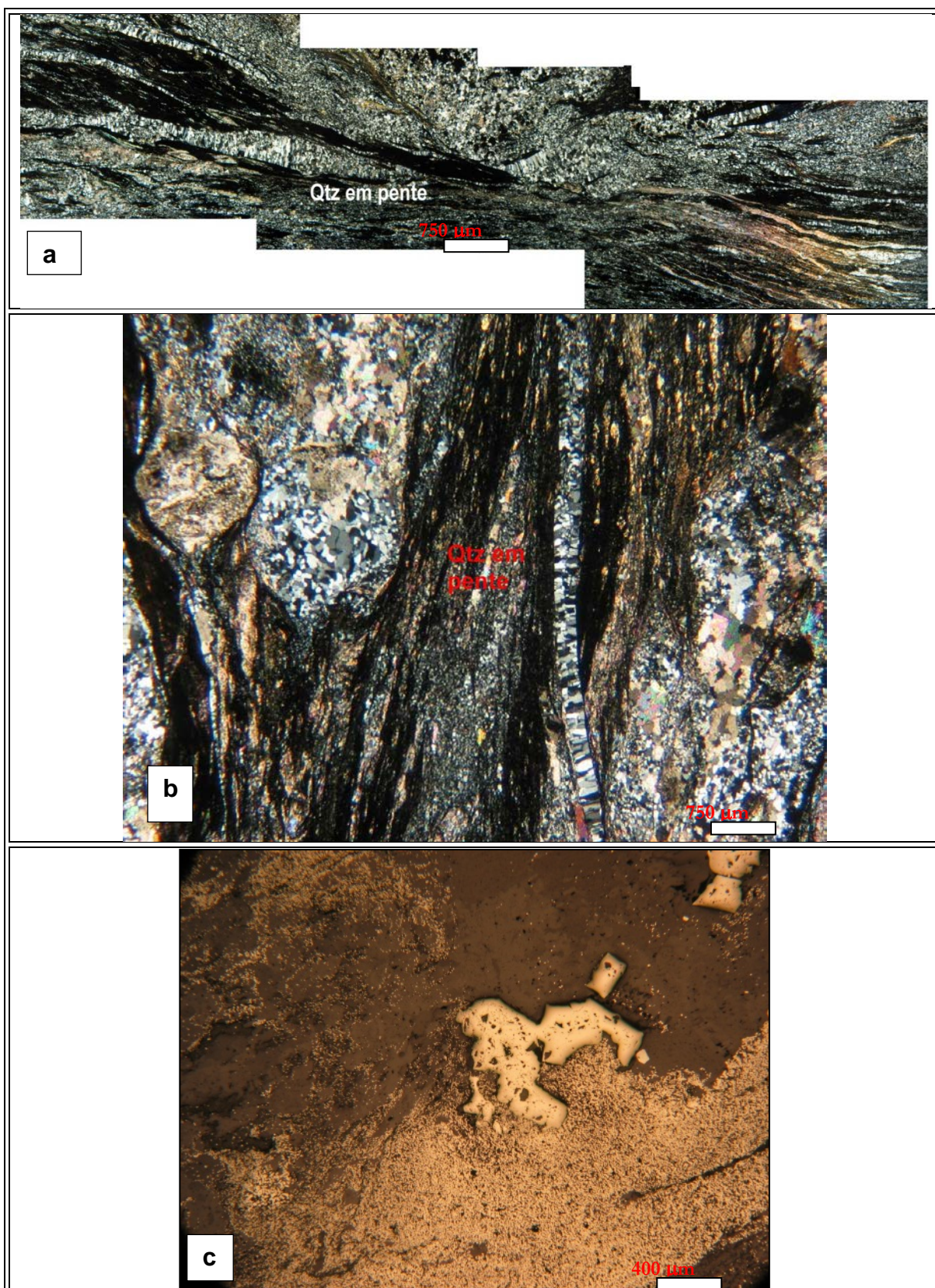
Os tipos de alterações que predominam são silicificação, sulfetação e carbonatação.

A silicificação ocorre predominantemente na forma de quartzo fumê. Já a sulfetação é caracterizada pela pirita euédrica hidrotermal (PRANCHA 4.46 c, d), que parece crescer à custa da pirita fina autigênica. Esta mesma pirita pode apresentar-se recristalizadae/ou parcialmente a totalmente arsenicalcom “manchas” de arsenopirita porosa.

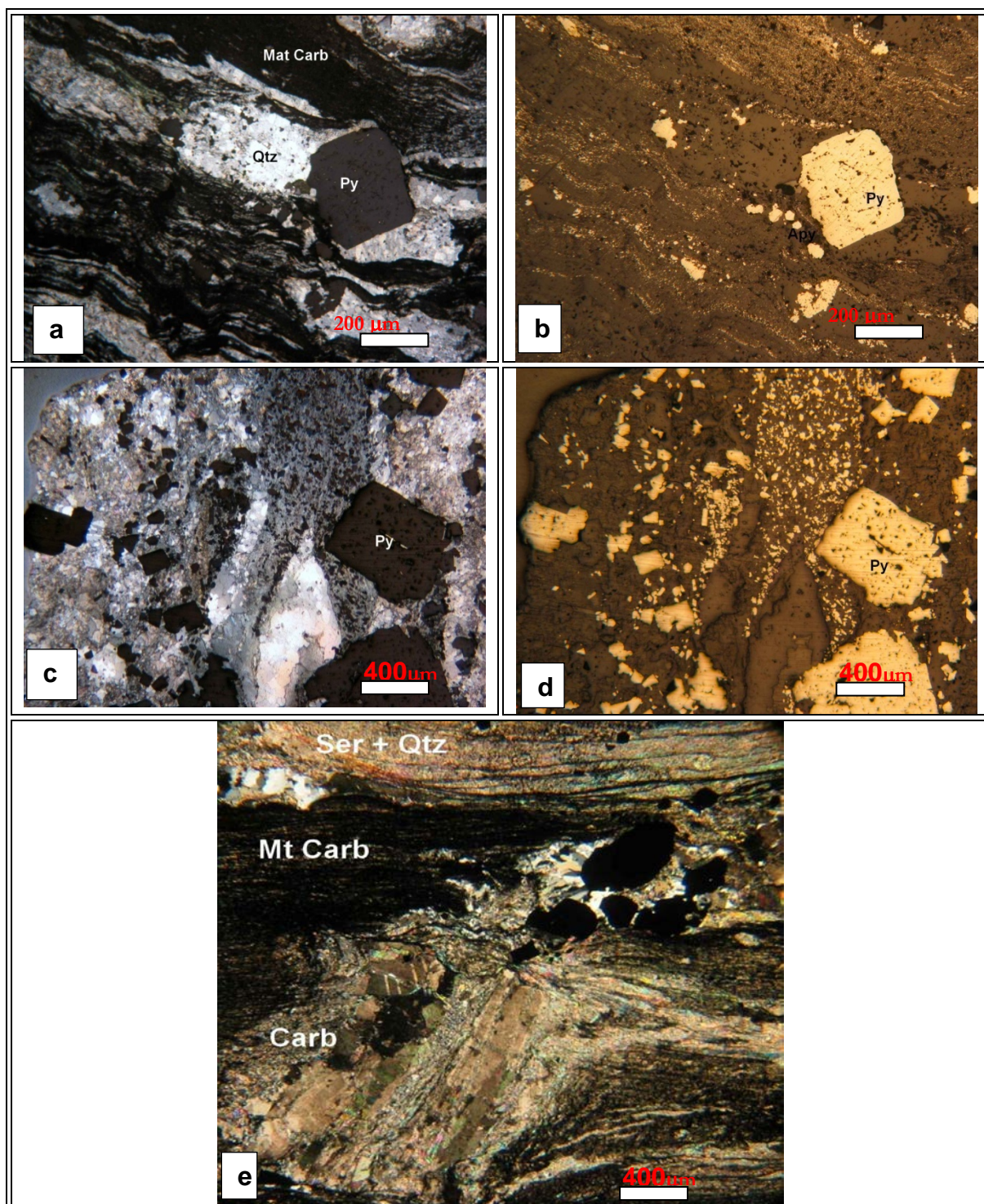




PRANCHA 4.44 - Fotomicrografias a) Cristais de pirita (Py) (i) muito fina no bandamento e (ii) mais grossa amarela sub-euédrica associada a bandas e/ou porções de veios com quartzo (Qtz) poligonal. Luz refletida, nicóis cruzados, (50X); b) Rocha microbandada com pirita (Py) (i) fina, e pirita (Py) mais grossa associada a magnetita (Mag) e quartzo poligonal (Qtz). c) Cristais de pirita (Py) (iii) mais grossa, porosa em veio de quartzo-carbonato (Qtz-Carb), e cristais muito finos de pirita (Py) em microbandas (parte superior da foto). Luz refletida, nicóis cruzados e luz (25X); d) Visão geral mostrando cristais muito finos e arredondados de pirita (Py) (iv), e) cristal de arsenopirita (Apy-seta azul) associado. Luz refletida (200X); f) Concentração de pirita (Py) fina, provavelmente framboidal. Luz refletida (200X).



PRANCHA 4.45 - Fotomicrografias a) Quartzo perpendicular a foliação em estrutura em pente. Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X); b) Detalhe do quartzo em estrutura em pente. Luz transmitidas, nicóis cruzados, (25X), c) Pirita (Py) euédrica hidrotermal parece crescer a custa da Pirita (Py) fina autigênica. Luz refletida (50X).



PRANCHA 4.46 - Fotomicrografias a) Alternância de bandas de matéria carbonosa e sericita-quartzo com presença de pirita (Py), arsenopirita (Apy) e esfalerita (Sph). Luz transmitida, nicóis cruzados (100X); b) Mesma porção de a com luz refletida, nicóis descruzados, (100X), c) Cristais de pirita (Py) e arsenopirita (Apy) em granulação fina e grossa e associado a quartzo (Qtz). Luz refletida, nicóis cruzados, (25X); d) Mesma seção da foto c, mas com nicóis cruzados, (25X), e) Carbonato (Carb) oblíquo as demais bandas. Luz transmitida, nicóis cruzados, (25X).

4.8 Metapelitos

Xistos metapelíticos têm suas melhores exposições nos Corpos Arco da Velha Nível 01 e Carruagem Nível 02, nos quais são observados pacotes bem espessos da ordem de mais de 10 metros. A cor é uma característica distintiva, já que variam de esverdeados a cinza claro. Também podem ser reconhecidos pela presença de estratificação gradacional composicional preservada e clivagem de crenulação (vide descrição Capítulo 5 seção 5.3). Subordinadamente ocorrem sigmóides centimétricos de quartzo leitoso cortando os planos de foliação, quartzo fumê e níveis milimétricos de quartzo-sulfeto (PRANCHA 4.47 a, b).

Microscopicamente, a rocha é constituída por quartzo, carbonato, sericita/muscovita, pirita, calcopirita e esfalerita.

Quartzo ocorre em dois tipos:

- (i) granulação fina, é inequigranular, e exhibe contatos poligonais;
- (ii) subordinadamente quartzo deformado, de borda lobada e granulação média a grossa (PRANCHA 4.47 c, d).

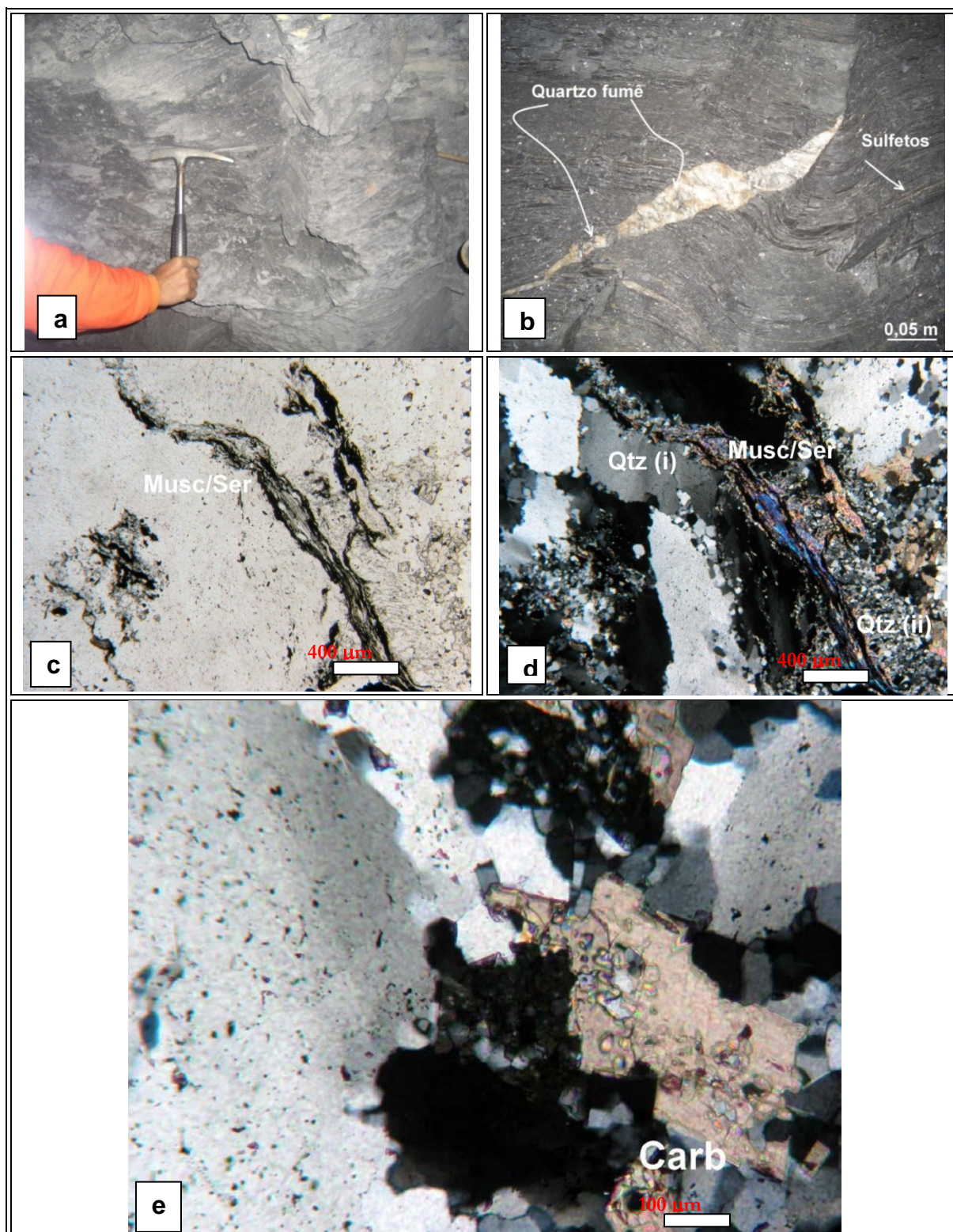
Carbonato comumente é subédrico, com bordas irregulares, e alongadas segundo a foliação principal. O carbonato está tanto nos níveis micáceos quanto quartzosos (PRANCHA 4.47 e).

Sericita/muscovita ocorre em agregados anédricos a subédricos, finos e fibrosos. Estes minerais definem a foliação da rocha devido à sua orientação preferencial, e ocorrem em microbandas paralelas aos níveis quartzosos (PRANCHA 4.47 c, d). Por vezes a foliação pode apresentar-se crenulada.

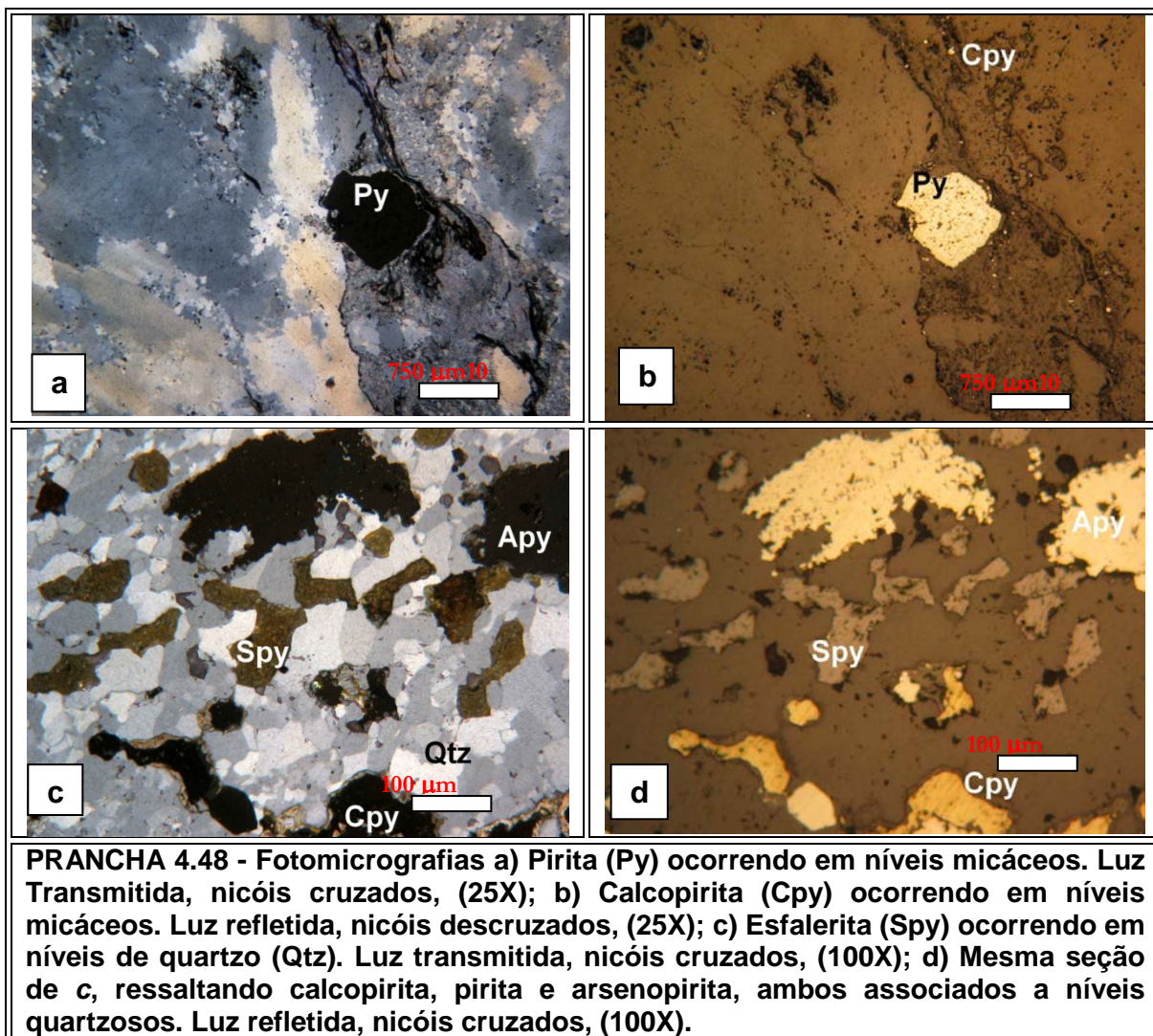
Os sulfetos predominantes são pirita, arsenopirita, esfalerita e calcopirita. Pirita apresenta granulação média a grossa, subédrica a euédrica, ocorre no contato entre os níveis quartzosos e micáceos, e geralmente está associada com calcopirita muito fina, subédrica a euédrica e que predomina nos níveis micáceos (PRANCHA 4.48 a, b). Já esfalerita apresenta-se anédrica, de granulação fina a média e está associada principalmente aos níveis quartzosos (PRANCHA 4.48 c, d).

Nos xistos metapelíticos predominam silicificação, que ocorre como quartzo fumê, e sulfetação na forma de pirita comumente poiquiloblástica que se altera para arsenopirita e apresenta inclusões de carbonato, quartzo e esfalerita.

No QUADRO 4.2 são apresentados resumos das principais características petrográficas dos tipos litológicos do Depósito Lamego.



PRANCHA 4.47 - Exposição de metapelite em subterrâneo: a) predomínio de cor cinza, Corpo Arco da Velha Nível 01; b) sigmóide centimétrico de quartzo leitoso e níveis de quartzo e sulfetos, Corpo Carruagem Nível 02. Fotomicrografias c) Sericita/muscovita (Musc/Ser) fibrosos. Luz transmitida, nicóis descruzados, (50X); d) Dois tipos de quartzo (qtz) (i) tipo fumê e (ii) poligonal. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X); e) Carbonato (Carb) subédrico e bordas irregulares. Luz transmitida, nicóis cruzados (100X).



QUADRO 4.2
Tabela com o resumo das principais características petrográficas dos litotipos
do Depósito Lamego

(Continua)

Rocha	Tipo	Associação Mineralógica		Principais Feições	Estruturas	Observações	
		Transparentes	Opacos			Feições Relíquias	Alteração Hidrotermal
Metandesito	Metandesito cloritizados, Carbonato-sericita xisto, Sericita-carbonato xisto, Sericita xisto venulados, Xistos venulados,	Sericita, Clorita, Carbonato, Quartzo, Titanita, Plagioclásio, Epidoto, Anfibólio, Turmalina, Clinzoisita, Piroxênio,	Pirita, Ilmenita, Titanita, Calcopirita, Arsenopirita, Covelita Esfalerita, Ouro, Pirita arsenical,	Granulação: Fina Fina a média; Grossa; Forma: Anédricos, Subédricos a euédricos, Textura: Granoblástica, Nematoblástica	Boundinagem; Franjas de quartzo; Veios de quartzo- carbonato com sulfetos; Foliação; Crenulação;	Plagioclásio; Bandamento definido por trilhas ricas em sulfetos;	Cloritização; Carbonatação; Sericitização; Silicificação
Metachert	<i>Metachert</i> , <i>Metachert</i> carbonático recristalizado ou não, <i>Metachert</i> venulado sulfetado ou não, <i>Metachert</i> micro- bandado ferruginoso,	Quartzo, Carbonatos, Clorita, Matéria carbonosa, Sericita, Rutilo,	Pirita, Arsenopirita, Calcopirita, Esfalerita, Pirrotita, Pirita arsenical,	Bandas Sericita, matéria carbonosa e pirita, Quartzo com ou sem carbonato e pirita, Granulação: Fina, Fina a média Forma: Subédrico a euédrico; Texturas Pente, <i>Stackwork</i> ,	Contatos podem ser poligonais e/ou lobados, Franja de quartzo e carbonato, Veios de quartzo fumê,	Bandamento original preservado, Quartzo vulcânico Bandas piritosas originais Pirita autigênica recristalizada.	Pirita porosa e poiquiloblástica Sulfetação tardi- a pós carbonatação, Silicificação, com quartzo deformado Veios de quartzo deformado, Veios de quartzo fumê discordantes do bandamento,
Formação Ferrífera Bandada-FFB	FFB, FFB sulfetada, FFB com bandas de magnética e pirita hidrotermais;	Quartzo, Carbonato, Clorita, Sericita, Matéria Carbonosa, Mica Branca,	Arsenopirita, Pirita, Calcopirita, Ouro, Rutilo, Esfalerita, Pirrotita, Magnetita,	Bandamento Alterado: Bandas alteradas a carbonato e sulfetadas, com clorita, Predominantem- ente quartzo com menor proporção de carbonatação e sulfetos são raros, Bandamento Preservado Grão fino compostos por quartzo e carbonato, com contatos poligonais a irregulares Grão fino a médio, compostas por quartzo, carbonatos, pirita e arsenopirita de granulação fina a média,	Banda- mento Franjas de quartzo e carbonato Contatos podem ser poligonais e/ou lobados, Veios de quartzo fumê;	Bandamento preservado; Bandamento fortemente descaracterizad- o pela silicificação; Banda de <i>metachert</i> preservada, também invadida por quartzo poligonal com recristalização em quartzo fumê,	Silicificação, Sulfetação, Carbonatação,

QUADRO 4.2

Tabela com o resumo das principais características petrográficas dos litotipos do Depósito Lamego

(Continua)

Rocha	Tipo	Associação Mineralógica		Principais Feições	Estruturas	Observações	
		Transparentes	Opacos			Feições Reliquiárias	Alteração Hidrotermal
Zonas de Silicificação	<p>Quartzo fumê com FFB sulfetadas ou não</p> <p>Quartzo fumê com faixas de xistos sulfetados ou não</p> <p>Quartzo fumê sulfetados ou não</p> <p>Quartzo fumê associado com quartzo leitoso</p>	<p>Quartzo,</p> <p>Carbonato,</p> <p>Mica,</p> <p>Clorita</p> <p>Matéria Carbonosa,</p> <p>Muscovita,</p> <p>Mica,</p> <p>Sericita,</p>	<p>Pirita,</p> <p>Calcopirita,</p> <p>Esfalerita,</p> <p>Galena</p> <p>Arsenopirita,</p> <p>Tenantita-tetraedrita,</p> <p>Ouro,</p> <p>Pirrotita</p>	<p>Quartzo de granulação grossa, deformado, com bordas lobadas,</p> <p>Quartzo e carbonatos de granulação fina a média, associada aos sulfetos,</p> <p>Inclusões fluidas bifásicas (líquido e vapor)</p> <p>Cristais estirados em faixas-vênulas</p> <p>Somente quartzo apresenta contatos poligonais</p>	<p>Discreto bandamento</p> <p>Um mais rico em quartzo fino poligonal, com sulfetos e carbonatos subordinados</p> <p>Outra mais rica em carbonato, com sulfetos e algum quartzo associado.</p> <p>Franjas de recristalização ou Foliação incipiente</p>	<p>Relictos de FFB</p> <p>Relictos de xistos carbonosos</p>	<p>Silicificação carbonatação, Sulfetação, Sericitização</p> <p>Três tipos de quartzo (i) denominado como pele de onça; (ii) poligonal, fino e produto da recristalização do (i); e (iii) um terceiro quartzo limpo, comumente em torno dos sulfetos, por vezes estirados</p>
Xisto Carbonoso	<p>Xisto carbonoso piritoso,</p> <p>Xisto carbonoso sulfetado,</p> <p>Xisto carbonoso venulado dobrado ou não,</p> <p>Xisto carbonoso venulado e sulfetado</p>	<p>Carbonato,</p> <p>Quartzo,</p> <p>Clorita,</p> <p>Sericita,</p> <p>Matéria Carbonosa</p>	<p>Pirita,</p> <p>Arsenopirita,</p> <p>Calcopirita,</p> <p>Esfalerita,</p> <p>Covelita,</p> <p>Pirita</p> <p>Arsenical,</p>	<p>Faixas // a foliação formadas por: Matéria carbonosa-sericita-quartzo com cristais muito finos de sulfetos, Quartzo e carbonatos,</p> <p>Micro-bandamento: Sericita-quartzo xisto foliado, com clivagem de crenulação S_3,</p> <p>Matéria carbonosa;</p> <p>Cristais muito finos de pirita,</p> <p>Bandas de carbonatos e matéria carbonosa,</p>	<p>Foliação, Crenulação, Franja de quartzo-clorita</p> <p>Franjas de quartzo-clorita,</p> <p>Franjas de quartzo em torno de sulfetos, Sigmóides em franjas sulfetos, algumas indicam rotação destes.,</p> <p>Faixas venulares paralela à foliação,</p> <p>Faixas dobradas de bandas carbonosas.</p>	<p>Xisto em veio, Foliação (S_{n+1}) perpendicular ao bandamento;</p> <p>Pirita autigênica;</p> <p>Prováveis massas de pirita framboidal, no que, originalmente, era um folhelho negro piritoso, Foliação dada pela orientação da sericita, localmente anastomosada</p>	<p>Silicificação: Quartzo de granulação média e bordas lobadas</p> <p>Sulfetação</p> <p>Três formas de pirita:</p> <p>(i) muito fina no bandamento,</p> <p>(ii) mais grossa, euédrica associada a bandas de veios com quartzo poligonal,</p> <p>(iii) mais grossa limpa em veio de quartzo-carbonato</p>

QUADRO 4.2
Tabela com o resumo das principais características petrográficas dos litotipos
do Depósito Lamego

(Conclusão)

Rocha	Tipo	Associação Mineralógica		Principais Feições	Estruturas	Observações	
		Transparentes	Opacos			Feições Relíquias	Alteração Hidrotermal
Metapelito	Xisto Pelítico	Quartzo Carbonato Sericita/Muscovita	Pirita Arsenopirita e Esfalerita	Quartzo Granulação fina e contatos poligonais, juntamente com sericita e carbonato, Deformado, de borda lobada e granulação média a grossa	Franjas de quartzo, Foliação,	Foliação definida por sericita e matéria carbonosa,	Silicificação Por quartzo fumê Sulfetação Pirita comumente poiquiloblástica que altera para arsenopirita

5. GEOLOGIA ESTRUTURAL DO DEPÓSITO LAMEGO

A macroestrutura da jazida Lamego é uma dobra anticlinal reclinada do tipo 2, Ramsay (1966). Tem 4,8 km de perímetro aflorante, eixo com orientação noroeste-sudeste, zona de charneira espessada e flancos adelgaçados que mergulham com ângulos de 20° a 30° para sudeste, conforme ilustrado na FIGURA 5.1.

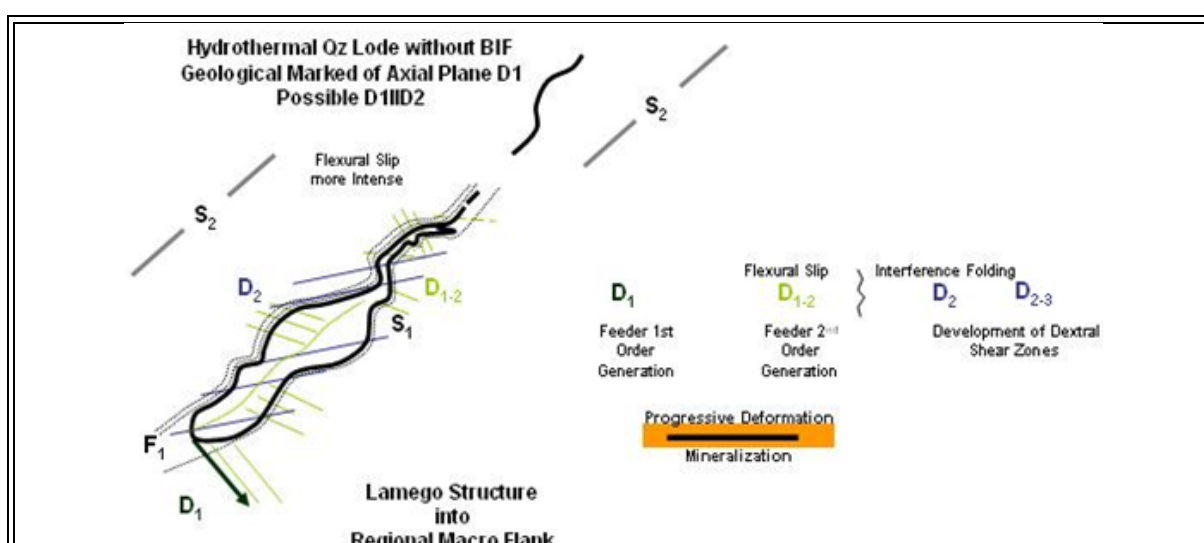


FIGURA 5.1 - Ambiente geológico estrutural, Depósito Lamego.
Fonte: AngloGold Ashanti (2007).

Durante a atividade de mapeamento foram realizadas medidas de bússola ao longo de todos os corpos mapeados. As mesmas são apresentadas na **TABELA 5.1**.

TABELA 5.1

Resumo da produção das atividades de mapeamento e levantamento de dados estruturais.

(Continua)

Corpo de Minério	Nível	Número de Medidas
Queimada	01	368
Arco da Velha	01	640
	02	507

TABELA 5.1

Resumo da produção das atividades de mapeamento e levantamento de dados estruturais.

(Conclusão)

Corpo de Minério	Nível	Número de Medidas
Cabeça de Pedra	01	734
	02	341
Carruagem	01	431
	02	308
Total	07	3329

5.1 Estruturas Primárias (Acamamento - S_0)

As estruturas planares mais antiga em Lamego são as estruturas primárias- (S_0). A deformação e o metamorfismo, de maneira geral, durante os eventos D_{1-2} e D_3 tendem a transpô-la parcial ou totalmente. Mesmo com eventos deformacionais consecutivos e intensos, D_{1-2} e D_3 , existem porções com estruturas primárias preservadas, tais como bandamento composicional e bandamento gradacional.

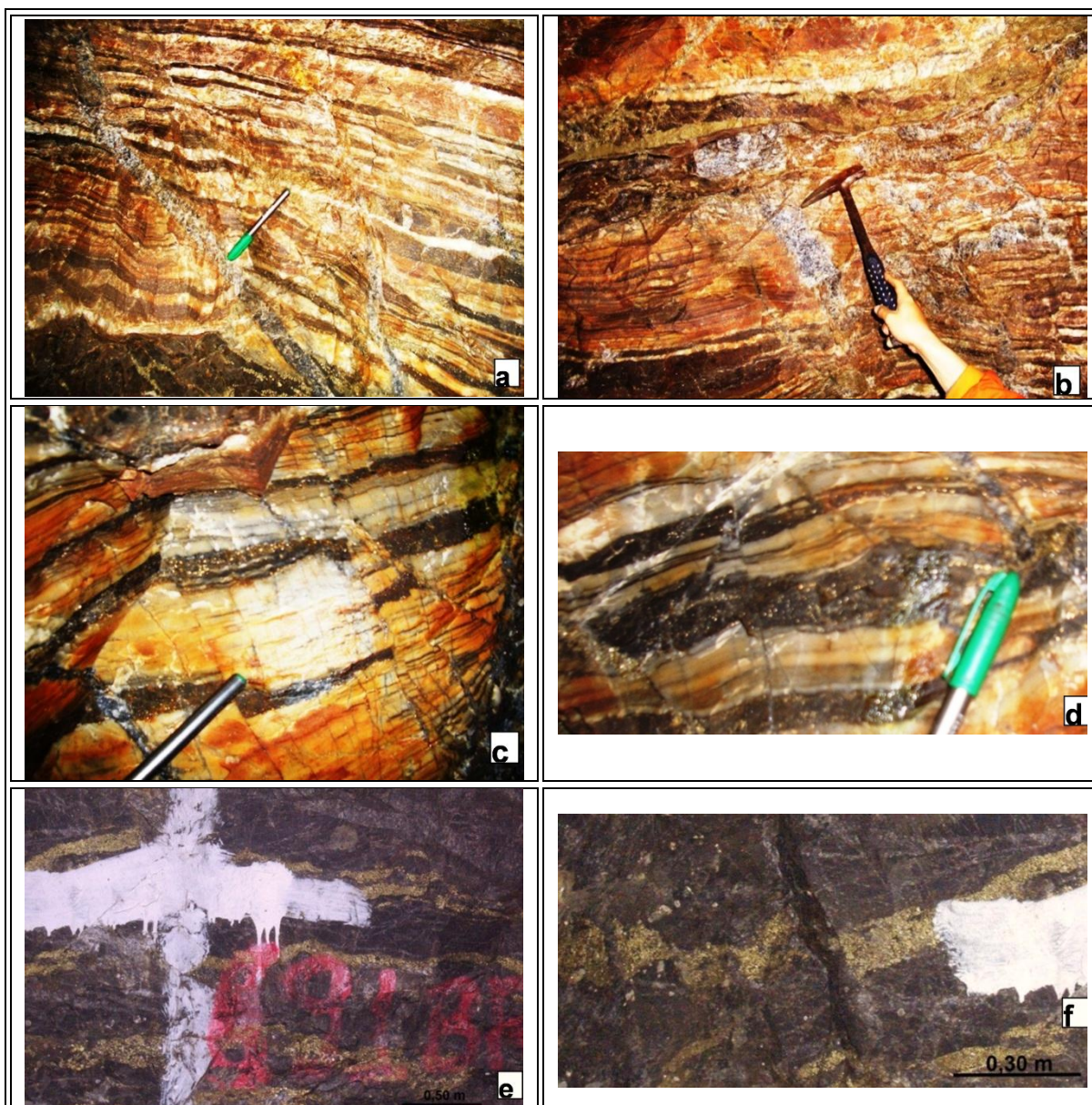
O bandamento composicional na FFB é bem definido e marca a superfície de deposição. O bandamento é representado pela alternância de horizontes subcentimétricos em tons de cinza claro e escuro, de quartzo e carbonato, mais ou menos carbonosos (PRANCHA 5.1 a, b). Localmente, ocorrem tons avermelhados e avermelhado-amarronzados, estes últimos refletindo composição carbonática, nos quais costuma ocorrer sulfetação, obliterando parcial- ou totalmente o bandamento (PRANCHA 5.1 c, d, e). A ocorrência do acamamento primário em outros tipos litológicos é rara.

A identificação da estrutura S_0 nos xistos carbonosos se dá pelo reconhecimento de granulação fina marcada por uma sucessão subcentimétrica de níveis escuros

(preto) e claros (branco) (PRANCHA 5.2 a). Devido a grande ocorrência e continuidade das camadas de xisto carbonoso a mesma serve como horizontes guias.

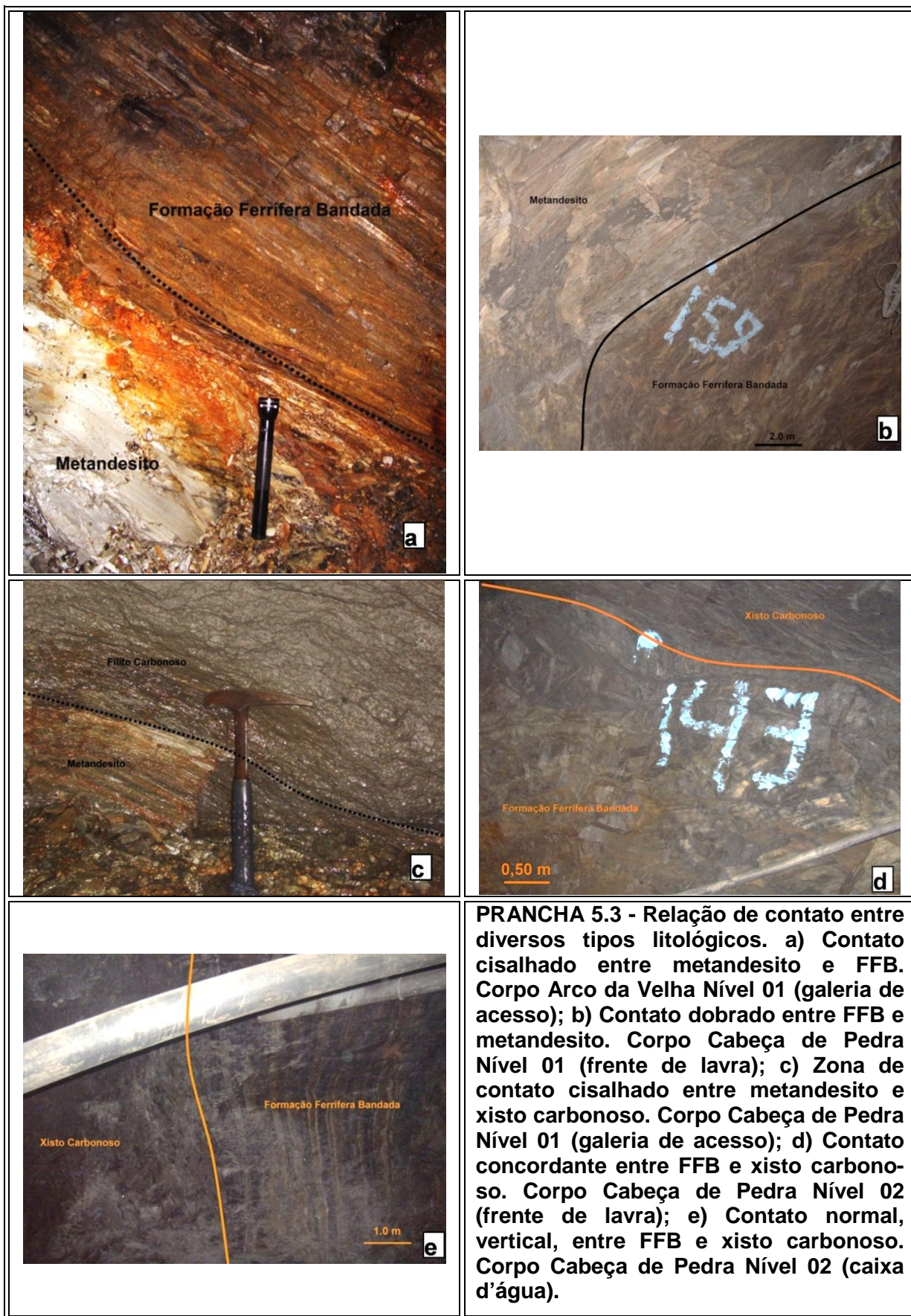
Nos poucos locais onde foi possível acessar os metapelitos, no corpo Carruagem e Arco da Velha Nível 01 e Cabeça de Pedra Nível 02, o acamamento primário S_0 é reconhecido pela variação de tons cinza a cinza-esverdeado. Esse acamamento é interpretado como representativo de ciclos de deposição e/ou estratificação que resultaram na formação de um acamamento rítmico composicional da ordem de até 1 cm (PRANCHA 5.2 b). Os estratos cinza correspondem a níveis pelíticos de granulação mais fina e nos quais se observa inflexão de clivagem (PRANCHA 5.2 c).

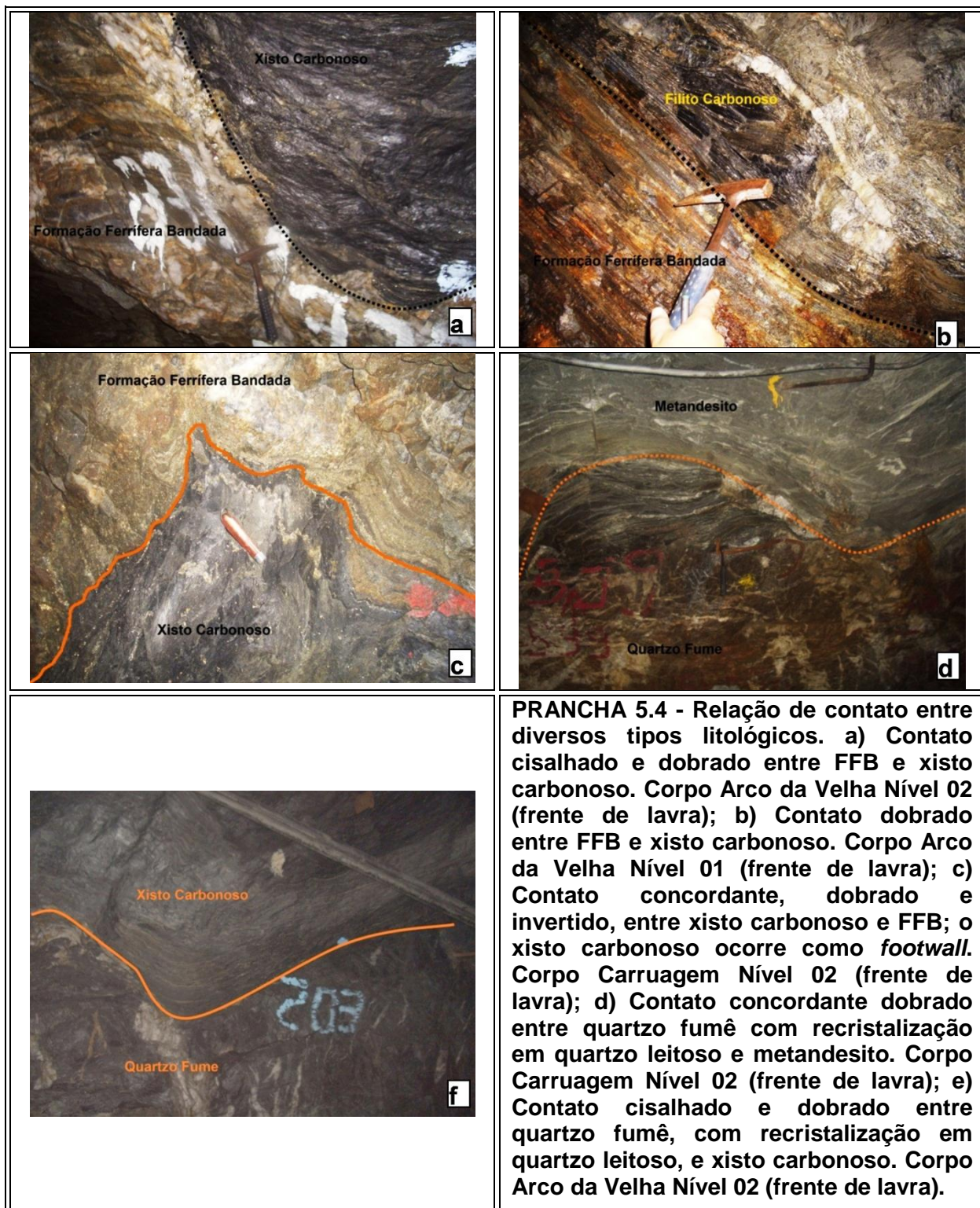
O contato entre as unidades da base com os metapelitos, ou seja metandesito e FFB, pode ser tanto normal como cisalhado, mas em ambos os casos é concordante (PRANCHA 5.3 a, b). O contato entre o metandesito e xisto carbonoso é também normal, como claramente observado na galeria de acesso ao corpo Cabeça de Pedra Nível 01, ou cisalhado (PRANCHA 5.3 c), mas mantendo-se a relação estratigráfica concordante. O contato entre FFB e xisto carbonoso ocorre tanto concordante quanto cisalhado, mas no geral encontra-se dobrado (PRANCHA 5.3 d; e; PRANCHA 5.4 a, b, c). Quartzo fumê ocorre como veios maciços e de contornos irregulares na região de contato entre o metandesito e FFB (PRANCHA 5.4 d); FFB e xisto carbonoso (PRANCHA 5.4 e), e também como lentes concordantes com o acamamento nos xistos carbonoso e FFB (PRANCHA 5.5 a e b).

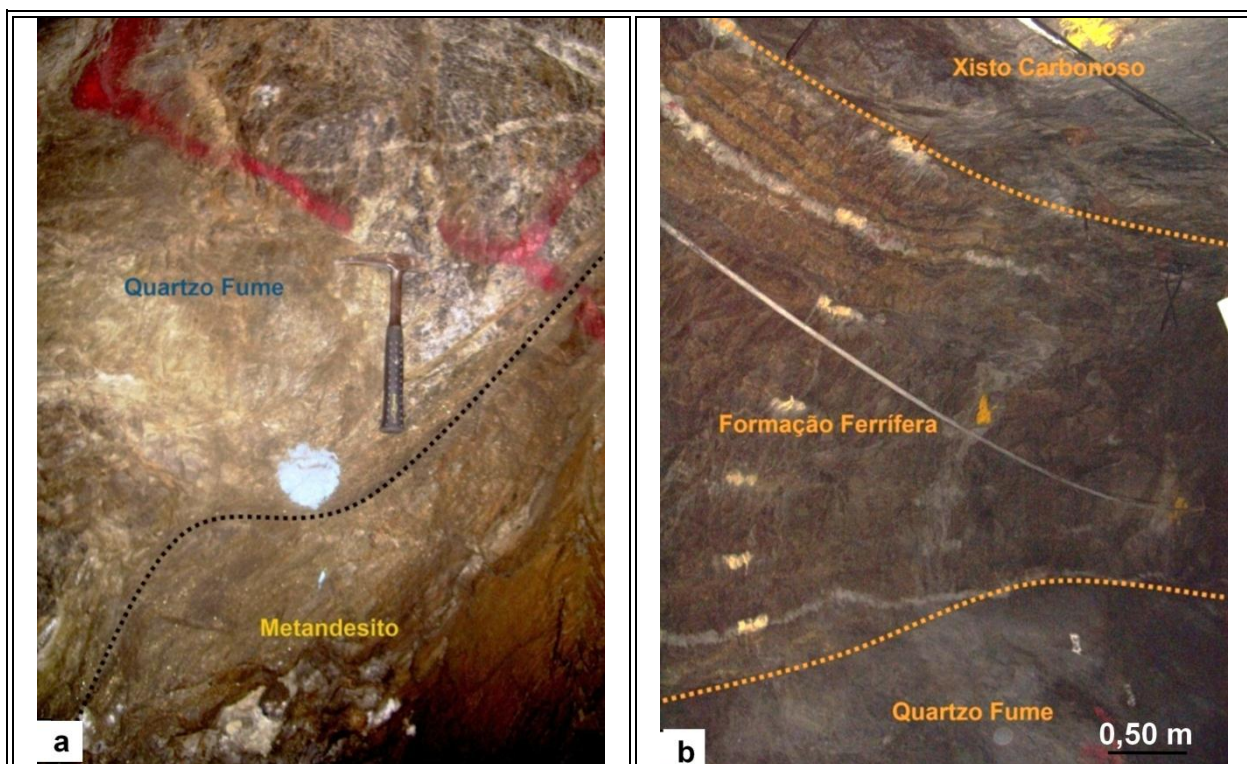


PRANCHA 5.1- Aspectos gerais das estruturas primárias acamamento/bandamento (S_0), na FFB, mapeados no Depósito Lamego. a) Bandamento composicional (corpo Arco da Velha Nível 01); b) Bandamento de composição sericítica na FFB (corpo Cabeça de Pedra Nível 02); c) Sulfetação no bandamento (corpo Arco da Velha Nível 01); d) Detalhe da sulfetação; e) Resto de FFB em que o bandamento é sulfetado; f) Detalhe da sulfetação que substitui bandamento.





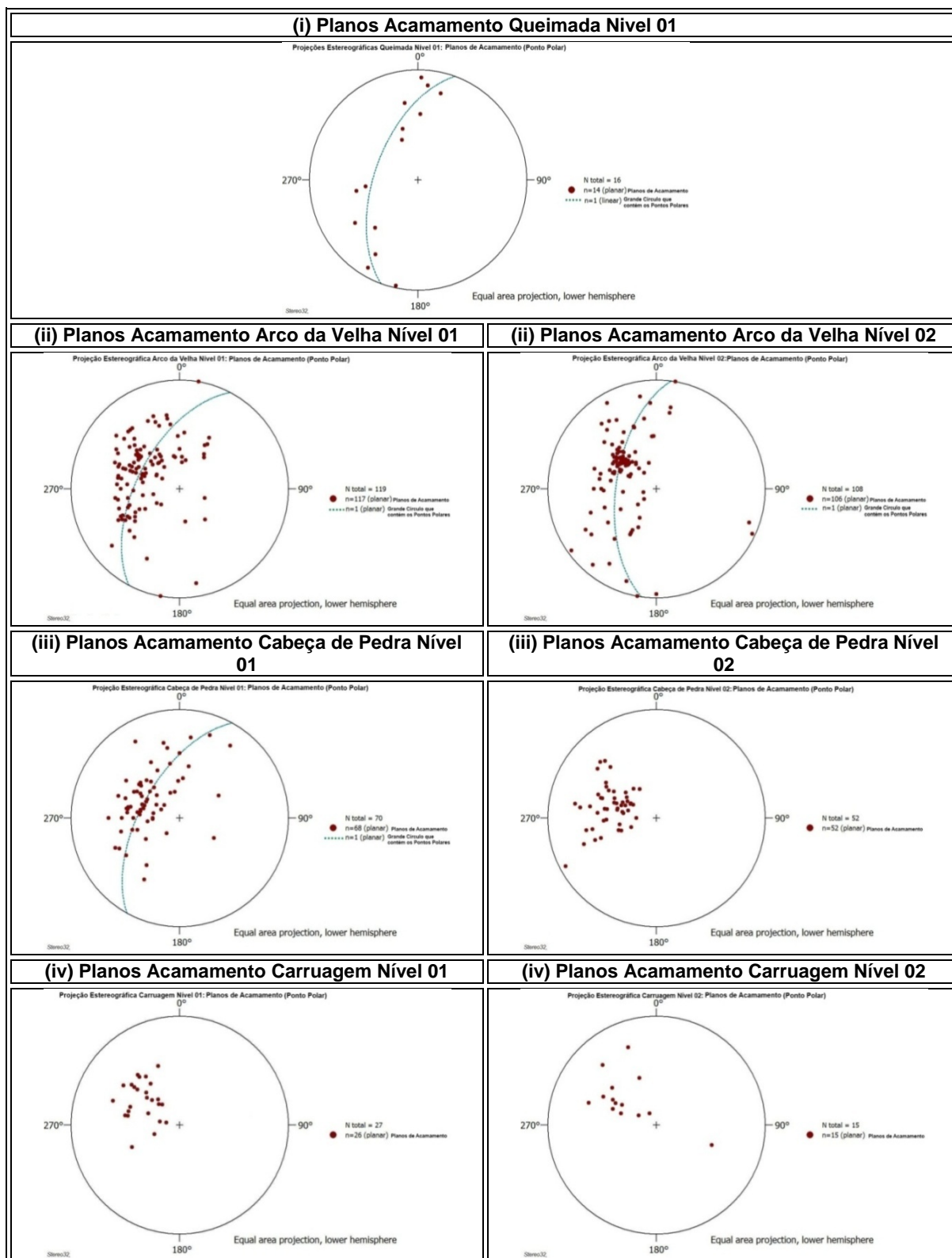




PRANCHA 5.5 - Relação de contato entre diversos tipos litológicos. a) Contato dobrado entre zona de quartzo fumê, com recristalização em quartzo leitoso, e metandesito. Observe a inversão do contato na foto, com o metandesito como *hanging wall*. Corpo Carruagem Nível 01 (frente de lavra); b) Contato concordante entre quartzo fumê, FFB e xisto carbonoso, este último como *hanging wall*. Corpo Arco da Velha Nível 01 (frente de lavra).

As atitudes de S_0 , ao longo de toda a mina, apresentam-se com maior concentração de mergulho para SE. Em projeção estereográfica (PRANCHA 5.6 (i), (ii) e (iii)), nos corpos Queimada Nível 01, Arco da Velha Níveis 01 e 02 e Cabeça de Pedra Nível 01, os pontos polares das atitudes de acamamento estão dispersos ao longo de um grande círculo.

Em função de um maior número de medidas, para os corpos Arco da Velha Níveis 01 e 02 e Cabeça de Pedra Nível 01, são definidas guirlandas com eixos de orientação de 118/32, 098/31 e 119/29, respectivamente (PRANCHA 5.6 (ii), (iii)). Os mesmos correspondem a dobras de escala mesoscópica a macroscópica descritas no item 5.2.3 do presente Capítulo. Já para os corpos Cabeça de Pedra Nível 02 e Carruagem Níveis 01 e 02 (PRANCHA 5.6 (iii), (iv)), são observadas concentrações das medidas para o quadrante SE com baixo ângulo de mergulho (aproximadamente 20°).



PRANCHA 5.6 - Projeções estereográficas dos planos de acamamento para os corpos (i) Queimada Nível 01 e (ii) Arco da Velha Níveis 01 e 02, que apresentam as atitudes dispersas ao longo de um grande círculo. Projeções estereográficas dos planos de acamamento para os corpos (iii) Cabeça de Pedra e (iv) Carruagem níveis 01 e 02. O corpo Cabeça de Pedra Nível 01 apresenta as atitudes dispersas ao longo de um grande círculo. Já os corpos Cabeça de Pedra Nível 02 e Carruagem Níveis 01 e 02 apresentam uma concentração das atitudes para SE.

5.2 Foliação S_{1-2} , Lineação L_{1-2} e Dobras F_2

5.2.1 Foliação (S_{1-2})

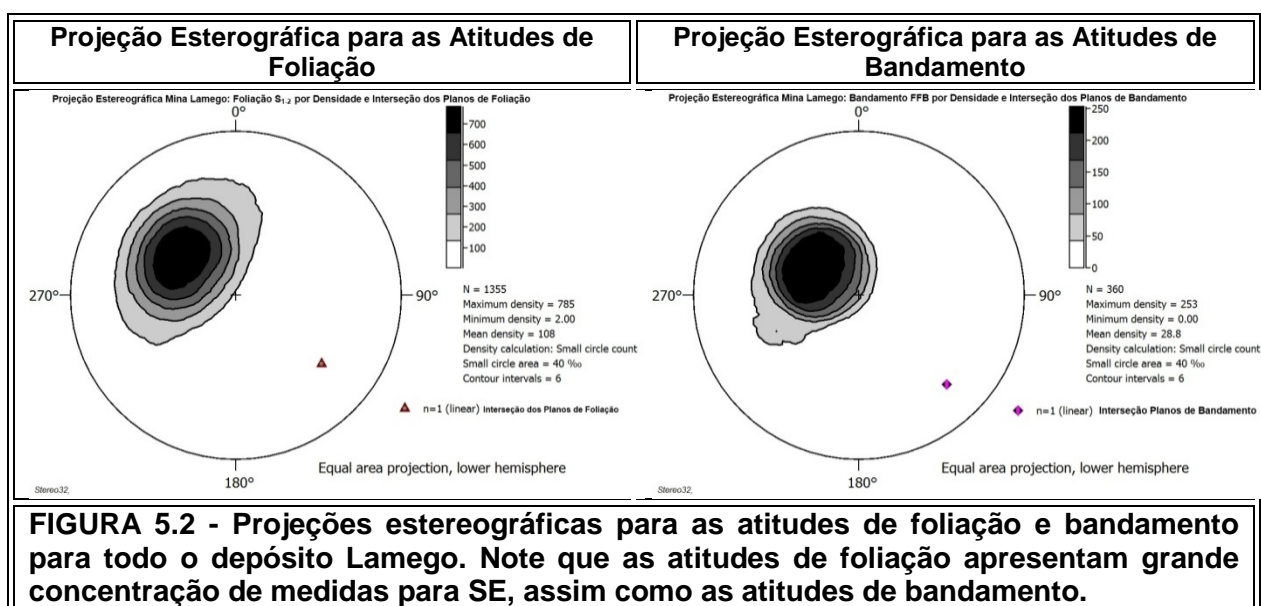
A foliação S_{1-2} é a estrutura planar mais visível em todo o depósito Lamego. Apresenta-se definida pela orientação de minerais planares, tais como clorita e mica branca, além de minerais alongados, como carbonato, quartzo e sulfeto.

A foliação S_{1-2} é desenvolvida principalmente no xisto carbonoso, metapelito e metandesito, alterado hidrotermalmente em clorita xisto (PRANCHA 5.7a, b, c). Ocorre como uma xistosidade definida pelo arranjo granolepidoblástico a lepidoblástico de seus minerais passando em zonas de cisalhamento a uma foliação milonítica. Geometricamente, a foliação S_{1-2} ocorre, em quase sua totalidade, paralela ou subparalela aos planos que definem o acamamento (PRANCHA 5.7e). É melhor observada nos xistos do que na FFB. Na FFB, ocorre definida pelo arranjo do quartzo, como veios, normalmente descontínuos, de composição quartzo-carbonática ao longo de uma clivagem espaçada (PRANCHA 5.7d).

O bandamento da FFB apresenta-se crenulado e, nestes locais, ocorrem dobras assimétricas de dimensões centimétricas. Esta feição é muito comum em exposições no corpo Cabeça de Pedra, porém não restrito a este (PRANCHA 5.7d).



As atitudes dos planos de foliação S_{1-2} são semelhantes aos valores medidos nos planos de acamamento, com forte concentração para SE, e dispersão entre as orientações 120/15 a 165/65, como se vê no estereograma do corpo Arco da Velha. A interseção modal calculada para ambos os planos de bandamento e foliação é praticamente coincidente em 130/34 (foliação) e 135/25 (bandamento) (FIGURA 5.2).



5.2.2 Lineação (L_{1-2})

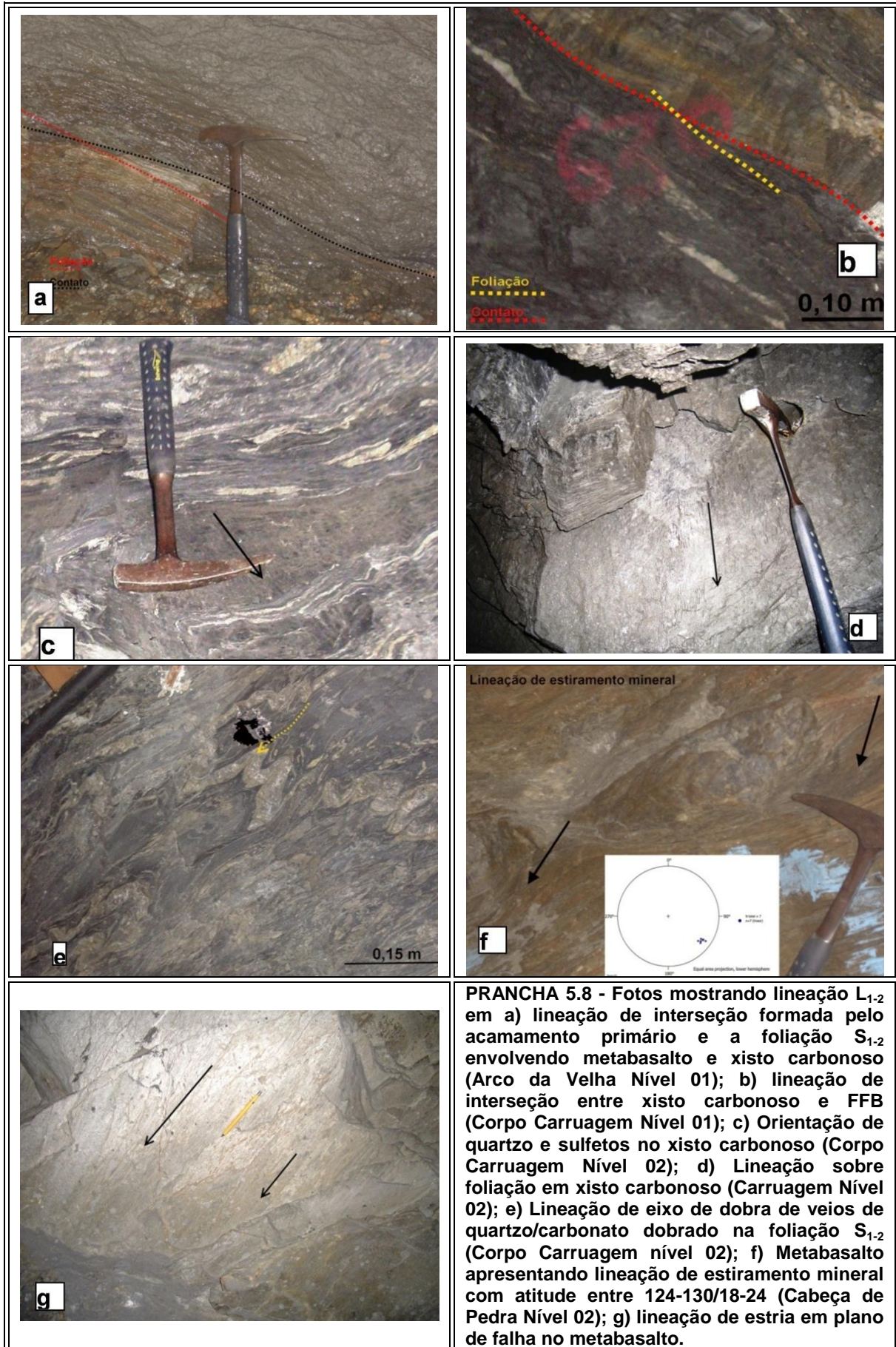
A lineação L_{1-2} , descrita nos planos de foliação S_{1-2} , é caracterizada pela intersecção dos planos dessa superfície com os planos de acamamento, sendo paralela aos eixos de dobras F_2 , lineação mineral (Lm_{1-2}), principalmente quartzo e carbonato, estiramento mineral (Le_{1-2}) e estrias.

A lineação de intersecção é gerada pelo encontro das superfícies da foliação S_{1-2} que se cruza com superfícies de acamamento (S_0) (PRANCHA 5.8 a, b). Este tipo de lineação é observado nas galerias de acesso dos corpos de minério Cabeça de

Pedra Nível 01 e Arco da Velha Nível 02, além das galerias de frente de lavra dos corpos Cabeça de Pedra Nível 02 e Cabeça de Pedra Nível 01.

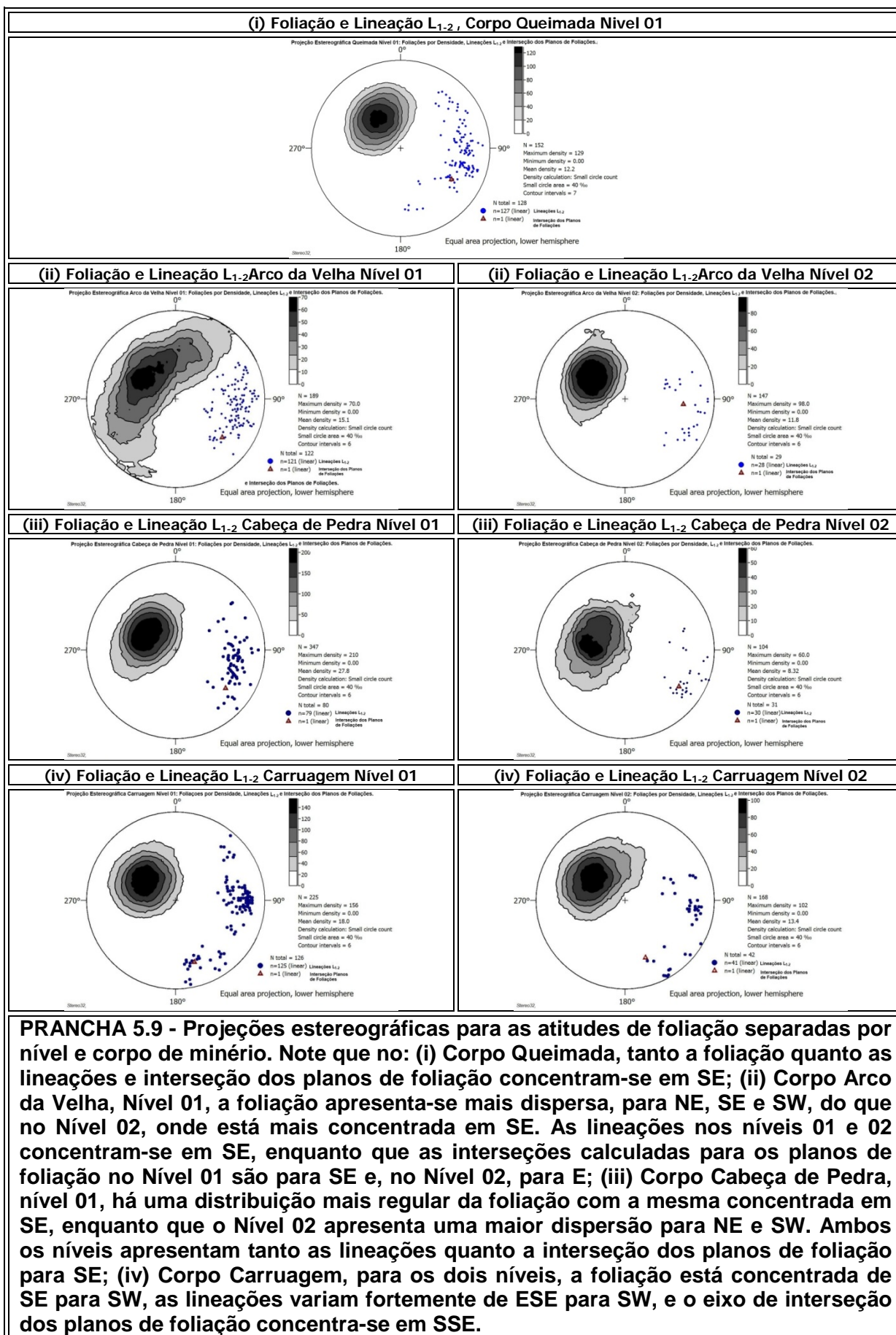
Em exposições no corpo Carruagem Nível 01, a lineação mineral é definida pela orientação de finos grãos de quartzo em meio à matriz micácea dos xistos carbonosos (PRANCHA 5.8 c). Esta lineação ocorre sobre a foliação S_{1-2} que está disposta em ângulo menor do que $< 15^\circ$.

Ao contrário da lineações de interseção, a lineação de estiramento mineral (PRANCHA 5.8 f) ocorre invariavelmente no plano da foliação S_{1-2} , sendo caracterizada pelo alinhamento de quartzo, carbonatos, cloritas e sulfetos. Em alguns locais, como Arco da Velha e Carruagem Nível 01, podem ocorrer lineações de fibras de quartzo que geralmente, mas não necessariamente, estão contidas nos planos de zonas de cisalhamento.



A análise do conjunto de projeções estereográficas para as atitudes de foliação (S_{1-2}) e lineações (L_{1-2}), separadas por nível e corpo de minério (PRANCHA 5.9), mostra que para o Corpo:

- (i) Queimada, a foliação mergulha preferencialmente para SE. Lineações variam de ESE a SE e a interseção calculada dos planos de foliação tem atitude 120/34 (PRANCHA 5.9 (i));
- (ii) Arco da Velha, os planos de foliação no Nível 01 apresentam dispersão entre NE, SE e SW, enquanto no Nível 02 mergulham de forma mais homogênea para SE. A lineação em ambos os níveis mergulha para SE. As interseções calculadas para os planos de foliação, no Nível 01, têm atitude de 130/32 e, no Nível 02, de 095/35 (PRANCHA 5.9 (ii));
- (iii) Cabeça de Pedra Nível 01, a foliação apresenta uma distribuição mais regular com mergulho para SE. Já os dados do Nível 02 apresentam uma maior dispersão para NE e SW. As lineações e a interseção calculada dos planos de foliação têm atitude semelhante: 128/30 e 125/28 para os Níveis 01 e 02, respectivamente. (PRANCHA 5.9 (iii));
- (iv) Corpo Carruagem, em ambos os Níveis 01 e 02, os planos de foliação variam de SE para SW, enquanto as lineações variam de ESE para SW e o eixo calculado da interseção dos planos de foliação tem atitudes 164/28 e 160/32 para os Níveis 01 e 02, respectivamente. (PRANCHA 5.9 (iv)).

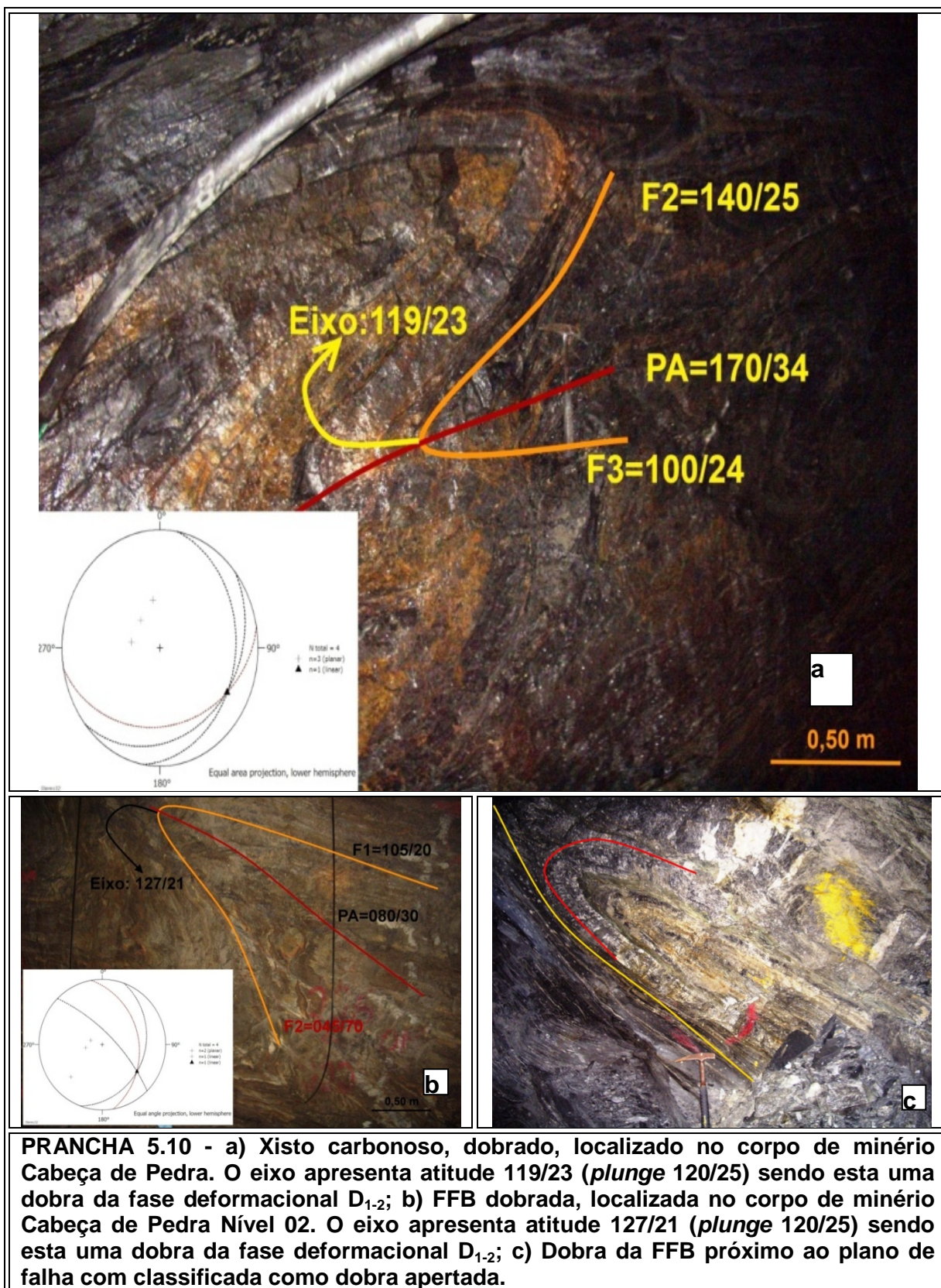


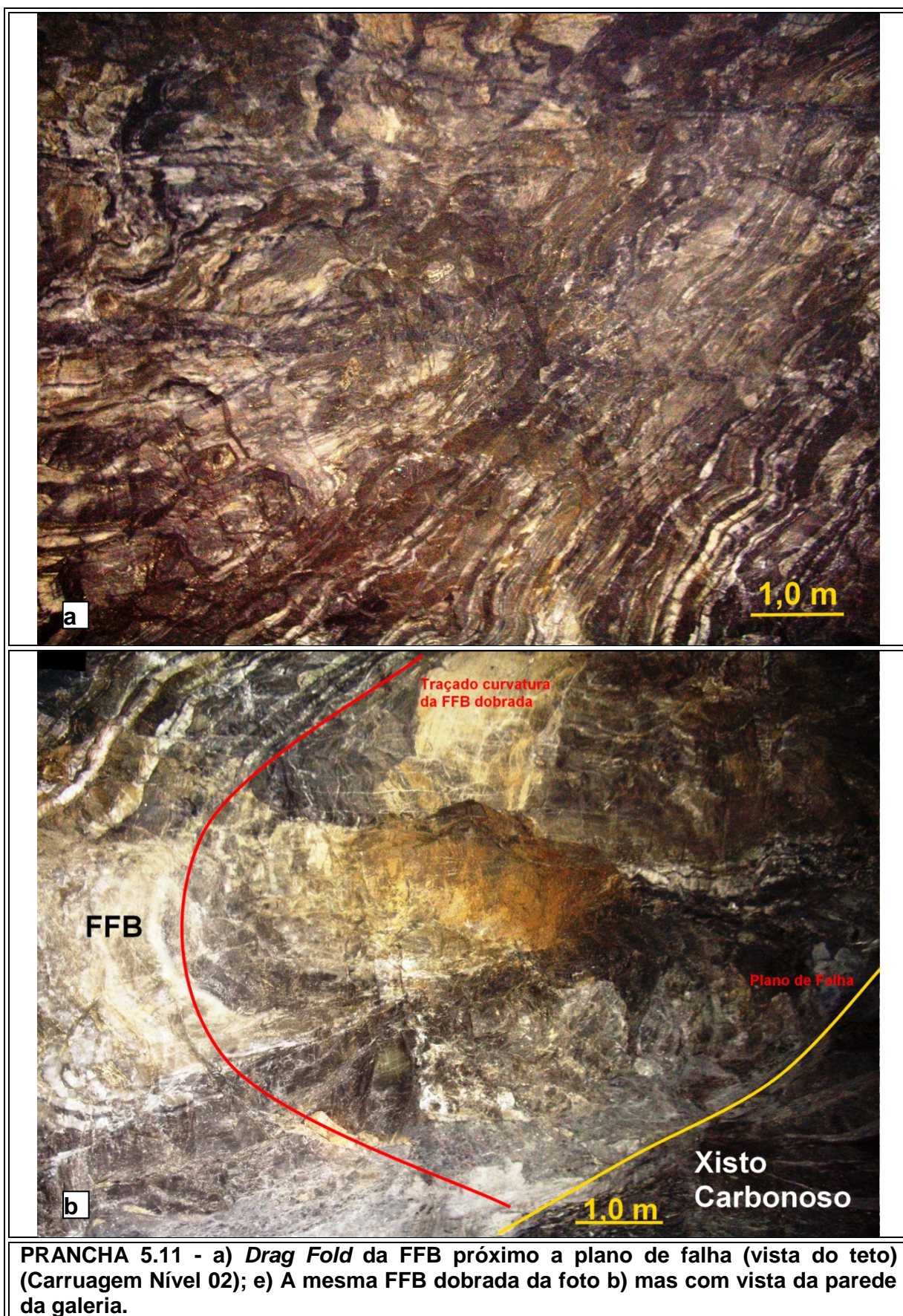
5.2.3 Dobras F_2

As dobras F_2 constituem a principal estrutura registrada nas rochas do depósito Lamego, sendo descritas desde a escala microscópica até a mesoscópica, sendo os corpos Arco da Velha e Cabeça de Pedra os melhores locais para a observação de dobras.

Em conjunto com o acamamento S_0 , a foliação S_{1-2} define estas dobras, as quais estão sempre associadas a rochas metassedimentares e metavulcânicas. Comparativamente, a FFB e o xisto carbonoso encontram-se mais intensamente dobrados que as rochas metapelíticas e metavulcânicas, sendo que nesta última o dobramento é mais evidente onde as mesmas estão hidrotermalmente alteradas, uma vez que a intensidade do dobramento é função de competência das rochas envolvidas. Dobras ocorrem dispostas lado a lado com zonas de cisalhamento de comportamento dúctil e falhas de empurrão, esta última caracterizando uma *drag fold*, conforme observado no corpo Carruagem Nível 02 (PRANCHA 5.11 a, b), no qual o eixo da dobra apresenta-se rotacionado. A atitude do eixo dessas dobras concentra-se em SE, com mergulho próximo de 25° , e é paralela a subparalela à lineação mineral L_{1-2} . Os planos de contato entre os diferentes níveis, usados para definir o acamamento, apresentam-se dobrados com eixos da mesma orientação das dobras definidas pela foliação. Estas dobras, interpretadas a partir da interseção dos planos em projeção estereográfica, são observadas tanto nas frentes de lavra quanto nas galerias.

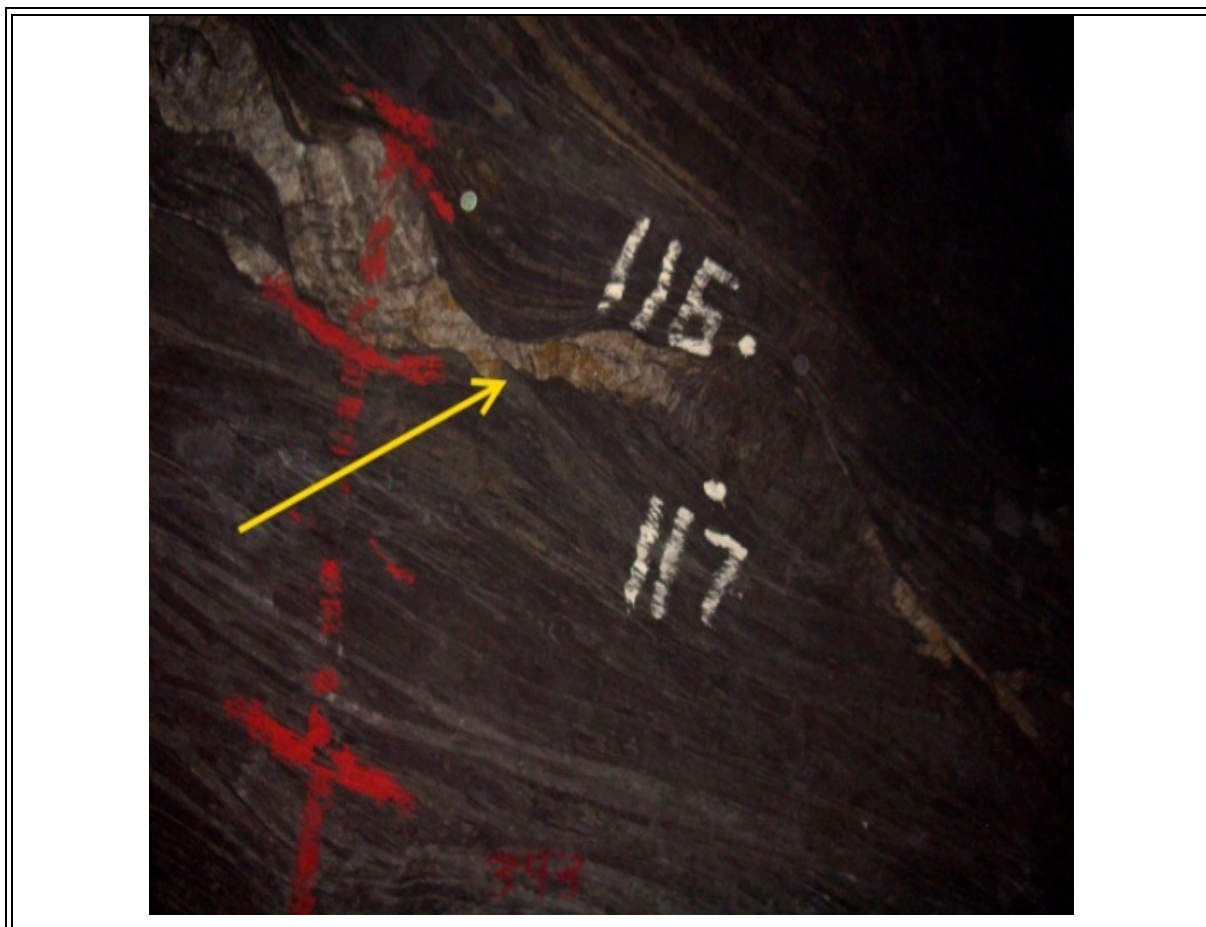
As dobras ocorrem em escalas variadas, desde centimétricas até decamétricas, e podem ser classificadas como reclinadas, quando analisados os elementos geométricos (posição do eixo e plano axial), ou como dobras abertas a fechadas, quando analisado o ângulo interflancos com valor angular entre 30 e 70° , para dobras fechadas, e 70 a 120° , para dobras abertas. Os eixos destas dobras mergulham para SE (PRANCHA 5.10 a, b).





5.2.4 Demais Estruturas Associadas a S_{1-2}

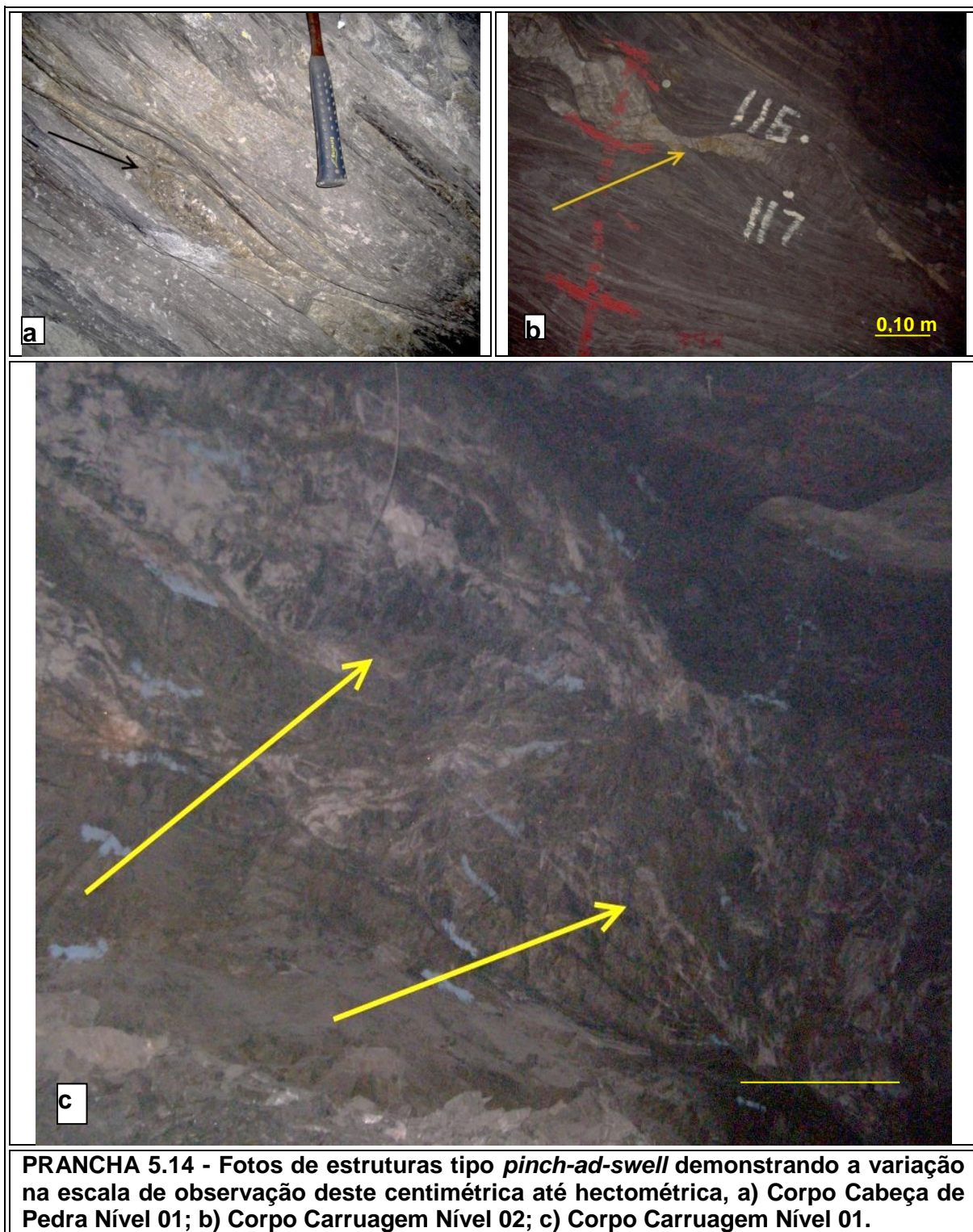
Veios/massas de quartzo de morfologia sigmoidal ocorrem associados à foliação S_{1-2} nos corpos Carruagem Nível 01 () e Arco da Velha Nível 02 (). Além disso, observam-se estruturas tipo *pinch-and-swell*, contidas na foliação S_{1-2} (a, b, c). *Pinch-and-swell* são estruturas boudinadas e se formam onde corpos com grande diferença de comportamento reológico estão sujeitos a extensão e/ou encurtamento (KIDAN e COSGROVE, 1996). Estas estruturas ocorrem desde a escala centimétrica, caso dos corpos Arco da Velha e Cabeça de Pedra, até hectométrica, caso do corpo Carruagem. Comumente são observadas em venulações *boudinadas* de quartzo fumê e *boudins* de várias rochas encaixantes e mineralizadas.



PRANCHA 5.12 - Foto do sigmóide de quartzo fumê com recristalização em quartzo leitoso contido na foliação S_{1-2} desenvolvida no metandesito (estrutura descrita no Corpo Arco da Velha Nível 02).



PRANCHA 5.13 - Foto do sigmóide de quartzo fumê com recristalização em quartzo leitoso contido na foliação S_{1-2} desenvolvida no xisto carbonoso (estrutura descrita no Corpo Carruagem Nível 01).



5.3 Clivagem de Crenulação (S_3), Lineações (L_3) e Dobras (F_3)

Os elementos estruturais que incluem a clivagem de crenulação S_3 , a lineação L_3 e dobras tipo F_3 caracterizam o evento D_3 . Os mesmos são interpretados como tendo se desenvolvidos em ambiente dúctil-rúptil (vide TABELA 6.1), progressivo, de acordo com critérios descritos em DAVIS (1996) apresentando estruturas como falhas, zonas de cisalhamento e dobras. O evento D_3 produz estruturas que afetam os elementos do evento D_{1-2} .

Os elementos estruturais do evento D_3 são definidos por:

- I. Clivagem de crenulação S_3 , desenvolvendo-se melhor em rochas metapelíticas e possuindo direção N-S;
- II. Lineação mineral L_3 , formada pela interseção dos planos de foliação S_{1-2} com planos de foliação S_3 , distribuída em planos N-S coincidentes com S_3 ;
- III. Dobras abertas F_3 com amplitudes de até 3 m, melhor observadas no xisto carbonoso (b).

Dentre as estruturas citadas acima, a clivagem de crenulação (S_3) e a lineação de interseção (L_3) constituem as mais observadas e se restringem às rochas de menor competência, tais como os xistos.

✓ Clivagem de Crenulação

No Depósito Lamego, a clivagem de crenulação S_3 é definida na superfície microdobrada formando estruturas assimétricas de pequena amplitude e comprimento de onda. A clivagem é observada em escala centimétrica a hectométrica.

A melhor exposição da clivagem de crenulação está na galeria de acesso do corpo Arco da Velha Nível 01. Neste local, é possível identificar as linhas de crenulação da superfície de foliação S_{1-2} . Nos planos destas clivagens pode se concentrar quartzo, sulfetos ou carbonatos.

Geometricamente, a clivagem de crenulação ocorre em posição plano-axial às dobras suaves F_3 , localmente associada a veios de quartzo. A atitude média é N-S, com mergulho variando entre 80° e 90° , mas ângulos inferiores próximos a 60° também estão presentes.

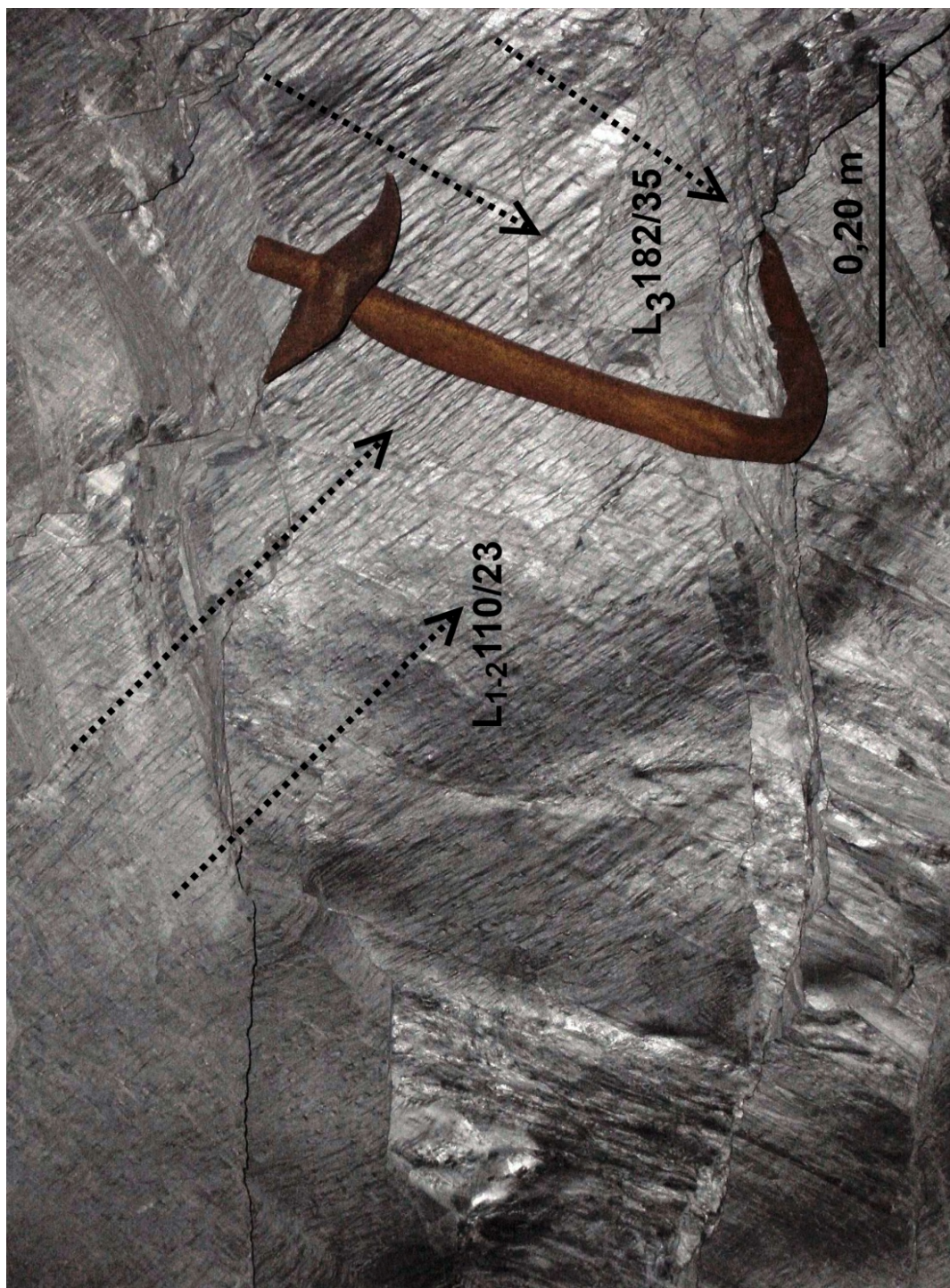
✓ Lineação Mineral L_3

Esta lineação é observada na superfície de foliação S_{1-2} quando interceptada pelo plano da clivagem de crenulação S_3 .

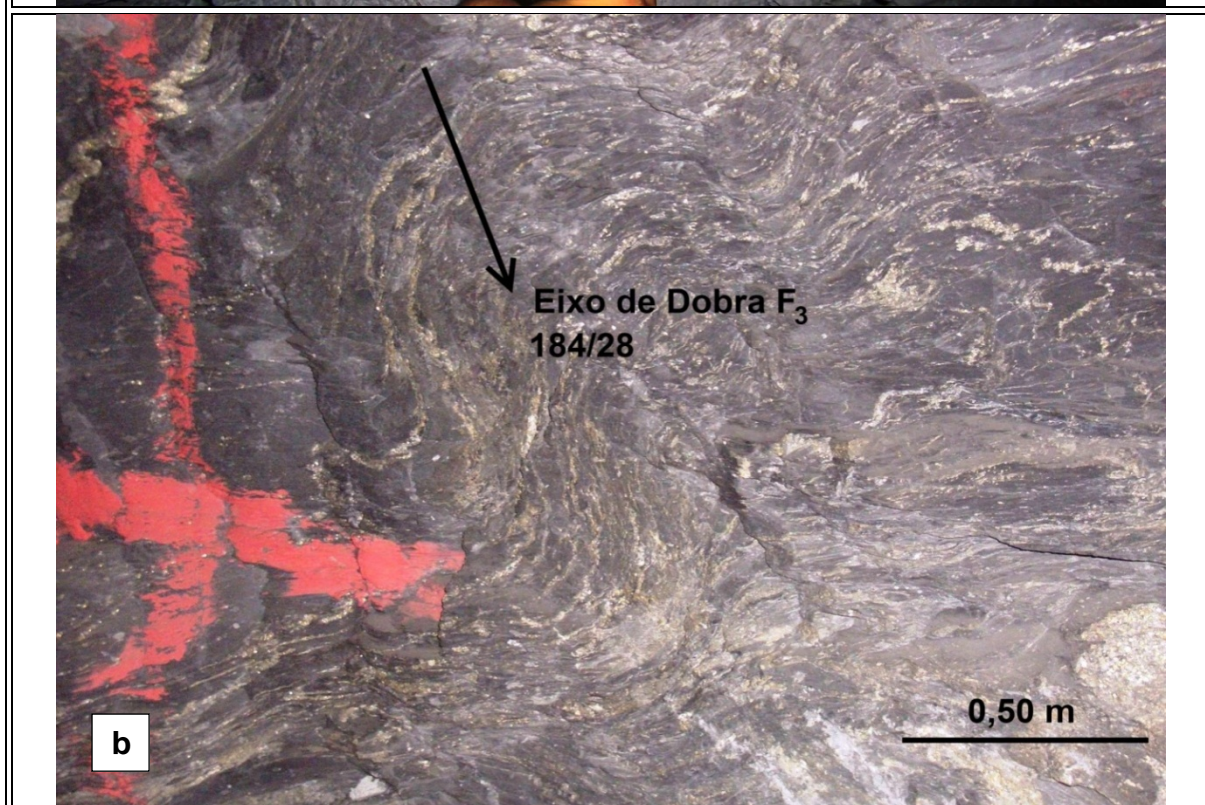
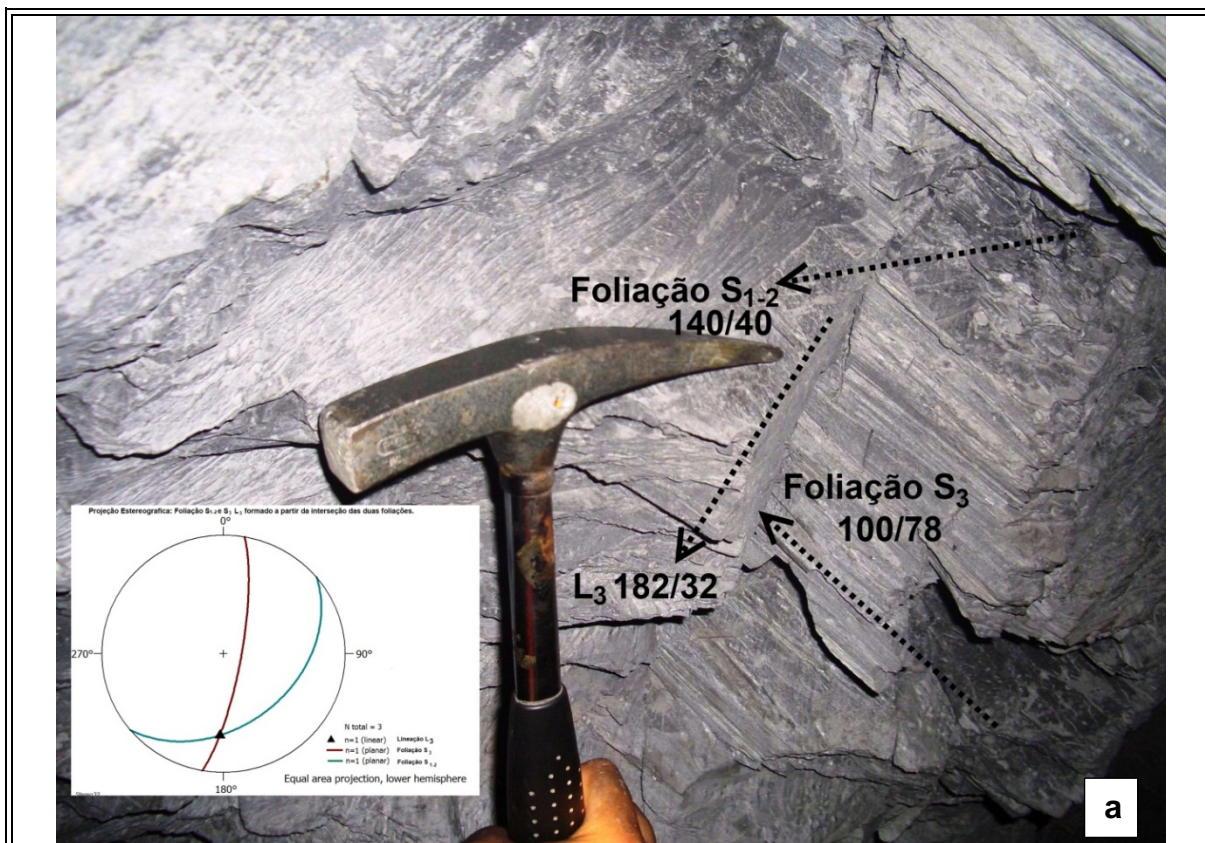
A lineação de crenulação L_3 , composta por minerais micáceos orientados, possui orientação $180/30$, para S, com dispersão para SW, ao longo do plano S_3 e ocorrendo em zonas espaçadas. Esta lineação também é observada como eixo de dobras do tipo F_3 , assimétricas e que se desenvolvem preferencialmente sobre a foliação S_{1-2} .

✓ Dobras F_3

Estas dobras F_3 , associadas ao evento D_3 , ocorrem como ondulações de baixa amplitude, não maior que 3 m, dispostas de forma oblíqua às dobras suaves formadas pela foliação S_{1-2} . As dobras F_3 desenvolvem-se mais comumente sobre os xistos carbonosos. Seus eixos apresentam baixo ângulo de mergulho, menor que 30° , orientados para S, com azimute entre 180° e 200° .



PRANCHA 5.15 - Clivagem de crenulação descrita em rochas metapelíticas, nas quais se observam as lineações L₁₋₂ com atitude 110/23, transposta por uma lineação L₃ de atitude 182/35. Galeria de desvio Arco da Velha Nível 01.

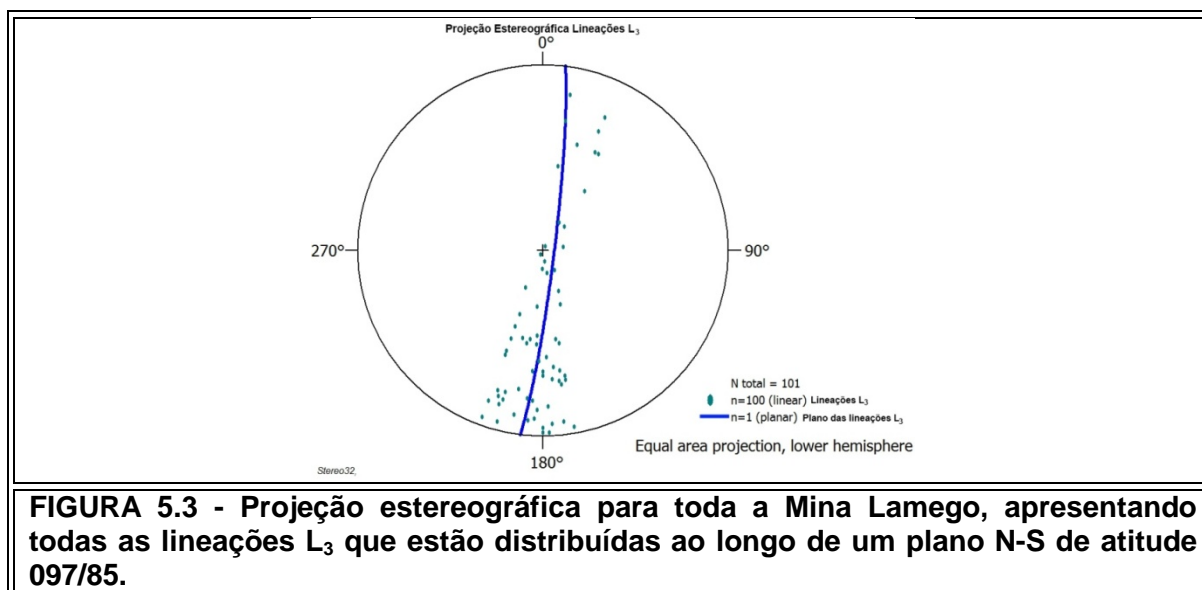


PRANCHA 5.16 - a) Interseção das foliações S_{1-2} com atitude 140/40 e S_3 que ocorre em um plano sub-vertical com atitude 100/78. Esta interseção produz a lineação L_3 com atitude 182/32. **b)** As melhores estruturas formadas no evento D_3 no xisto carbonoso são dobras que apresentam eixo com orientação N-S. No caso da foto acima a orientação do eixo é 184/28.



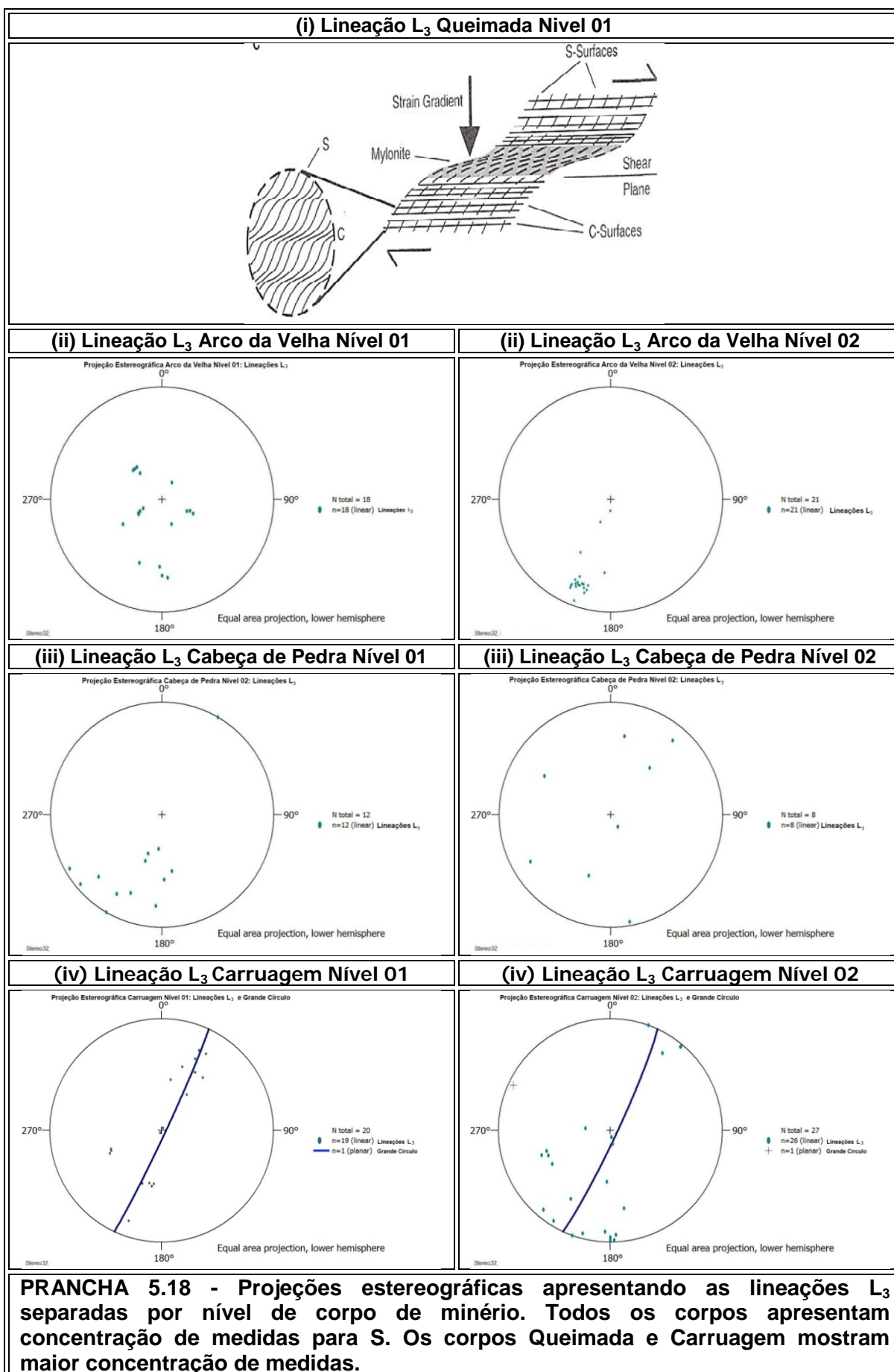
PRANCHA 5.17 - Planos de foliação S_3 pouco desenvolvidos no xisto carbonoso.

A análise da lineação L_3 em projeção estereográfica evidencia a distribuição ao longo de um grande círculo de orientação N-S, o qual coincide com os planos da foliação S_3 . Este grande círculo, que contém as lineações L_3 , possui atitude 097/85 ().



Os corpos de minério que melhor caracterizam distribuição em grande círculo são Queimada Nível 01 e Carruagem Níveis 01 e 02 ((i), (iv)), sendo as atitudes destes grandes círculos 98/83, 115/87 e 115/85, respectivamente.

A lineação L_3 é apresentada na (i), (ii), (iii) e (iv), em diagramas individualizados por nível de cada corpo de minério. Em geral, todos os níveis apresentam uma maior concentração de medidas a SSW, com exceção do corpo Carruagem Nível 01 que tem maior concentração de medidas a NNE. O corpo Cabeça de Pedra é o que apresenta menor expressão da lineação L_3 , em especial o nível 02. É no corpo Carruagem que ocorre a maior concentração de medidas das lineações L_3 e de dobras com eixo N-S (), o que indica que este corpo foi o que mais experimentou interferência do evento D3.



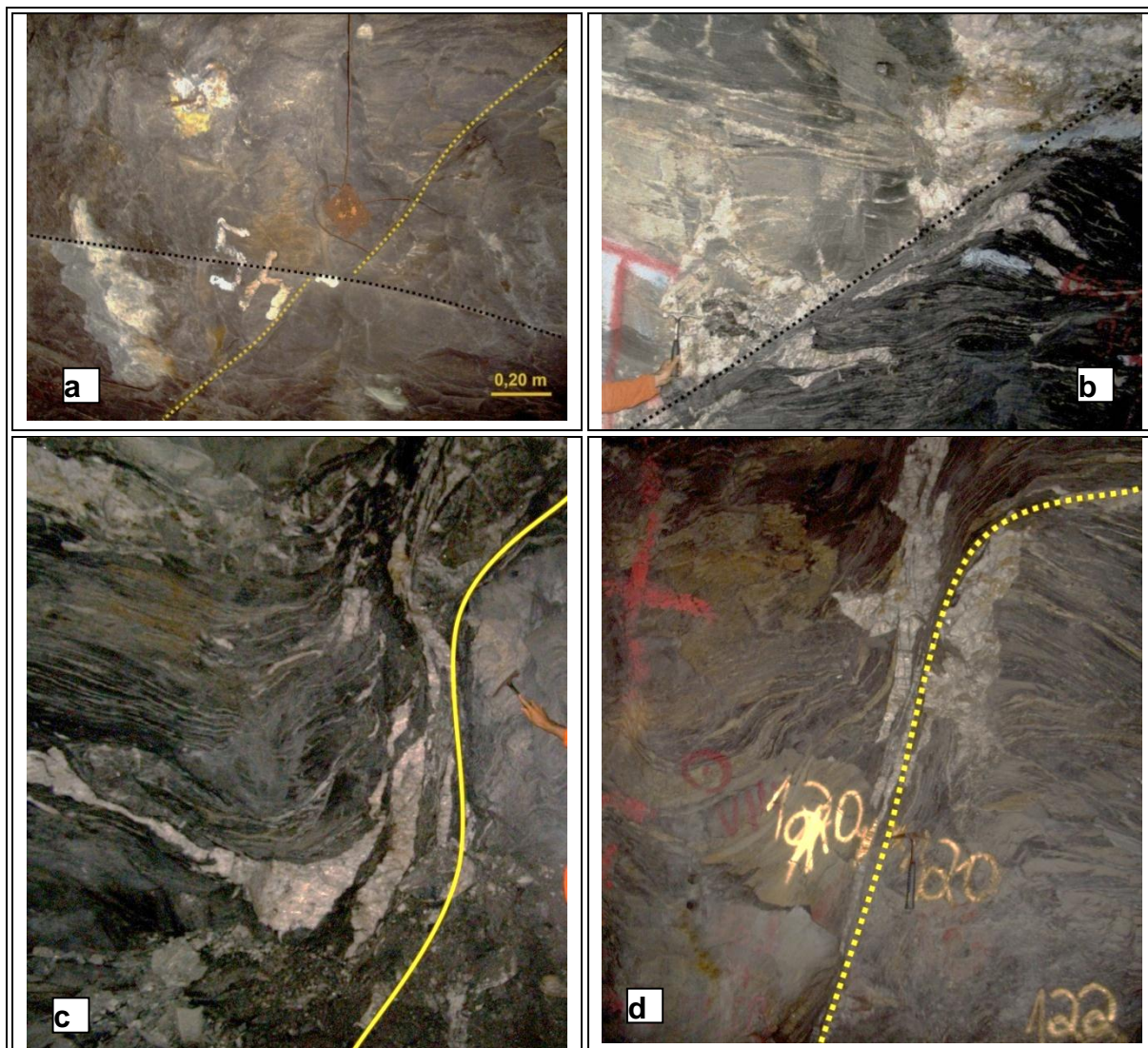
5.4 Falhas e Zonas de Cisalhamento

Em todos os níveis mapeados, encontram-se falhas, e a quase totalidade dessas estruturas possuem mergulho superior a 30°. As falhas podem ser preenchidas por quartzo leitoso e carbonato, denotando que as mesmas foram percoladas por fluidos silicosos, e possuem algumas características dúcteis. As principais falhas, de empurrão e normais, e zonas de cisalhamento apresentam atitude para SE, estando relacionadas com o evento D₁₋₂, em menor proporção falhas com direção N-S estão relacionadas com o evento D₃.

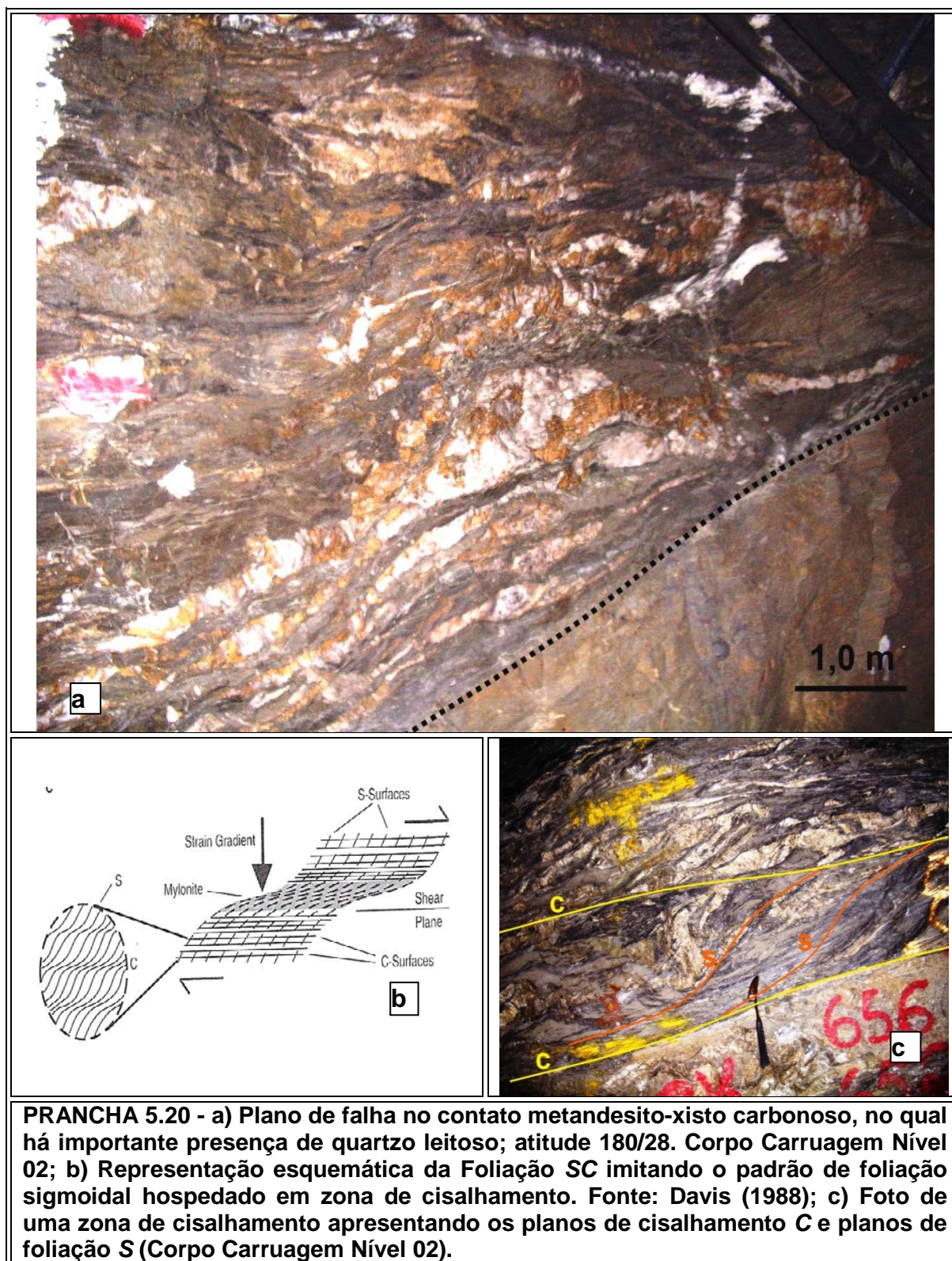
Nos corpos Queimada, Arco da Velha e Cabeça de Pedra, essencialmente no nível 01, ocorrem pares conjugados de falhas verticais (a), os quais mostram um deslocamento local em torno de 0,2 m. Nos níveis mais profundos, como por exemplo Carruagem níveis 01 e 02, localmente as falhas ocorrem no xisto carbonoso e apresentam variação no ângulo de mergulho deste 30° até 90° (c, d). Falhas aparentemente de cavalgamento entre meta-andesito e xisto carbonoso são descritas nos corpos Arco da Velha e Carruagem, Nível 01, (PRANCHA 5.19 b) com sentido de movimento para SE.

Além de falhas (b, c, d), no corpo Carruagem ocorrem zonas de cisalhamento onde a foliação desenvolve-se com maior intensidade, é localmente crenulada e apresenta quartzo leitoso e carbonato, com sentido de movimento para SE (PRANCHA 5.19 b, c e PRANCHA 5.20 a).

Zonas de cisalhamento ocorrem em todas as camadas xistosas e ao longo de contatos litológicos com escala centimétrica a métrica. Em sua maioria, as zonas de cisalhamento são mais bem caracterizadas através do reconhecimento de estruturas S-C (PRANCHA 5.19 a, b). Quartzo e carbonato são comuns, e estirados entre planos de foliação S, indicando a direção da deformação (PRANCHA 5.19 c).

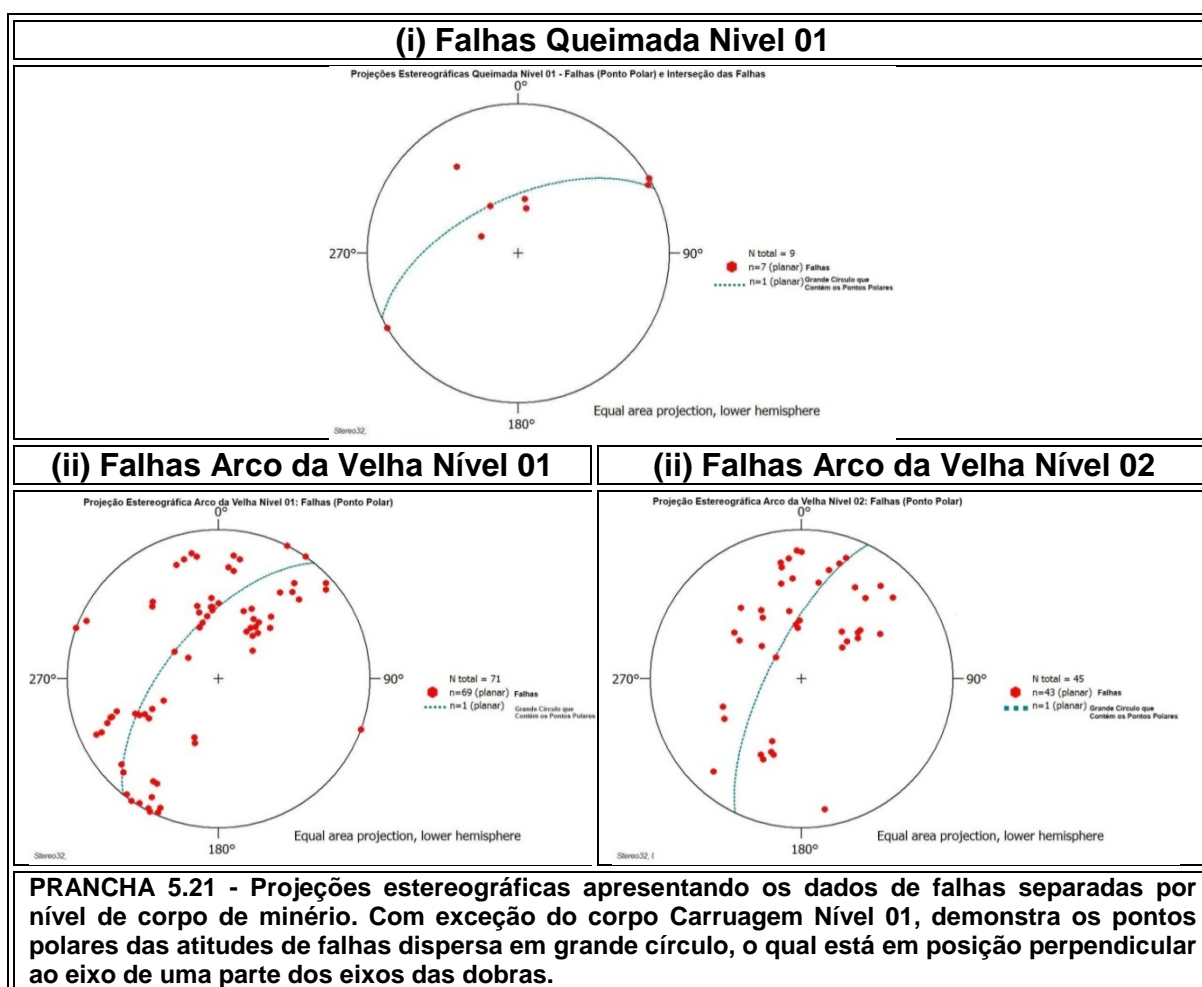


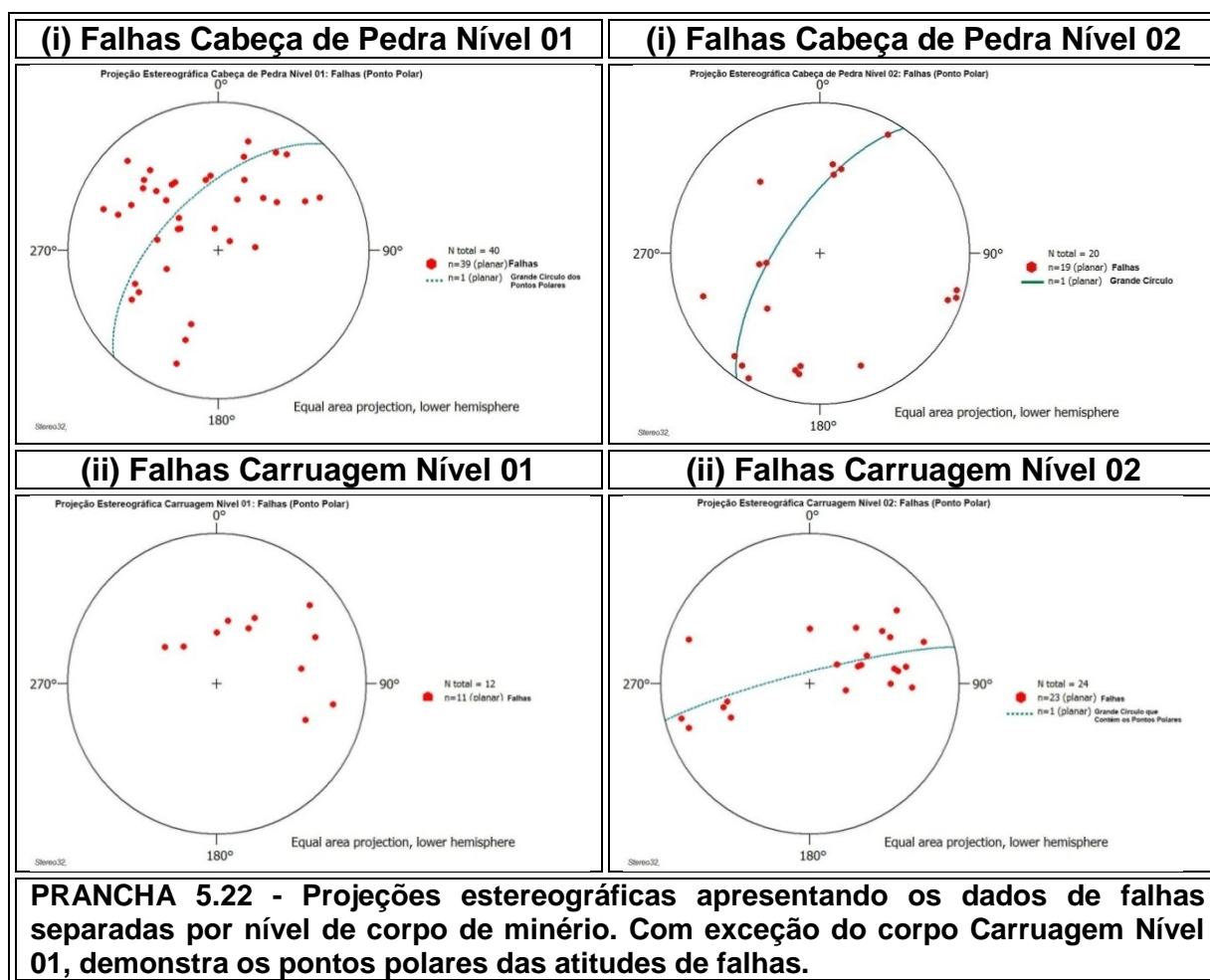
PRANCHA 5.19 - a) Pares conjugados de falhas verticais. O primeiro, em amarelo, com atitude 240/90, é interceptado por um segundo, em preto, com atitude 340/88, ocasionando um deslocamento de 0,20m. Corpo Queimada Nível 01; b) Falha no contato entre xisto carbonoso e metandesito, ao longo da qual o metandesito cavalga sobre o filito carbonoso; a atitude da falha é 245/62. Corpo Carruagem Nível 01; c) Plano de falha no xisto carbonoso, com ângulo de mergulho entre 30° e 90° e atitude 260/30-90. Corpo Carruagem Nível 01; d) Falha restrita ao xisto carbonoso, com recristalização em quartzo leitoso e carbonato; o ângulo de mergulho varia de 35 a 85° e a atitude é 110/35-85. Corpo Carruagem Nível 02.



Em projeção estereográfica, as falhas estão distribuídas em grande círculo, com exceção do Corpo Carruagem Nível 01, perpendicular aos eixos das dobras, o que resulta em uma orientação aproximadamente h0l (se intersectando paralelamente ao eixo das dobras). Nos diferentes corpos de minério, as falhas

- (i) Acompanham a foliação plano axial – Queimada (PRANCHA 5.21)
- (ii) Apresentam dispersão similar ao da foliação, enquanto no Nível 02 um maior número de falhas com direção NE mergulha para SW - Arco da Velha Nível 01 (PRANCHA 5.21)
- (iii) Apresentam uma maior dispersão em comparação com os outros corpos e possuem aspecto dobrado - Cabeça de Pedra (PRANCHA 5.22)
- (iv) Apresentam mergulho predominante para SW - Carruagem Níveis 01 e 02 (PRANCHA 5.22)





O **QUADRO 5.1** contém um resumo das principais características estruturais separadas por nível de corpo de minério e tipo de estrutura.

QUADRO 5.1

Resumo dos dados estruturais descritos no Depósito Lamego nos Corpos Queimada Nível 01 e Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Carruagem Níveis 01 e 02.

(Continua)

Estruturas	Corpo	Nível	Comportamento
Acamamento (S_0)	Queimada	1	Medidas concentradas para SE, Atitude média 102/36 Disperso em grande círculo (Guirlanda),
	Arco da Velha	1	Medidas concentradas para SE, Atitude média 122/41 Disperso em grande círculo (Guirlanda), Eixo da guirlanda 118/32,
		2	Medidas concentradas para SE, Atitude média 132/44 Disperso em grande círculo (Guirlanda), Eixo da guirlanda 098/31
	Cabeça de Pedra	1	Medidas concentradas para SE, Atitude média 126/39 Disperso em grande círculo (Guirlanda), Eixo da guirlanda 119/29
		2	Medidas concentradas para SE, Atitude média 124/42
	Carruagem	1	Medidas concentradas para SE, Atitude média 126/36
		2	Medidas concentradas para SE, Atitude média 149/40
	Foliação S_{1-2}	Queimada	1
Arco da Velha		1	Medidas concentradas em NE, mas com dispersão para SE e SW, Atitude média 128/42, Interseção dos planos de foliação 130/32
		2	Medidas concentradas para SE, Atitude média 134/40, Interseção dos planos de foliação 095/35
Cabeça de Pedra		1	Medidas concentradas em SE mas com dispersão para NE e SW, Atitude média 127/39, Interseção dos planos de foliação 128/30
		2	Medidas concentradas para SE, Atitude média 123/42, Interseção dos planos de foliação 125/28,
Carruagem		1	Medidas concentradas para SE mas com dispersão para SW, Atitude média 122/36, Interseção dos planos de foliação 164/28,
		2	Medidas concentradas para SE mas com dispersão para SW, Atitude média 148/40, Interseção dos planos de foliação 160/32,

QUADRO 5.1

Resumo dos dados estruturais descritos no Depósito Lamego nos Corpos Queimada Nível 01 e Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Carruagem Níveis 01 e 02.

(Continua)

Estruturas	Corpo	Nível	Comportamento
Lineação L ₁₋₂	Queimada	1	Caimento variando de ESE a SE, Atitude média 122/28,
	Arco da Velha	1	Caimento variando de SE para SW, Atitude média 122/36
		2	Caimento para SE, Atitude média 155/30,
	Cabeça de Pedra	1	Caimento variando de ESE para SW, Atitude média 127/38
		2	Caimento variando de ESE para SW, Atitude média 123/42
	Carruagem	1	Caimento variando de ESE para SW, Atitude média 122/36
		2	Caimento variando de ESE para SW, Atitude média 148/40
	Dobras F ₂	Queimada	1
Arco da Velha		1	
		2	
Cabeça de Pedra		1	
		2	
Carruagem		1	
		2	
Foliação S ₃		Queimada	1
	Arco da Velha	1	Orientação N-S, Atitude Média 088/78,
		2	Orientação N-S, Atitude Média 080/67,
	Cabeça de Pedra	1	Orientação N-S, Atitude Média 087/68,
		2	Orientação N-S, Atitude Média 088/74,
	Carruagem	1	Orientação N-S, Atitude Média 100/70,
		2	Orientação N-S, Atitude Média 092/77,

QUADRO 5.1

Resumo dos dados estruturais descritos no Depósito Lamego nos Corpos Queimada Nível 01 e Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Carruagem Níveis 01 e 02.

(Continua)

Lineação L ₃	Queimada	1	Disperso em grande círculo (Guirlanda), Orientação da guirlanda 98/83, Concentração de medidas a SSW, Atitude Média 164/30,
	Arco da Velha	1	Concentração de medidas a SSW, Atitude Média 172/30,
		2	Concentração de medidas a SSW, Atitude Média 200/60,
	Cabeça de Pedra	1	Concentração de medidas a SSW, Atitude Média 198/30,
		2	Disperso em SSW e NE, Atitude Média 200/30,
	Carruagem	1	Disperso em grande círculo (Guirlanda), Orientação da guirlanda 115/87, Concentração de medidas a SSW, Atitude Média 206/40,
		2	Disperso em grande círculo (Guirlanda), Orientação da guirlanda 115/85, Concentração de medidas a SSW, Atitude Média 206/18,
	Falhas e Zonas de Cisalhamento	Queimada	1
Arco da Velha		1	Distribuídas em grande círculo, Perpendicular aos eixos das dobras, Orientação aproximadamente h0l, Dispersão similar ao da foliação, Atitude média 151/62,
		2	Distribuídas em grande círculo, Perpendicular aos eixos das dobras, Orientação aproximadamente h0l, Maior número de falhas com direção NE mergulha para SW, Atitude média 158/49,
Cabeça de Pedra		1	Distribuídas em grande círculo, Perpendicular aos eixos das dobras, Orientação aproximadamente h0l, Maior dispersão quando em comparação com os outros corpos, Atitude média 147/47,
		2	Distribuídas em grande círculo, Perpendicular aos eixos das dobras, Orientação aproximadamente h0l, Maior dispersão quando em comparação com os outros corpos, Atitude média 108/65,
Carruagem		1	Mergulho predominante para SW Atitude média 193/42,
		2	Distribuídas em grande círculo, Perpendicular aos eixos das dobras, Orientação aproximadamente h0l, Mergulho predominante para SW, Atitude média 194/49,

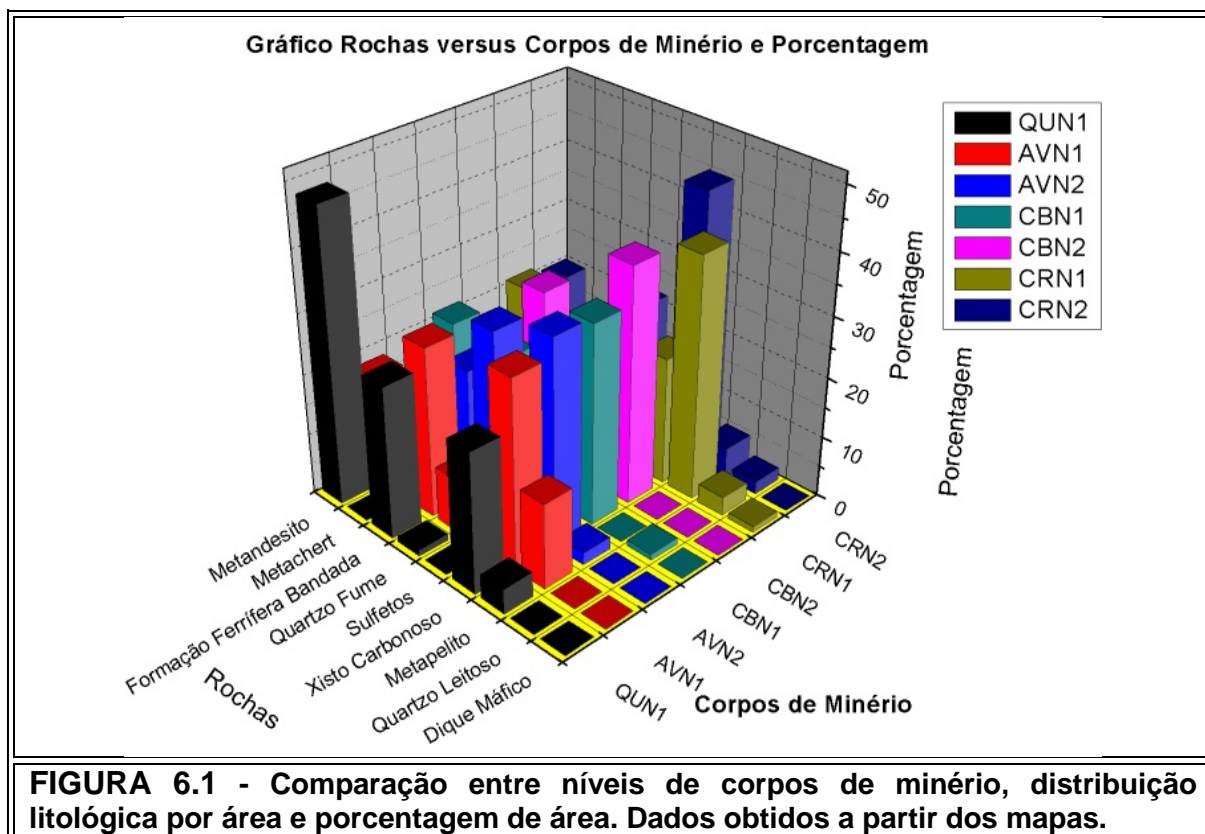
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Petrografia

6.1.1 *Tipos Litológicos*

1- Ao se fazer uma comparação entre nível de corpo de minério, distribuição litológica por área e porcentagem de área, conforme observado na FIGURA 6.1, têm-se que:

- (i) Metandesito possui uma maior área nos Corpos Queimada e Carruagem; *metachert* está restrito aos corpos Cabeça de Pedra Nível 01 e Arco da Velha Nível 02;
- (ii) Formação ferrífera bandada ocorre em todos os níveis, sendo que as maiores áreas estão nos Corpos Arco da Velha Nível 01, Cabeça de Pedra Nível 02 e Queimada Nível 01;
- (iii) Zonas de silicificação com quartzo fumê têm suas maiores áreas de ocorrência nos Corpos Arco da Velha Nível 02, Carruagem Nível 02 e Cabeça de Pedra Nível 02;
- (iv) Xisto Carbonoso possui as maiores áreas de ocorrência nos Corpos Carruagem Nível 02, Cabeça de Pedra Nível 02 e Arco da Velha Nível 02;
- (v) Metapelitos têm suas maiores áreas de ocorrência nos Corpos Carruagem Nível 01 e Arco da Velha Nível 01.

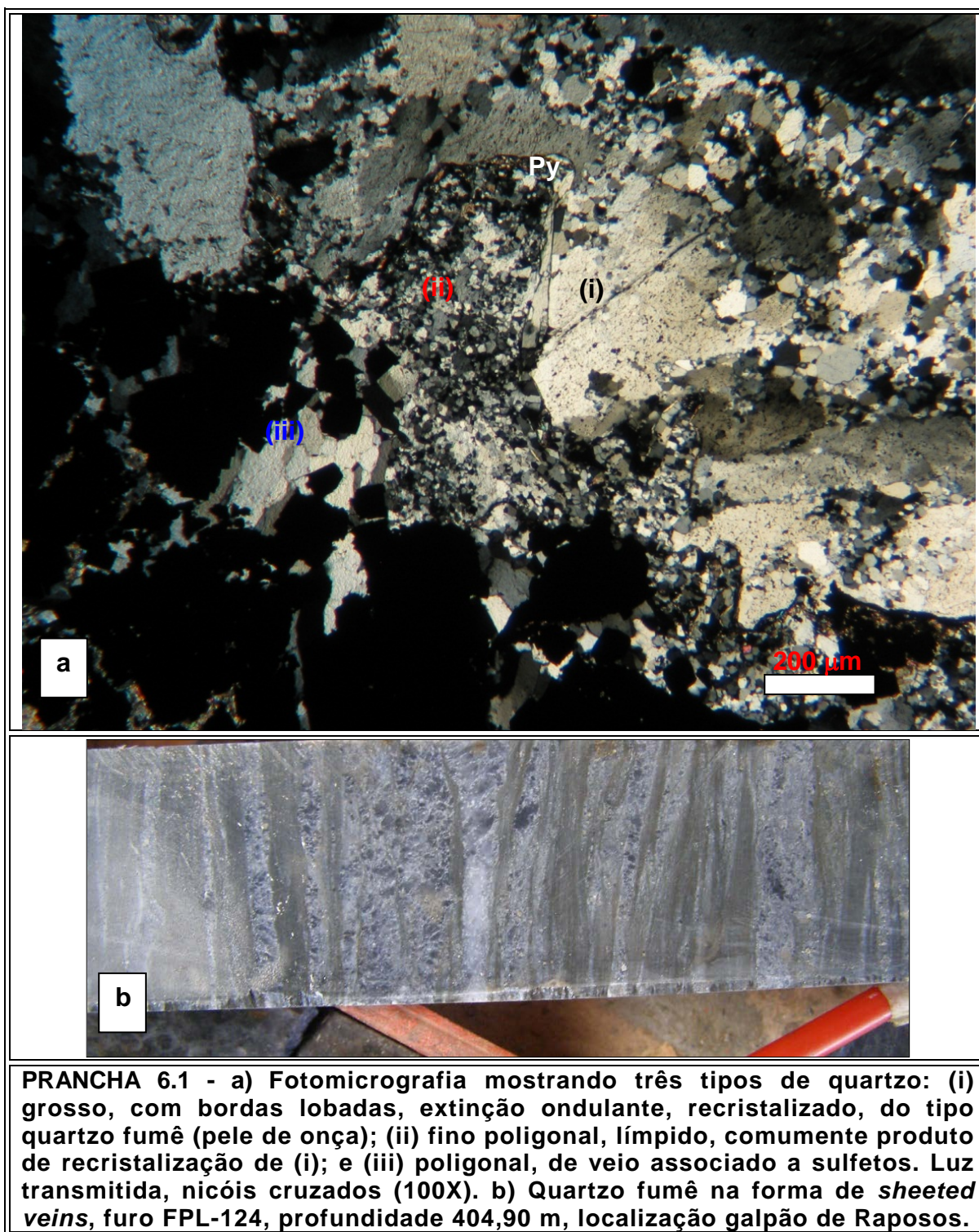


2 - Mineralização ocorrem associadas ao evento S_{1-2} progressivo, relacionada com FFB, xisto e carbonoso e principalmente quartzito fumê. Hospedada em boudins e dobras.

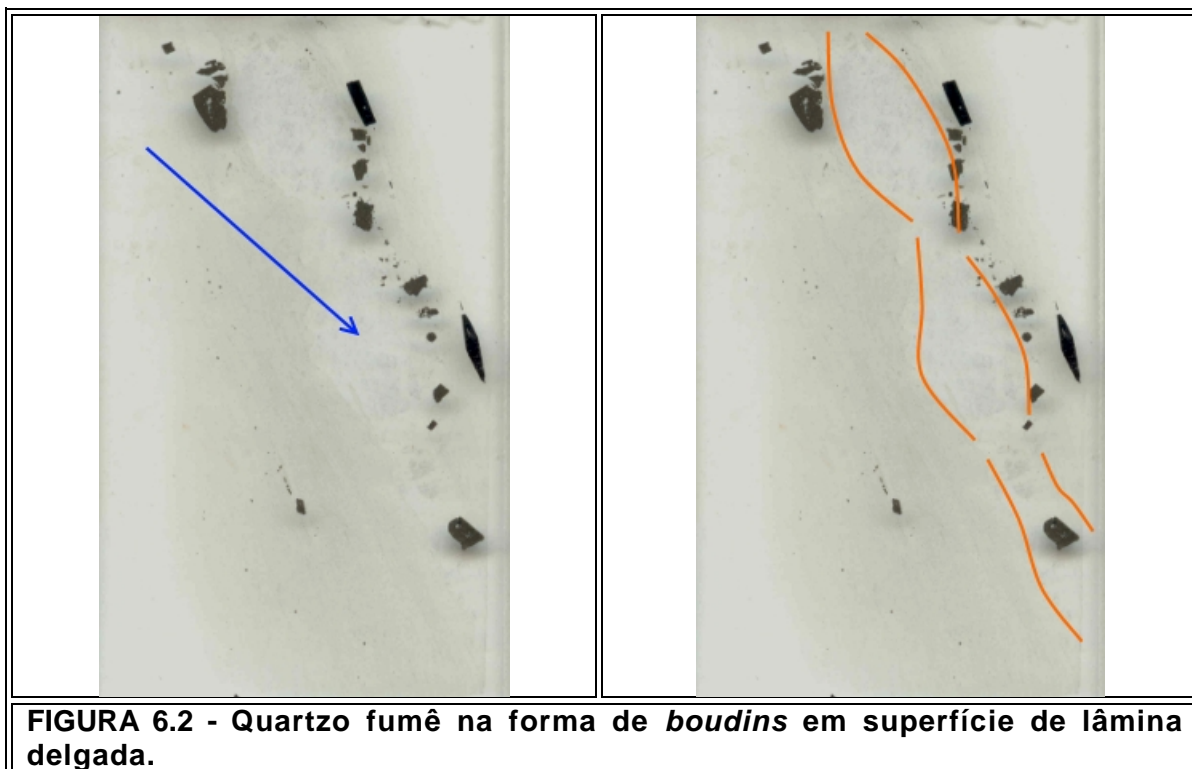
6.1.2 Silicificação

1- Na escala microscópica, a silicificação é caracterizada por três tipos de quartzito (PRANCHA 6.1):

- (i) Grosso, com bordas lobadas, extinção ondulante, contendo inúmeras inclusões fluidas. É recristalizado e denominado quartzito fumê (tipo pele de onça);
- (ii) Fino poligonal, límpido, comumente produto de recristalização de (i);
- (iii) Poligonal, de veio, com ou sem carbonato, comumente associado a sulfetos.



2 - Esses tipos de quartzo podem ocorrer na forma de *boudins*, com ou sem sulfetos em suas bordas (FIGURA 6.2), e localmente na forma de *sheeted veins* (PRANCHA 6.1 b).



3- Zonas de silicificação, de escala métrica a hectométrica, não são observadas nos metapelitos, em contraste com todas as outras litologias que ocorrem no Depósito Lamego e que apresentam estas zonas. Isto sugere que xistos carbonosos serviram como barreira para o fluido hidrotermal.

6.1.3 Sulfetação

1- A sulfetação parece ter se desenvolvido em etapas sin- a tardi-silicificação do tipo (i), ou seja pele de onça (PRANCHA 6.1 a), em especial associada à recristalização desse quartzo mais grosso, deformado. Verifica-se, entretanto, que quartzo branco leitoso (em escala macroscópica) também é precipitado junto com carbonato e sulfetos, onde faixas de mica estão comumente associadas.

2- O sulfeto predominante é a pirita, seguida por arsenopirita, calcopirita e esfalerita. Em amostras mineralizadas, é marcante a presença de pirita arsenical, identificadas em lamínas pela tonalidade cinza dentro de piritas, com formação ou não de arsenopirita. Esta passagem parece representar a fase principal de precipitação de ouro; essa é uma característica também notável em alguns corpos da mina Cuiabá (LOBATO *et al.*, 2001).

3- A transição pirita arsenical-arsenopirita varia entre os corpos de minério. Em amostras mineralizadas de Carruagem, a formação de arsenopirita ocorre apenas localmente, ao longo das bordas da pirita arsenical, comumente porosa, e/ou como manchas arsenicais nesta. Por outro lado, nos corpos Arco da Velha, Cabeça de Pedra e Queimada, é comum a formação de cristais de arsenopirita ao longo das bordas e no núcleo da pirita, além de manchas arsenicais INDICA FOTOS QUE TÊM. O hábito da pirita pode ser mantido.

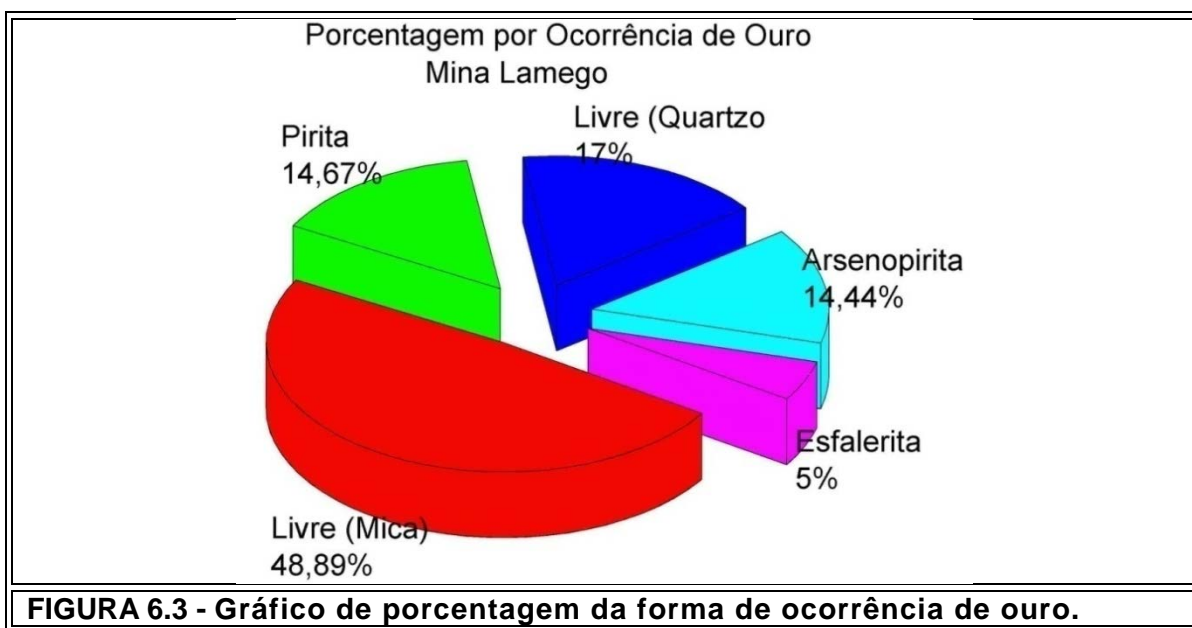
4- Em algumas amostras de xisto carbonoso piritoso podem ser observados cristais de pirita autigênica com hábito arredondado (PRANCHA 4.18). São massas de cristais recristalizados parcialmente desagregados. Além disso, nessas mesmas amostras, bandas/faixas de pirita muito fina framboidal são observadas, a partir das quais pirita euédrica hidrotermal se desenvolve.

6.1.4 *Partículas de Ouro*

1- O estudo em detalhe das partículas de ouro livre (FIGURA 6.3), presentes em massas de quartzo fumê, revela que na verdade as mesmas estão comumente associadas a:

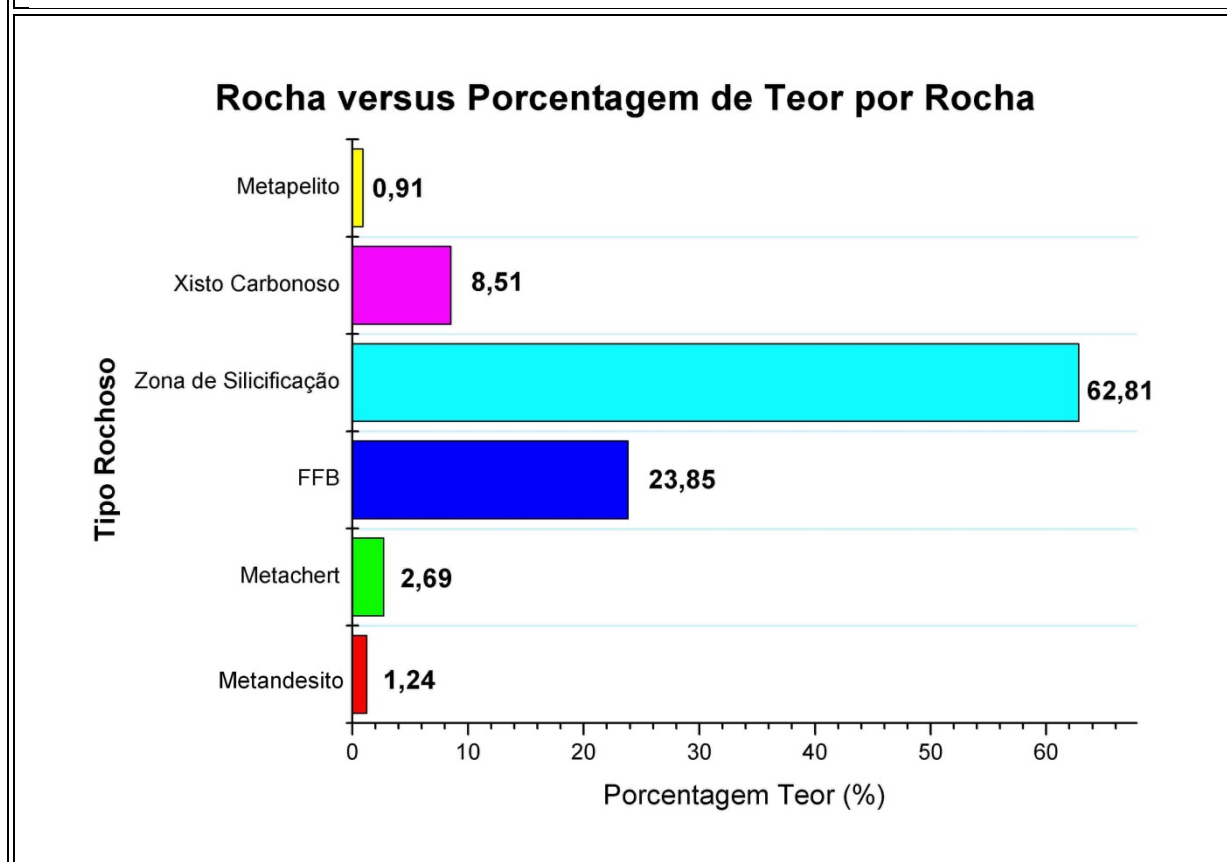
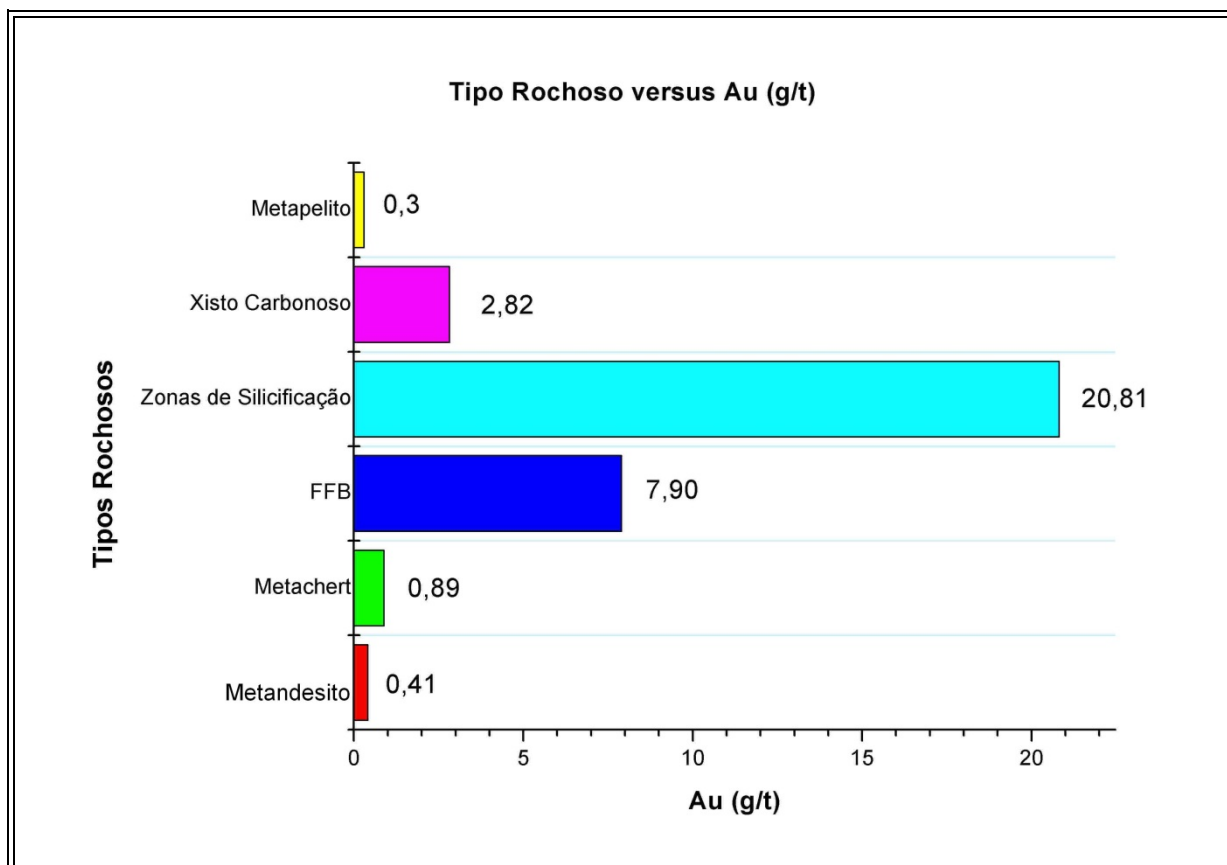
- (i) Faixas de mica (48,89 %);

- (ii) Sulfetos hidrotermais (34,11 %), principalmente pirita, arsenopirita e esfalerita, provavelmente resultante da alteração de relictos de faixas e/ou porções de rocha hospedeira.
- (iii) Livre, no quartzo (17%)



2- As mais de sessenta lâminas petrográficas foram confeccionadas de amostras de furos de sondagem (Anexo J) cujos teores de ouro são conhecidos. Com base nesses dados, fica claro que são as zonas de silicificação que contêm os maiores teores, além de formação ferrífera bandada e xisto carbonoso, os quais apresentam, respectivamente, teores em g/t Au, de 20,81; 7,90; 3,77 e 2,82 dessas amostras selecionadas (PRANCHA 6.2 a).

3- Por outro lado, metapelito, metandesito e *metachert* possuem os menores teores, respectivamente 0,3; 0,41 e 0,89 em g/t (PRANCHA 6.2 a). O gráfico da PRANCHA 6.2 b representa o percentual de teor de ouro para cada tipo rochoso estudado na petrografia.



PRANCHA 6.2 - a) Gráfico com teor de Au (g/t) por cada tipo rochoso; b) Percentual de teor de ouro para cada tipo rochoso.

6.2 Geologia Estrutural

1- As observações de campo e os estudos petrográficos demonstram que a evolução estrutural é associada aos seguintes eventos: o primeiro é caracterizado pela deformação progressiva D_1 - D_2 , de comportamento dúctil; o evento D_3 é característico de ambiente dúctil-rúptil, conforme se observa na TABELA 6.1.

TABELA 6.1
Descrição dos eventos deformacionais, comportamento reológico e estruturas desenvolvidas

Evento	Característica	Estruturas
D_1 - D_2	Dúctil	Dobras, lineações, foliação, eixo de dobra. Zonas de empurrão, milonitização, fraturas.
D_3	Dúctil-Rúptil	Clivagem de crenulação, clivagem espaçada e lineações de interseção.

2- A estrutura que hospeda o depósito Lamego é definida em escala macroscópica por uma dobra reclinada, a Dobra Lamego, onde o caimento do eixo, variável entre ESE e SE, é paralelo a subparalelo ao mergulho do plano axial. A dobra tem perfil apertado à isoclinal, com fechamento (charneira) no quadrante SW (Cabeça de Pedra) e estrangulamento dos flancos no quadrante NE (Carruagem), conforme observado na FIGURA 6.4.

3- A xistosidade desenvolvida apresenta igualmente dobras de dimensões métricas a decamétricas (PRANCHA 5.10). Observa-se também uma lineação de interseção de orientação variável E a SE. Apesar de terem seus eixos orientados no mesmo quadrante das lineações, as dobras encontradas nas galerias e frentes de lavra diferem destas por ângulos variáveis entre 15° e 60° , sendo o maior ângulo encontrado no corpo Carruagem.

4- No flanco NW, invertido, desenvolveu-se uma zona de cisalhamento principal paralela aos flancos e ao plano axial da dobra, associada a movimento de cavalgamento, além de ocorrerem zonas paralelas e de menor expressão, observadas nos diversos corpos mineralizados. Esta zona principal é estabelecida em virtude do grande paralelismo das estruturas e desenvolveu-se ao longo do evento progressivo D_{1-2} com movimento NW-SE. Outras zonas de menor porte aparecem orientadas em posição *h0l* (planos de cisalhamento associados às dobras que se intersectam paralelamente ao seu eixo). O paralelismo e semelhança geométrica entre as dobras do acamamento e da xistosidade, assim como a variação ao longo do plano de xistosidade dos eixos das dobras e de lineação de interseção, são indicativos de rotação controlada por cisalhamento. O cisalhamento ocorre principalmente ao longo dos planos que bordejam os flancos das dobras, como parte de processo deformacional progressivo. Isso permite interpretar que essas estruturas desenvolveram-se dentro de uma única fase, aqui denominadas como D_{1-2} . Essa equivale a uma etapa de dobramento e uma ou, possivelmente, mais de uma, etapa de cisalhamento e redobramento coaxial das estruturas existentes.

5- A variação entre a orientação dos eixos das dobras e da lineação encontrada no corpo Carruagem está provavelmente relacionada à existência de uma zona transpressiva em rampa oblíqua, desenvolvida no evento progressivo D_{1-2} (FIGURA 6.4). Por outro lado, as estruturas no corpo Queimada representariam uma tectônica relacionada a uma rampa frontal também desenvolvida no evento progressivo D_{1-2} , enquanto o Cabeça de Pedra representaria a zona de charneira da dobra (FIGURA 6.4).

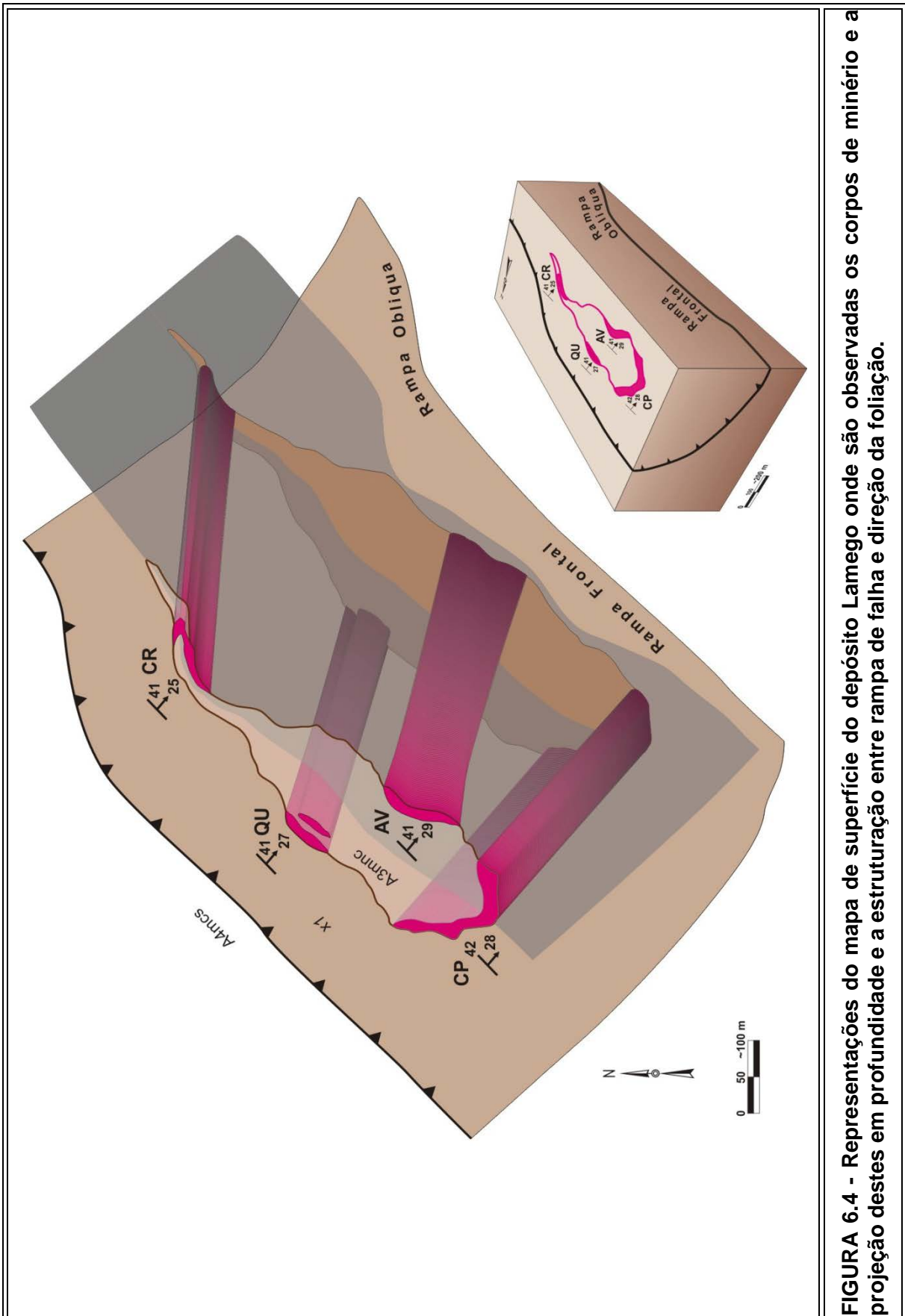
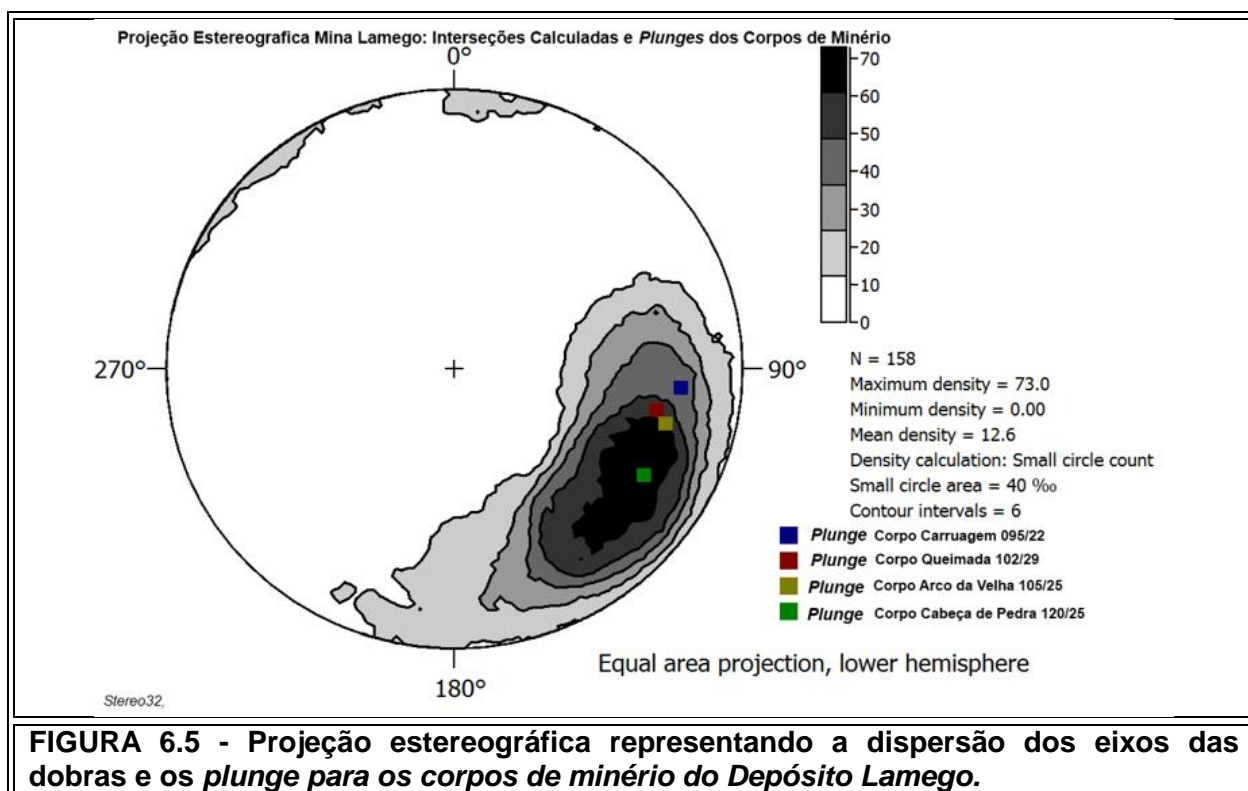


FIGURA 6.4 - Representações do mapa de superfície do depósito Lamego onde são observadas os corpos de minério e a projeção destes em profundidade e a estruturação entre rampa de falha e direção da foliação.

6- Os corpos de minério mais ricos encontram-se claramente associados às charneiras das dobras da fase D_{1-2} , na qual houve concentração de fluidos, de modo que a orientação dos eixos de dobra controla o *plunge* dos corpos, com especial atenção aos eixos D_2 . Este fato torna-se evidente quando da simples observação dos estereogramas da FIGURA 6.5. As isolinhas representam a dispersão dos eixos das dobras sobre a foliação principal causado pela superimposição de fases, enquanto os pontos individuais, na forma de quadrados, a orientação do *plunge* dos diferentes corpos. Na FIGURA 6.5, observa-se que a distribuição do *plunge* coincide com a distribuição dos eixos das dobras.



7- A morfologia em *pinch e swell* estaria associada ao achatamento subsequente, experimentado pelas dobras, e que foi aparentemente mais intenso na zona de rampa oblíqua, conforme preconizado para o corpo Carruagem. O estado final de achatamento não corresponde a um modelo prolato de deformação, já que é possível estabelecer duas direções de estiramento:

- i. Uma de maior intensidade segundo NW-SE, e que deve representar a orientação de transporte tectônico durante o cavalgamento (Figura 6.5), e
- ii. Outra, de menor intensidade, segundo NE-SW, e que deve representar direção de escape lateral dentro de um quadro de deformação triaxial e não-plana. O efeito de achatamento mais intenso no corpo Carruagem reflete-se na maior dispersão de lineações e no caimento do corpo do minério (*plunge*). Este tende a tornar-se menos definido e também distinto da orientação dos eixos de dobra, fazendo com estes um ângulo de aproximadamente 60°.

8- Superpostas às estruturas, (i) e (ii) descritas no item 7 acima, desenvolvem-se ainda, em escala deca- a hectométrica, dobras de eixo NE-SW. As mesmas têm orientação controlada pela atitude dos flancos da dobra do evento D₁₋₂, e são distribuídas ao longo de um grande círculo de direção aproximadamente N-S (FIGURA 5.3), que correspondem ao plano de clivagem espaçada, ou de crenulação (S₃), encontrado principalmente nas rochas metapelíticas.

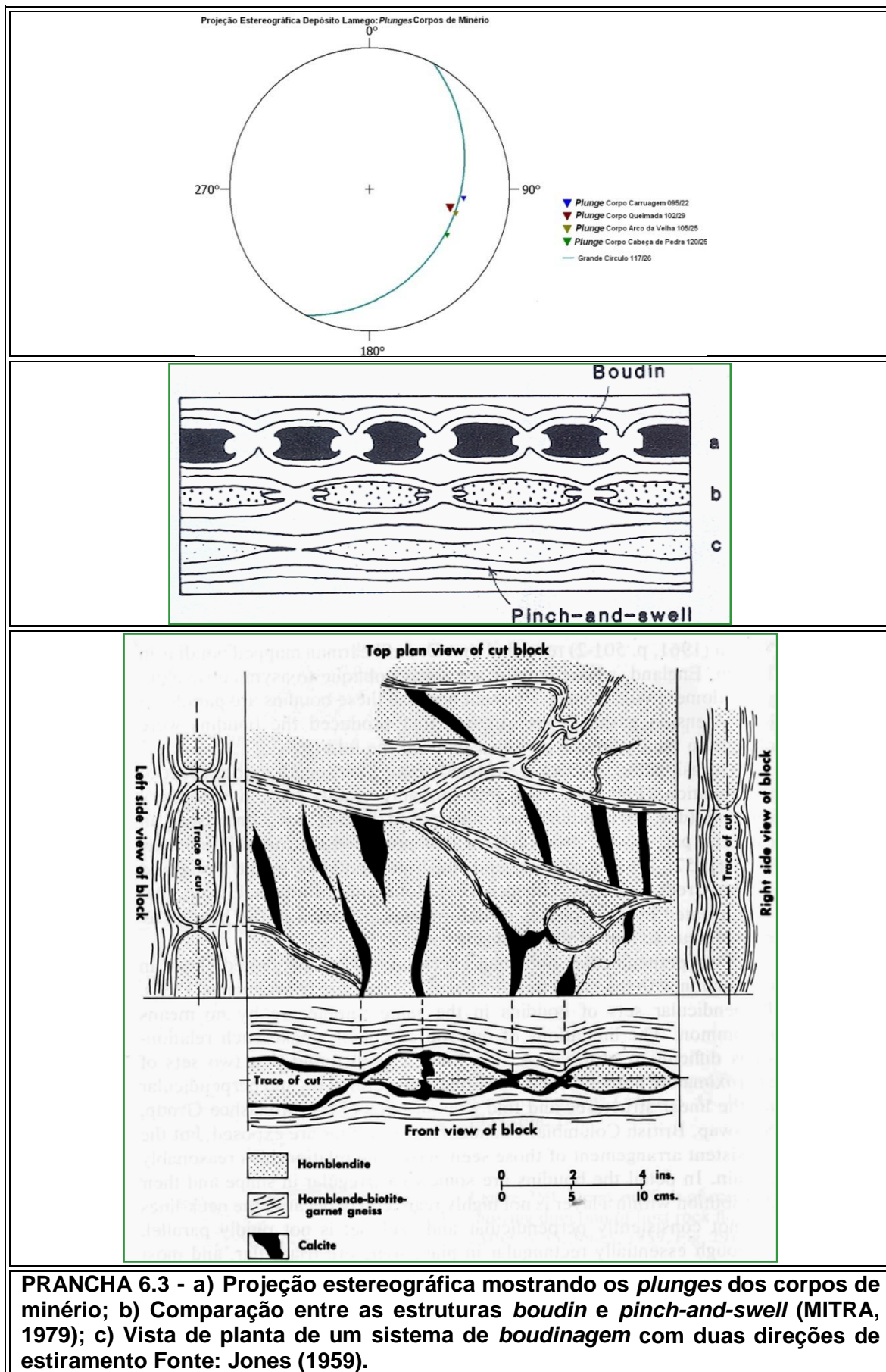
9- As estruturas clivagem de crenulação e clivagem espaçada são reflexo, em mesoescala, de dobras e cavalgamentos regionais de orientação NE-SW, com vergência para N de idade proterozoica. Essas últimas deslocaram, para a posição atual, as estruturas do evento D₁₋₂ de idade arqueana, originalmente NW-SE, e que é provavelmente o *trend* arqueano do cinturão Rio das Velhas. Elas não têm, entretanto, qualquer influência no processo de mineralização associado ao desenvolvimento do Depósito Lamego.

10- Os corpos de minério apresentam *plunge* variando de 95/22, no Corpo Carruagem, até 120/25 no Corpo Cabeça de Pedra. A natureza estrutural dos pequenos corpos de minério sugere seu desenvolvimento em um sistema do tipo *pinch-and-swell* (PRANCHA 6.3 b) e, localmente, *boudin* com duas direções ortogonais de estiramento sendo a boudinagem originada pela deformação progressiva dos corpos de minério.

11- Assim, caracteriza-se uma estruturação do tipo tablete de chocolate durante a mineralização (PRANCHA 6.3 c). É possível que o eixo maior da *boudinage* seja refletido no *plunge* dos corpos principais de minério. Existe variação de *plunge* destes eixos maiores dentro de cada corpo e entre cada corpo, conforme mostrado na PRANCHA 6.3 a.

12- Esse modelo diverge daquele normalmente indicado para outras jazidas arqueanas da região do Quadrilátero Ferrífero, nas quais a mineralização está, geralmente, associada com dobras e/ou estiramento unidirecional.

Para uma análise cinemática completa são necessários ainda estudos petrotectônicos e pesquisa de estruturas indicativas das variações na direção e sentido de movimento durante a evolução da deformação. Essa evolução está certamente associada a uma tectônica de cavalgamento, na qual dobras e planos de cisalhamento podem ocorrer alternadamente com eventual mudança de nível estrutural, desenvolvendo características geométricas variáveis durante o transporte, mas mantendo a simetria e com cinemática constante. A morfologia original das estruturas está, entretanto, alterada pelos eventos deformacionais posteriores.

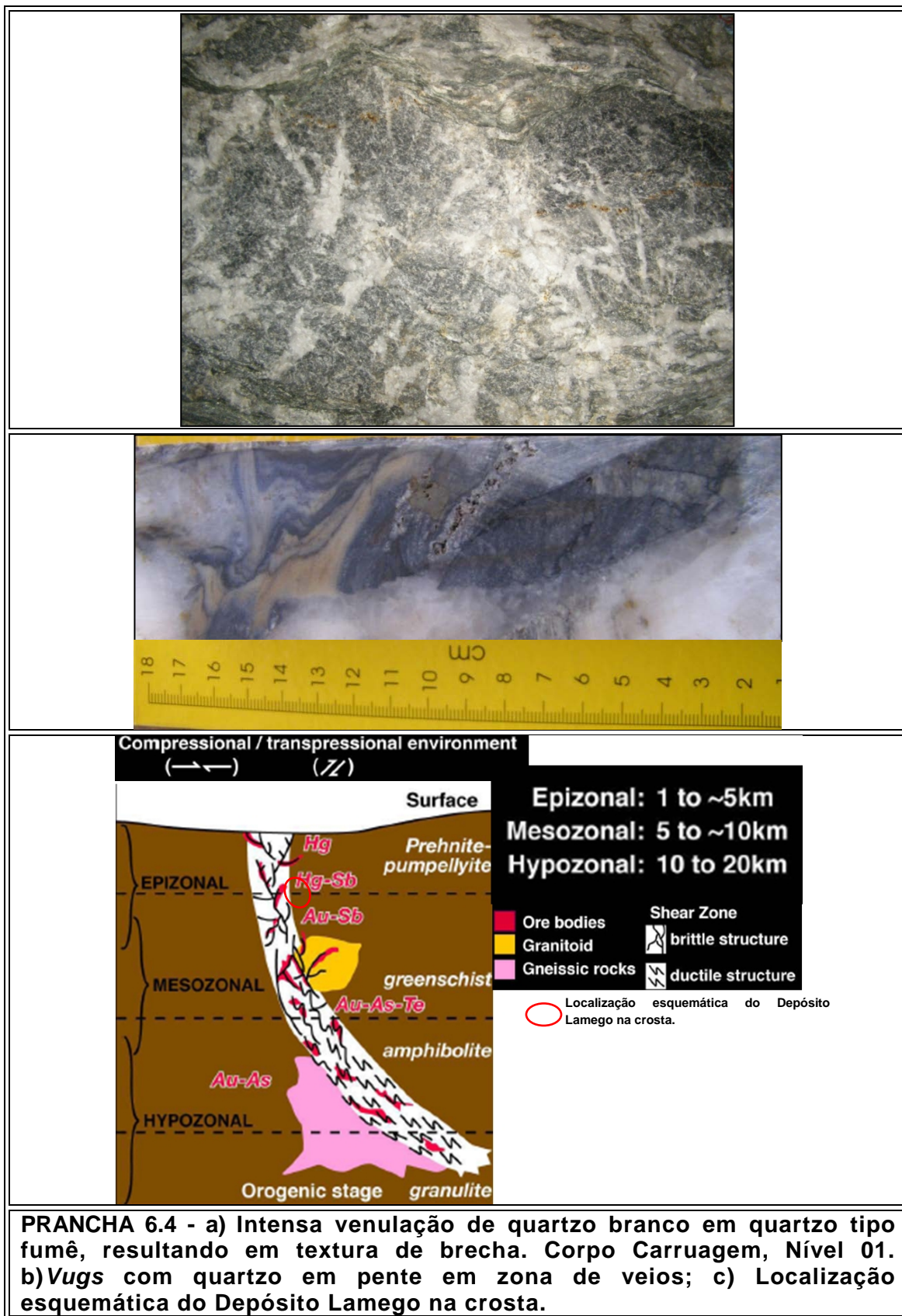





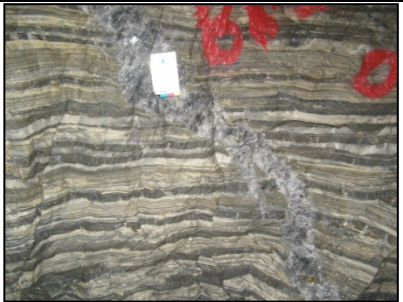
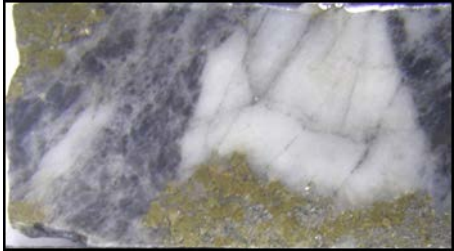
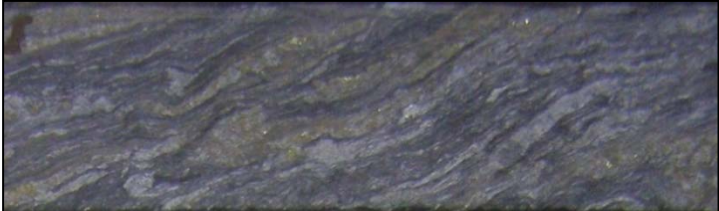
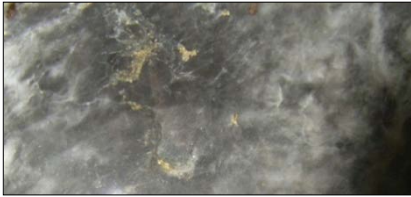

6.3 Classificação do Depósito

O depósito Lamego é classificado como do tipo orogênico, segundo critérios de Groves *et al.* (1998), em *greenstone belt* arqueano. A mineralização aurífera associa-se à intensa alteração hidrotermal incluindo silicificação, carbonatação, hidratação e sulfetação. A precipitação de ouro está principalmente relacionada à silicificação e sulfetação da formação ferrífera bandada, *metachert* ferruginoso e xisto carbonoso (PRANCHA 6.5).

Algumas características texturais, em escalas macro- e microscópica, tais como presença de brechas (PRANCHA 6.4 a), *vugs* (PRANCHA 6.4 b), quartzo em pente, entre outros, sugerem que a mineralização Lamego tenha ocorrido em condições crustais na transição mesozonal para epizonal (PRANCHA 6.4 c). Essa interpretação é corroborada pelo volume anormalmente elevado de massas quartzosas mineralizadas que comumente contornam e/ou atravessam a sequência de forma irregular, diferindo da maior parte dos depósitos auríferos arqueanos clássicos no QF, onde a silicificação é principalmente controlada pela trama das rochas. Mas é importante salientar que para uma caracterização mais adequada é necessário estudos complementares como de inclusões fluídas, análises geoquímicas e isotópicos.

A idade da mineralização aurífera, estabelecida por U-Pb em monazita hidrotermal dos depósitos Cuiabá e Morro Velho (Lobato *et al.*, 2007), é arqueana em 2672 ± 14 Ma. Em Lamego, não há mineralização aurífera relacionada a fase D₃, nem tampouco rompimentos ou deslocamentos substanciais dos corpos mineralizados, o que permite interpretar que as estruturas D₁₋₂, que regem a mineralização, também devam ser do Arqueano.



<p>Metabasilto</p>		
<p>Metachert carbonoso</p>		
<p>Metachert bandado ferruginoso</p>		
<p>FFB com veio de Qtz fumê (pele de onça) e FFB sulfetada venulada</p>		
<p>Xistocarbonoso sulfetado</p>		
<p>Qtz fumê (pele de onça) e Qtz recristalizado leitoso</p>		
<p>Metapelito</p>		
<p>PRANCHA 6.5 - Tipos litológicos da Mina Lamego e intensa silicificação associada.</p>		

6.4 Implicações Estratigráficas

1- Na preparação do modelo estrutural apresentado (FIGURA 6.4), as rochas encaixantes estão denominadas de forma geral como metapelitos (X1), sem considerar a distinção entre as unidades Córrego do Sítio e Mindá, cartografadas por Baltazar *et al.* (2005) no mapa geológico da Folha Belo Horizonte. Segundo os autores, a primeira unidade acha-se estratigraficamente sobreposta à Unidade Mindá, ambas aflorantes no entorno do Depósito Lamego, e pertencentes à Associação de Litofácies Ressedimentada. Já as rochas do depósito pertencem à Unidade Mestre Caetano, da Associação de Litofácies Vulcanoclástica (BALTAZAR e ZUCCHETTI, 2007), assim representando uma janela tectônica na Unidade Córrego do Sítio.

2- Baltazar *et al.* (2005) cartografaram o contato entre as unidades Córrego do Sítio e Mestre Caetano como concordante e normal. Entretanto, nossos trabalhos sugerem que isso seja pouco provável devido ao intenso tectonismo nas rochas da Dobra Lamego e também à discordância erosiva implícita entre as Unidades Mestre Caetano e Córrego do Sítio. É provável que as falhas de empurrão a sudoeste e a nordeste da Dobra Lamego (FIGURA 6.6) se estendam e se juntem no entorno da dobra.

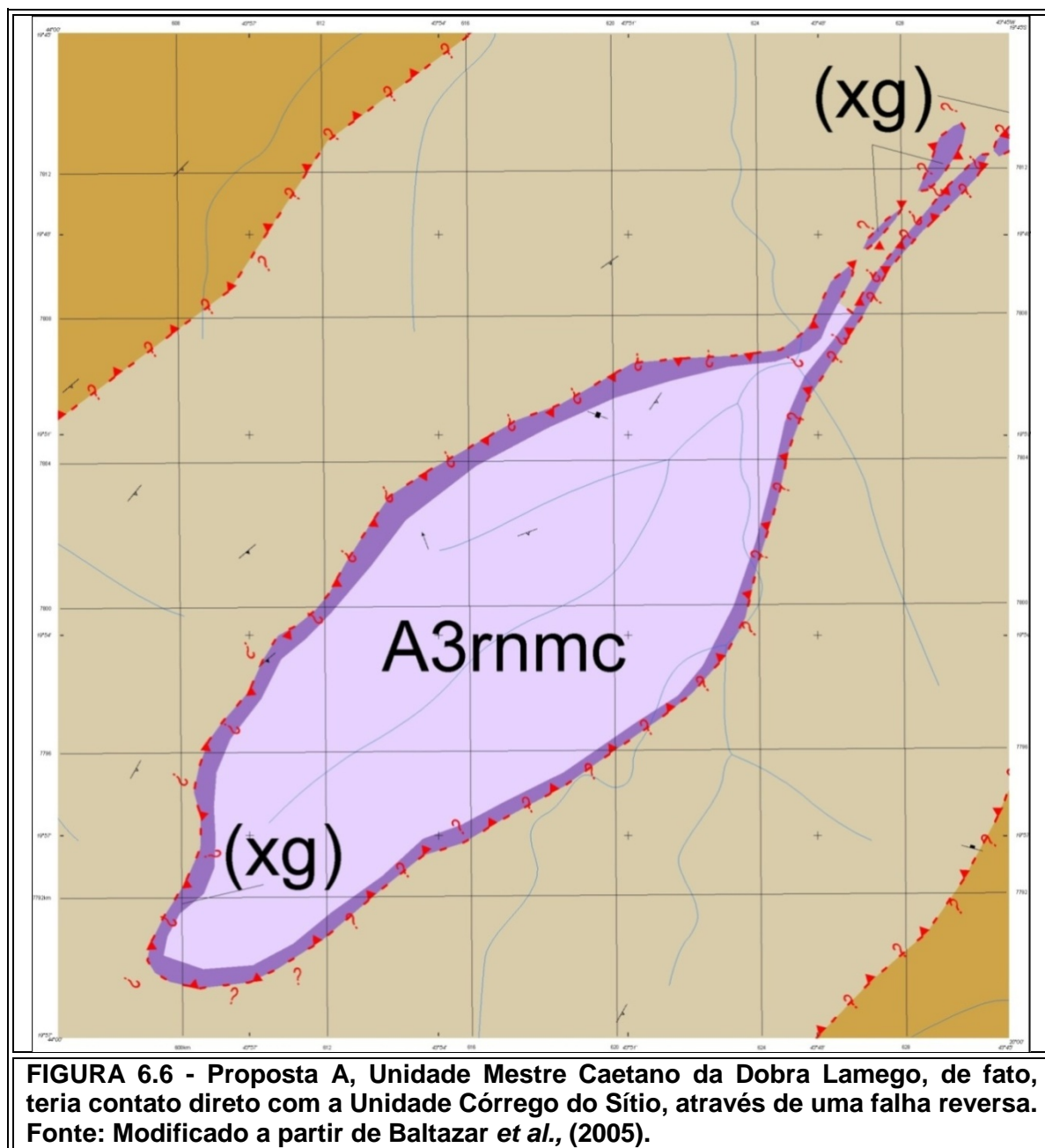
3- Com objetivo de compatibilizar esse empilhamento estratigráfico invertido no trabalho de Baltazar *et al.* (2005), três propostas conceituais da trajetória destas falhas de empurrão são sugeridas.

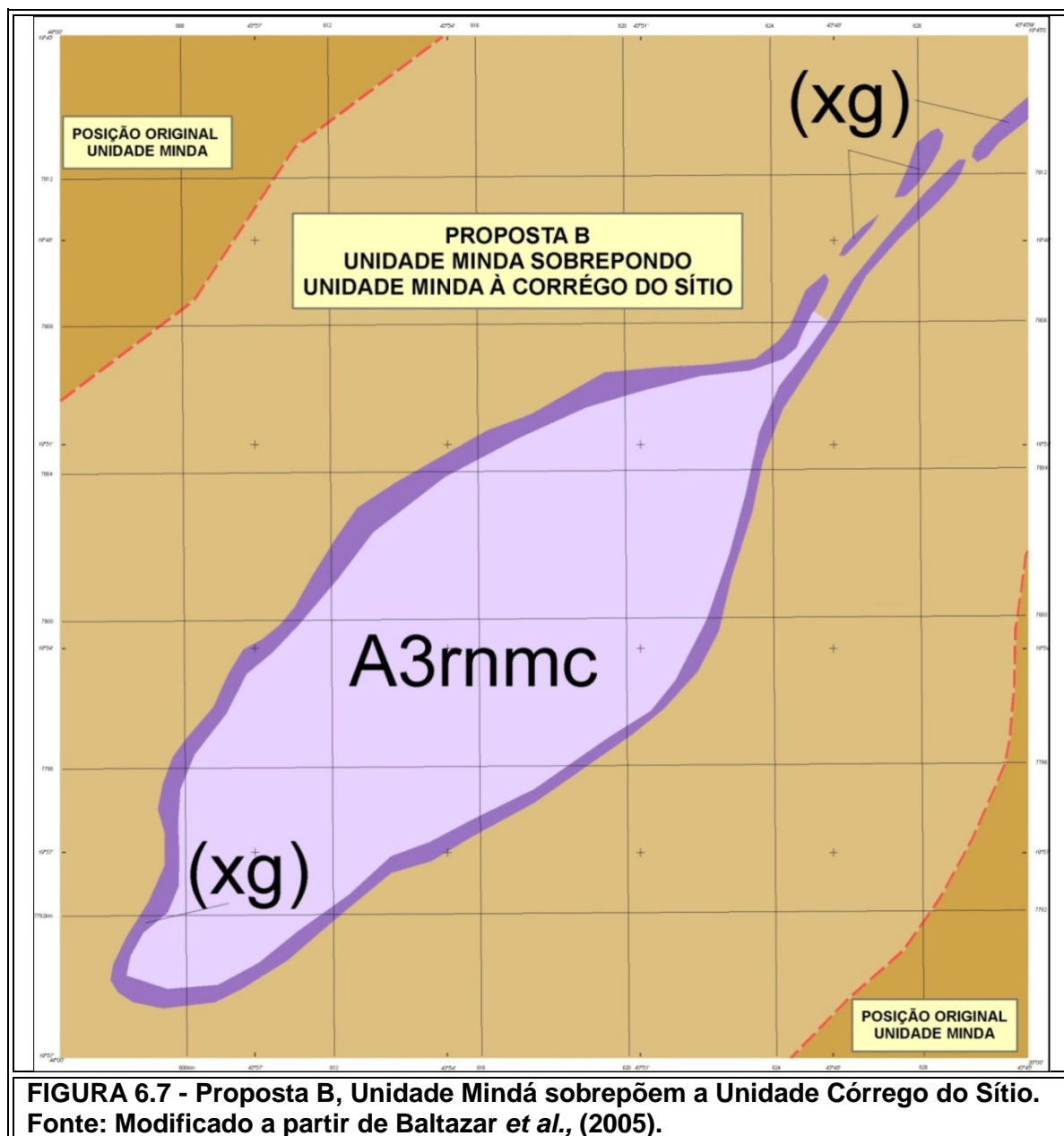
(i) Através da proposta A (FIGURA 6.6), a Unidade Mestre Caetano da Dobra Lamego, de fato, teria contato direto com a Unidade Córrego do Sítio, através de uma falha reversa.

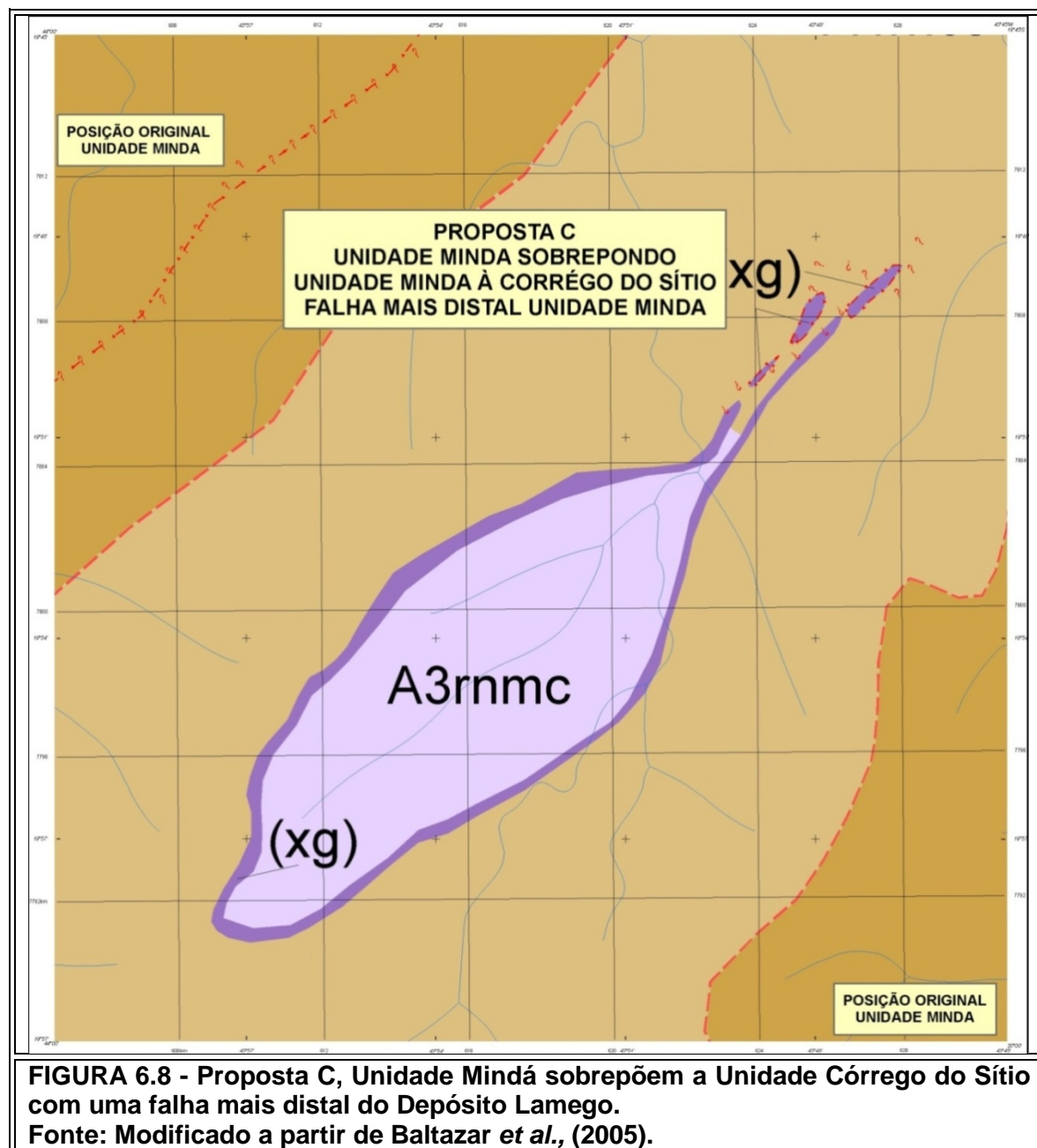
(ii) Nas propostas B e C (FIGURA 6.7 e FIGURA 6.8) sugere-se que a Unidade Mestre Caetano, da Dobra Lamego, faça contato com a Unidade Mindá como parte da envoltória anticlinal dobrada. As propostas B e C se diferem no que diz respeito

ao posicionamento regional de uma falha de empurrão aqui proposta. Na proposta B haveria sobreposição da Unidade Mindá na Unidade Córrego do Sítio, na lapa da Dobra Lamego. Por outro lado, a proposta C sugere que essa falha de empurrão tenha atuado mais distante da lapa da Dobra Lamego, a norte e noroeste dentro da Unidade Mindá.

A resolução do problema da alocação estratigráfica do metapelito X1, presente na Mina Lamego e tida como pertencente à Unidade Mindá ou à Córrego do Sítio, não está definida e requer trabalhos de caráter regional. Nossos trabalhos sugerem que provavelmente esses metapelitos pertençam à Unidade Mindá, já que a descrição constante do item 5.1 desta Dissertação relata que os metapelitos da Unidade Mindá possuem estratificação gradacional preservada, o que é característico da Unidade Mindá (BALTAZAR *et al.*, 2005). Entretanto, na área de estudo não é observada estratificação cruzada, tida como característica da Unidade Córrego do Sítio (BALTAZAR *et al.*, 2005).







REFERÊNCIAS

ALKMIM, 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**, v. 149, p. 43-64, 2006.

ALKMIM, F. F.; NOCE, C. M. The Paleoproterozoic record of the São Francisco craton. **Paleoproterozoic Supercontinents e Global Evolution**, v. 116, 2006.

ALKMIM, F.; Marshak, S. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero. **Precambrian Research**, v.90, p. 29-58, 1998.

ALMEIDA, F.F.M. Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia, Boletim, vol. 241. 36 pp, 1967.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.(Eds). O ré-Cambriano do Brasil. Edgar Blücher Ltda, São Paulo. 378 pp. 1984.

ARSLAN, A.; PASSCHIER, C. W.; KOEHN, D. Foliation boudinage. **Journal of Structural Geology**, v. 30, p. 291-309, 2008.

ÁVILA, C.; TEIXEIRA, W.; PEREIRA, R. Geologia e petrografia do quartzo monzodiorito Glória, cinturão mineiro, porção sul do Craton do São Francisco, Estado de Minas Gerais. **Arquivos do Museu Nacional**, v. 62, p. 83-98, 2004.

BABINSKI, M.; CHEMALE JUNIOR, F.; SCHMUS, W. R. V. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Precambrian Research**, v. 72, p. 235-245, 1995.

BALTAZAR, O.; ZUCCHETTI, M. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 471-499, 2007.

BONS, P. D. et al. Apparent Boudinage in Dykes. **Journal of Structural Geology**, v. 26, p. 625-636, 2004.

BRITO, G. F.; CHOI, V. M. P. **Manual para elaboração de referências bibliográficas**: segundo a NBR6023/2002. v, 28, 2004.

BULLIS, H.; HUREAU, R.; PENNER, B. Distribution of gold and sulfides at Lupin, Northwest Territories. **Economic Geology**, 1994 Disponível em: <http://econgeol.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/89/6/1217>.

CABRAL, A.; LEHMANN, B. Seleniferous minerals of palladium and platinum from ouro preto-bearing mineralisation in Brazil. **Ore Geology Reviews**, v.32, p. 681-688, 2007.

CARMO, V.; CARNEIRO, M. **Análise Estrutural Descritiva da Mina do Lamego e do seu Entorno, Quadrilátero Ferrífero, MG**. 1998 148 f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto.

CASSIDY, K.; HAGEMANN, S. World-class Archeanorogenic gold deposits, eastern Yilgarn Craton: Diversity in timing, structural controls and mineralization styles. **AGSO – Geoscience Australia**, p. 382-384, 2001. Disponível em: http://www.ga.gov.au/image_cache/GA5712.pdf.

CHAUVET, A. et al. Mineralização aurífera da Idade Proterózoica Superior e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais -Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.24, p. 151, 1994.

CHAUVET, A. Gold Deposit Formation during Collapse Tectonics: Structural, Mineralogical, Geochronological, and Fluid Inclusion Constraints in the Ouro Preto Gold Mines, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Economic Geology**, v. 96, p. 25-48, 2001.

COELHO, J.; MARTINS NETO, M.; MARINHO, M. Estilos estruturais e evolução tectônica da porção mineira da bacia proterozóica do São Francisco. **Rev. Bras. Geociências**, v. 38, p. 149-165, 2008.

CORDANI, U. G. et al. Interpretação Tectônica e Petrológica de dados Geocronológicos do Embasamento do Bordo SE do Quadrilátero Ferrífero, MG. **Academia Brasileira de Ciências**, v. 52, n. 4, p. 785-799, 1980.

COSTA, M.; LOBATO, L. **Estudo dos isotópos de carbono e oxigênio e caracterização petrográfica em corpos de minério da mina Cuiabá, Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2001 127 f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais.

CUNNINGHAM, D. A structural transect across the coastal mobile belt in the Brazilian Highlands (latitude 20°S): the roots of a Precambrian transpressional orogen. **Precambrian Research**, v. 92, p. 251-275, 1998.

CUNNINGHAM, W.; MARSHAK, S.; ALKMIM, F. Structural style of basin inversion at mid-crustal levels: two transects in the internal zone of the Brazilian Araçuaí Belt, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Research**, v. 77, p.1-15, 1996.

DAVIS, G. *et al.* Structural Geology of Rocks and Regions. New York: . John Wiley e Sons, 1996. 776 p.

DORR, J. V. N., Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **United States Geological Survey, Professional Paper 641-A**, p.115, 1969.

DUBÉ, B.; GOSSELIN, P. Gold: Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits (orogenic, mesothermal, lode gold, shear-zone-related quartz-carbonate or gold only deposits). **Mineral Deposits of Canada**, v. 9, 2009.

GALBIATTI, H. et al. Structural control of Au–Pd mineralization (Jacutinga): An example from the Cauê Mine, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 614-628, 2007.

GEBRE-MARIAM, M.; HAGEMANN, S. G.; GROVES, D. I. A classification scheme for epigenetic Archaean lode-gold deposits. **Mineralium Deposita**, v. 30, p. 408-410, 1995.

GOLDFARB, R. et al. P Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. **Society of Economic Geologists**, V.100, p. 407-450, 2005.

GOLDFARB, R. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. **Ore Geology Reviews**, v. 18, p. 1-75, 2001.

GOSCOMBE, B.; PASSCHIER, C.; HAND, M. Boudinage classification: end-member boudin types and modified boudin structures. **Journal of Structural Geology**, v. 26, p. 739-763, 2004.

GROVES, D.; GOLDFARB, R.; GEBRE-MARIAM, M. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. **Ore geology**, v. 13, p. 7-27, 1998.

HARTMANN, L. et al. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U-Pb isotopes. **Journal of South**, v. 20, p. 273-285, 2006.

Herz, N. Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *United States Geological Survey Professional Paper*, v. 641-C. 81 p, 1978 *apud* BALTAZAR, O.; ZUCCHETTI, M. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 471-499, 2007.

HIPPERTT, J.; DAVIS, B. Dome emplacement and formation of kilometre-scale synclines in a granite–greenstone terrain (Quadrilátero Ferrífero, southeastern Brazil). **Precambrian Research**, v. 102, p. 99 – 121, 2000.

JOST, H.; FORTES, P. Gold deposits and occurrences of the Crixás Goldfield, central Brazil. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 358-376, 2001.

JR, F. C.; ROSIÈRE, C.; ENDO, I. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Research**, v. 65, 1994.

JUNQUEIRA, P. et al. Structural control and hydrothermal alteration at the BIF-hosted Raposos lode-gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 629-650, 2007.

KATO, Y. et al. Rare earth element variations in mid-Archean banded iron formations: Implications for the chemistry of ocean and continent and plate tectonics. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 62, p. 3475-3497, 1998.

KERRICH, R.; CASSIDY, K. Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation-Archean to present: A review. **Ore Geology Reviews**, v. 9, p. 263-310, 1994.

KLEIN, C. Geochemistry and Petrology of Some Proterozoic Banded Iron-Formations of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, v. 95, p. 405-427, 2000.

KRANENDONK, M. V. et al. Structural evolution of the c. 3.53 Ga Theespruit Formation in the Tjakastad area, southwestern Barberton Greenstone Belt, South Africa, with implications for Archean. **Chemical Geology**, v. 261, p. 115-139, 2009.

LASCELLES, D. Black smokers and density currents: A uniformitarian model for the genesis of banded iron-formations. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 381-411, 2007.

LOBATO, L. et al. Brazil's premier gold province. Part I: The tectonic, magmatic, and structural setting of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 228-248, 2001.

LOBATO, L. et al. U-Pb SHRIMP monazite ages of the giant Morro Velho and Cuiabá gold deposits, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 674-680, 2007.

LOBATO, L. M. et al. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with the Nova Lima Group of the Quadrilátero Ferrífero: Part II, The Archean Mesothermal Gold-Bearing Hydrothermal System. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, p. 355-366, 1998.

LOBATO, L.; RIBEIRO-RODRIGUES, L.; VIEIRA, F. Brazil's premier gold province. Part II: geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 249-277, 2001.

LOBATO, L.; RIBEIRO-RODRIGUES, L.; VIEIRA, F. Brazil's premier gold province. Part II: geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. ERRATUM. **Mineralium Deposita**, p. 808-809, 2001.

LOBATO, L.; RIBEIRO-RODRIGUES, L.; VIEIRA, F. Brazil's premier gold province. Part II: geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 249-277, 2001.

LOBATO, L.; VIEIRA, F.; RIBEIRO, L. Hydrothermal alteration and gold mineralizations associated with the Nova Lima Group of the Quadrilátero Ferrífero:

Part I, description of selected gold deposits. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, p. 339-354, 1998.

MACHADO, I. 500 years of mining in Brazil: a brief review. **Resources Policy**, v. 27, p. 9-24, 2001.

MANDAL, N.; CHAKRABORTY, C.; SAMANTA, S. Boudinage in multilayered rocks under layer-normal compression: a theoretical analysis. **Journal of Structural Geology**, v. 22, p. 373-382, 2000.

MARSHAK, S. et al. Extensional collapse in the Neoproterozoic Araçuaí orogen, eastern Brazil: a setting for reactivation of asymmetric crenulation cleavage. **Journal of Structural Geology**, v. 28, p. 129-147, 2006.

MARTINS-PEREIRA, S. et al. Nature and origin of the BIF-hosted São Bento gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil, with special emphasis on structural controls. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 571-595, 2007.

MINTER, W. E. L.; RENGER, F. E.; SIEGERS, A. Early Proterozoic gold placers of the Moeda Formation within the Gandarela Syncline, Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, v. 85, p. 943-951, 1990.

MOOKHERJEE, A. Dykes, sulphide deposits, and regional metamorphism: Criteria for determining their time relationship. **Mineralium Deposita**, v. 5, p. 120-144, 1970.

NOCE, C. et al. Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas Greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil): U–Pb zircon dating of volcaniclastic gray wackes. **Precambrian Research**, v. 141, p. 67-82, 2005.

NOCE, C. et al. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U–Pb SHRIMP data: Implications for Brazil–Africa links in Paleoproterozoic time. **Precambrian Research**, v. 159, p. 60-78, 2007.

NOCE, C. Geochronology of the Quadrilátero Ferrífero: a review. **Revista Geonomos**, v. 8, p. 15-23, 2000.

NOCE, C.; PEDROSA-SOARES, A.; SILVA, L. D. R. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U–Pb SHRIMP data: Implications for Brazil–Africa links in Paleoproterozoic time. **Precambrian**, v. 159, p. 60-78, 2007.

NOCE, C.; TASSINARI, C.; LOBATO, L. Geochronological framework of the Quadrilátero Ferrífero, with emphasis on the age of gold mineralization hosted in Archean greenstone belts. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 500 – 510, 2007.

OLIVEIRA, O. A. As Falhas De Empurrão e Suas Implicações na Estratigrafia e Metalogênese do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34. **Anais SBG**. Goiânia: v. 2, p. 1074-1087, 1986.

OLIVEIRA, O. A. B.; TEIXEIRA, W. Evidência de uma Tectônica Tangencial Proterozóica no Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. **Anais SBG**. Natal: v. 6, p. 2589-2604, 1990.

OLIVEIRA, O. A. B.; VIEIRA, M. B. H. Aspectos da Deformação Dúctil e Progressiva no Quadrilátero Ferrífero. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NÚCLEO MINAS GERAIS, 4. **Anais SBG**. Belo Horizonte: Bol. 7, p. 237-253, 1987.

OLIVO, G. et al., JTF Palladium-bearing gold deposit hosted by Proterozoic lake superior-type iron-formation at the Caue iron mine, Itabira District, southern Sao Francisco Craton, Brazil;. **Economic Geology**, v. 90, p. 118-134, 1995.

PHILLIPS, G. N.; POWELL, R. Formation of gold deposits: Review and evaluation of the continuum model. **Earth-Science Reviews**, v. 94, p. 1-21, 2009.

PIER, C. A. et al. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Research**, v. 152, p. 170-206, 2007.

RIBEIRO-KWITKO, R.; OLIVEIRA, C. G. O depósito aurífero de Antônio Pereira, Quadrilátero Ferrífero: condições pt e natureza dos fluidos mineralizadores. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 117-126, 2004.

RIBEIRO-RODRIGUES, L.; DEOLIVEIRA, C.; Friedrich, G. The Archean BIF-hosted Cuiabá Gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 543-570, 2007.

ROSIÈRE, C. A. et al. Análise Cinemática Mesoscópica dos Cavalgamentos do Cinturão Espinhaço na Região de Diamantina, MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 61, p. 97-103, 1994.

ROSIÈRE, C. et al. Um Modelo para a Evolução Microestrutural dos Minérios de Ferro do Quadrilátero Ferrífero. Parte II-Trama, Textura e Anisotropia de Susceptibilidade Magnética. **Revista Geonomos**, v. 4, p. 61-75, 1996.

ROSIÈRE, C.; JUNIOR, F. C.; GUIMARÃES, M. Um modelo para a evolução microestrutural dos minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Parte I: Estruturas e Recristalização. **Revista Geonomos**, v. 23, p 65-84, 1993.

Rosiere CA, Spier CA, Rios FJ, Suckau VE (2008) The itabirite from the Quadrilátero Ferrífero and related high-grade ores: an overview. *Reviews in Economic Geology* 15:223-254.

SALES, M. **The Geological Setting of the Lamego Banded Iron-Formation-Hosted Gold Deposit, Quadrilátero Ferrífero Distric, Minas Gerais-Brazil**.1998 182 f. Dissertação (mestrado), Queen's Universit.

SANT'ANNA, L. Cenozoic tectonics of the Fonseca Basin Region, eastern Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 10, p. 275-284, 1997.

SANTOS, R.; ALVARENGA, C. S. D.; Babinski, M. Carbon isotopes of Mesoproterozoic-Neoproterozoic sequences from Southern Sao Francisco craton and Aracuai Belt, Brazil: Paleographic implications. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 18, p. 27-39, 2004.

SCHMALHOLZ, S. M.; SCHMID, D. W.; FLETCHER, R. C. Evolution of pinch-and-swell structures in a power-law layer. **Journal of Structural Geology**, v. 30, p. 649–663, 2008.

SCHÖPFER, M. Strain-dependent rheology and the memory of plasticine. **Tectonophysics**, v. 354, p. 85-99, 2002).

SCHORSCHER, H. D. Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na Região de Itabira, Minas Gerais. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. **Anais SBG**. Ouro Preto: Abstracts, 194- 195, 1976.

SIBSON, R.; RICHARDS, J.;TOSDAL, R. Structural controls on ore genesis. **Society of Economic Geologists**, v. 14, p. 46, 2001.

SPIER, C.; OLIVEIRA, S. D.; ROSIÈRE, C. Geology and geochemistry of the Águas Claras and Pico Iron Mines, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Mineralium Deposita**, p 751-774, 2003.

TEIXEIRA, W. et al. K Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archaean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco craton, Brazil. **Precambrian Research**, v. 78, p. 151-164, 1996.

THE MENDELEY SUPPORT TEAM GETTING STARTED WITH MENDELEY. *Mendeley Desktop*1-14(2010). Disponível em: <http://www.mendeley.com>.

VIAL, D. et al. An epigenetic origin for the Passagem de Mariana gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 596-613, 2007.

VIAL, D. et al. Smaller gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 651-673, 2007.

VIAL, D. et al. Special issue on gold deposits of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 469-470, 2007.

VIAL, D. et al. The geology of the Morro Velho gold deposit in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 511-542, 2007.

ZUCCHETTI, M.; LOBATO, L. M.; BALTAZAR, O. F. Volcanic and volcanoclastic features in archean rocks and their tectonic environments, Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, MG–Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 388-392, 2000.

ANEXO A

MAPEAMENTO GEOLÓGICO NO DEPÓSITO LAMEGO

1 Método de Mapeamento

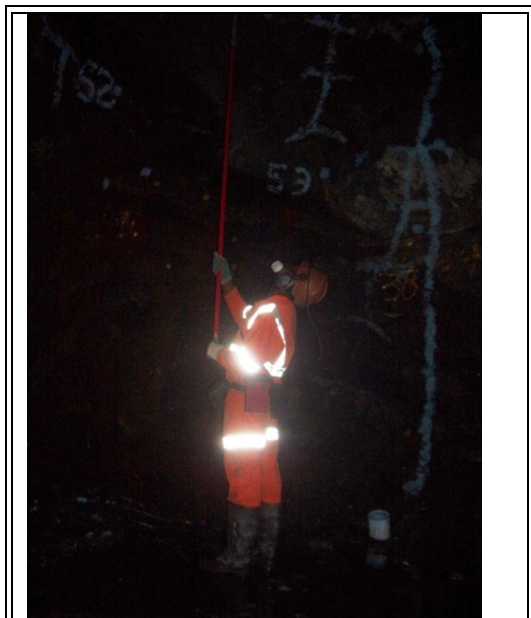
O depósito Lamego utiliza um sistema de coordenadas locais próprios caracterizados como um plano cartesiano tridimensional onde X corresponde ao leste, Y ao norte e Z altura.

Ao longo de toda a mina existem *Pontos Topográficos* (PT) de apoio com coordenadas X, Y e Z conhecidos, a partir dos mesmos é possível saber as coordenadas X, Y e Z de qualquer outro ponto dentro da mina.

O mapeamento consiste em marcar e levantar as coordenadas de pontos de contato litológico e estruturas geológicas como, por exemplo, falhas, boudinagem e etc. que ocorrem tanto nos distritos de acesso ao minério como na frente de lavras sendo que posteriormente estes pontos serão integrados com furos de sondagem horizontais e serão utilizados para confecção do mapa geológico.

O trabalho foi feito seguindo orientações acumuladas durante o curso de Mapeamento em Mina Subterrânea ministrado pelo geólogo Frederico Wallace. O curso foi oferecido pela AGA tendo o autor deste seminário participado como convidado.

2 Marcação de Pontos de Contato e Estruturais



ANEXO A-I. 1 - Exemplo da marcação de pontos.

Este procedimento tem como objetivo marcar e numerar pontos ao longo de contatos litológicos e estruturas maiores (ANEXO A-I. 1). No momento da marcação e levantamento destes pontos alguns cuidados devem ser tomados quanto à posição relativa da galeria:

- ✓ Se a galeria ocorre em direção paralela ao *plunge* deve-se marcar pontos espaçados 2,5 metros, pelo menos, com o intuito de evitar a superposição de pontos (ANEXO A-I. 2).

- ✓ Se a galeria ocorre de forma oblíqua ou perpendicular a *plunge* não ocorre a superposição de pontos (ANEXO A-I. 2) e, portanto o espaçamento entre os pontos pode

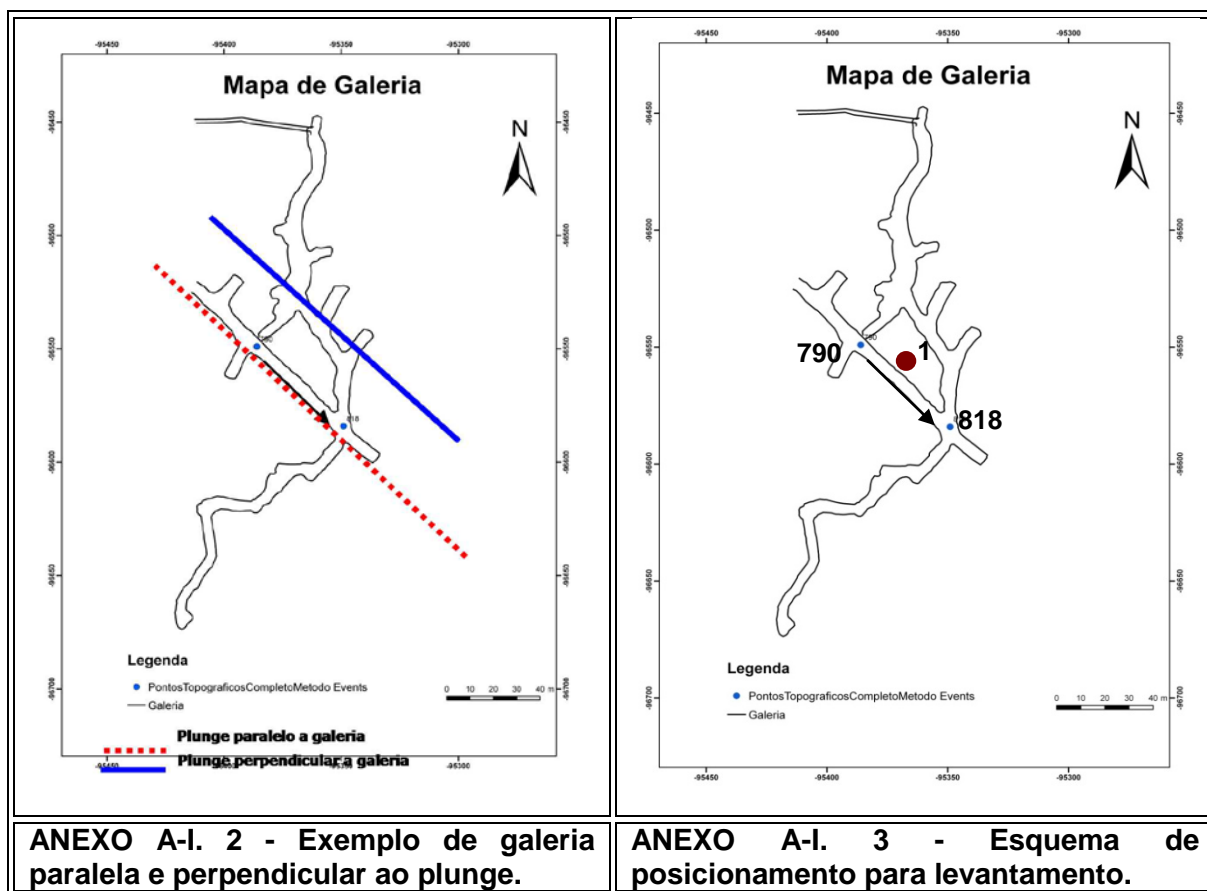
ser menor.

3 Coleta de Dados dos Pontos de Contato

A coleta de dados dos pontos de contato é realizada entre dois pontos topográficos com coordenadas X, Y e Z conhecidas (ANEXO A-I. 3). Na realização do levantamento das coordenadas alguns parâmetros devem ser estabelecidos:

- ✓ A distância entre os dois pontos topográficos obtidos com uma trena que é fixada embaixo destes pontos topográficos;
- ✓ A altura dos dois pontos topográficos que será utilizada para calcular a inclinação do caminhamento e irá influenciar na coordenada Z;
- ✓ Direção a qual ponto topográfico será realizado o caminhamento de levantamento;

- ✓ Posição zero do caminhamento de levantamento que será oposto a direção do caminhamento.



Uma vez definidos estes parâmetros os dados a serem coletados são:

- ✓ Distância na qual o ponto de contato se encontra em relação aos dois PT, no qual foi estabelecido o ponto zero, considerando um caminhamento em linha reta entre estes dois PT o que é dado pela trena esticada entre os dois;
- ✓ Distância lateral a partir da linha de caminhamento, dado pela trena, até a parede da galeria, sendo que a direção do ponto com esta linha deve ser de 90°;
- ✓ Altura do ponto em relação à superfície de caminhamento;
- ✓ Lado da galeria no qual o ponto de contato foi marcado se a esquerda ou direita da linha de caminhamento. A definição do ponto zero e direção de caminhamento irão influenciar diretamente neste parâmetro. Como exemplo, observando-se a figura 12, caso o marco zero seja o ponto topográfico 790 e o caminhamento seja em direção ao ponto topográfico 818 o ponto de contato em marrom 01 ficará a esquerda. Agora, caso os parâmetros sejam modificados, ou seja, o marco zero passe a ser o ponto 818 e o

caminhamento seja realizado na direção do ponto 790 o ponto de contato 01 ficará a direita do caminhamento.

Com isto, é útil a utilização de uma tabela a qual constem os dados coletados de forma organizada, facilitando a tabulação (TABELA A-I. 1) dos mesmos para ser tratada em *softwares* adequados ou mesmo para tratamentos de dados a mão.

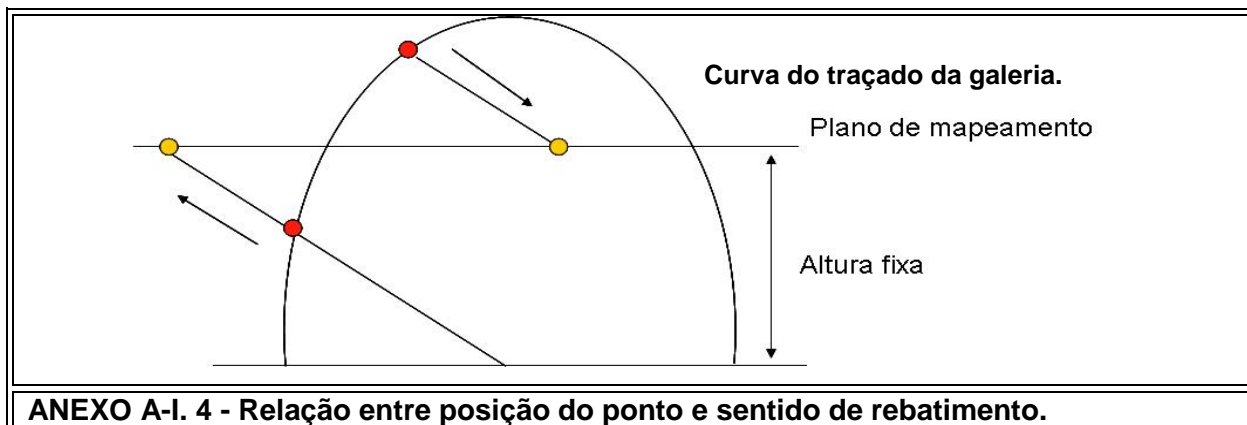
TABELA A-I. 1

Modelo de tabulação de dados para levantamento litológico e estrutural.

Mina	Lamego			Data	05/02/2010			
Corpo	Carruagem	Nível	2	Executante	Breno Martins			
Ponto	Distância	Lateral	Lado	Altura	PT (1;2)	N.º PT	R. Nível	I. Trena
1	20	5	E	2	2	790	4.67	0
						818	5.00	50

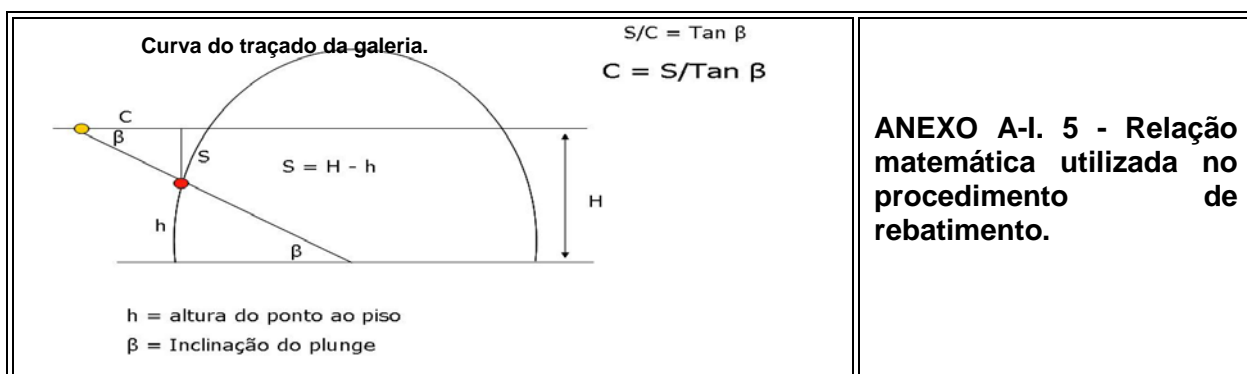
4 Cálculos da Projeção no Plunge

Uma vez coletados, os pontos devem ser rebatidos em um plano Para este trabalho, foi considerado um plano que continha a direção do plunge do minério e localizado 3 metros acima da superfície da galeria. Com isto, os pontos que estão acima deste plano são rebatidos para baixo e os que estão abaixo são rebatidos para cima (ANEXO A-I. 4)



Para demonstrar o cálculo do rebatimento consideremos a figura ANEXO A-I. 5, na qual o ponto **S** corresponde a posição real de um ponto qualquer enquanto ponto **C** é o ponto no qual o ponto **S** foi rebatido, **H** corresponde à altura do plano de rebatimento, **h** corresponde a altura do ponto em relação ao piso da galeria enquanto β corresponde a inclinação do plunge.

Uma vez estabelecidos estes parâmetros a posição do ponto **C** pode ser calculada a partir da pela relação matemática $C = S / \tan(\beta)$ que pode ser reescrita como $C = H - h / \tan(\beta)$, ou seja, **C** será dado pela diferença de altura do ponto e plano de rebatimento dividido pela tangente do *plunge*.



Uma vez que se conhece o valor de C , o azimute (θ) do plunje e as coordenadas dos pontos topográficos que são utilizados no levantamento o próximo passo é calcular a coordenada do ponto C , o que pode ser obtido a partir da fórmula matemática:

$$E = (Cx \operatorname{sen}(\theta)) + \text{Coordenada } E \text{ do ponto.}$$

$$N = (Cx \operatorname{cos}(\theta)) + \text{Coordenada } N \text{ do ponto.}$$

ANEXO B

MAPA GEOLÓGICO FOLHA BELO HORIZONTE

Detalhe Depósito Lamego (Tamanho A3)

ANEXO C

MAPA GEOLÓGICO CORPO QUEIMADA NÍVEL 01

ANEXO D

MAPA GEOLÓGICO CORPO ARCO DA VELHA NÍVEL 01

ANEXO E

MAPA GEOLÓGICO CORPO ARCO DA VELHA NÍVEL 02

ANEXO F

MAPA GEOLÓGICO CORPO CABEÇA DE PEDRA NÍVEL 01

ANEXO G

MAPA GEOLÓGICO CORPO CABEÇA DE PEDRA NÍVEL 02

ANEXO H

MAPA GEOLÓGICO CORPO CARRUAGEM NÍVEL 01

ANEXO I

MAPA GEOLÓGICO CORPO CARRUAGEM NÍVEL 02

ANEXO J

CD-ROM COM PDF DA DISSERTAÇÃO