



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



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**GEOLOGIA E ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL DO DEPÓSITO DE  
AU-PGE DE SERRA PELADA, CURIONÓPOLIS, PARÁ**

**AUTOR: GABRIEL VALENTIM BERNI**

**ORIENTAÇÃO: CARLOS ALBERTO ROSIÈRE**

**CO-ORIENTAÇÃO: LYDIA MARIA LOBATO**

Nº102

**BELO HORIZONTE**

**2009**



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



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**GEOLOGIA E ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL DO DEPÓSITO DE  
AU-PGE DE SERRA PELADA, CURIONÓPOLIS, PARÁ**

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

**Autor:** Gabriel Valentim Berni

**Orientação:** Carlos Alberto Rosière

**Co-orientação:** Lydia Maria Lobato

**BELO HORIZONTE**

**2009**

Dissertação defendida e aprovada, em 22 de dezembro de 2009, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



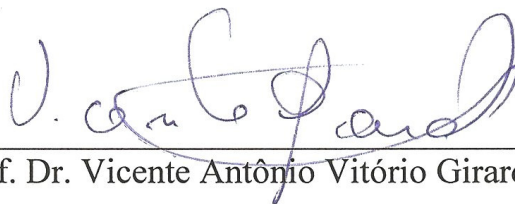
---

Prof. Dr. Carlos Alberto Rosière



---

Prof. Dr. Friedrich Ewald Renger



---

Prof. Dr. Vicente Antônio Vitório Girardi

B4577g  
2009

Berni, Gabriel Valentim.

Geologia e alteração hidrotermal do depósito de AU-PGE de Serra Pelada, Curionópolis, Pará [manuscrito] / Gabriel Valentim Berni. -- 2009.

VI, 116 f., enc. : il., figs. (color.), tabs., mapas (color.).

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2009.

Área de concentração: Geologia Econômica Aplicada.

Orientador: Carlos Alberto Rosière.

Co-orientadora: Lydia Maria Lobato.

Bibliografia: f. 112-116.

Inclui anexo.

1. Alteração Hidrotermal - Tese. 2. Minério de Ouro – Geologia – Tese. 3. Platina – Tese. 4. Paládio – Tese. I. Rosière, Carlos Alberto. II. Lobato, Lydia Maria. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 550.8

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1.0 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - Objetivos .....	3
1.2 - Localização e Vias de Acesso .....	3
1.3 - Métodos de Trabalho .....	5
1.3.1 - Amostragem .....	5
1.3.2 - Caracterização petrográfica e textural.....	6
1.3.3 - Espectroscopia de Refletância .....	6
1.3.4 - Geoquímica Multielementar .....	7
1.3.5 - Microsonda Eletrônica .....	7
1.3.6 - Datações .....	7
2.0 - GEOLOGIA REGIONAL .....	9
2.1 - Contexto Geotectônico.....	9
2.2 - Contexto Geológico do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas .....	11
2.2.1 - Estratigrafia do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas.....	14
2.2.2 - Estruturação do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas .....	19
3.0 - ESTRATIGRAFIA DA REGIÃO DE SERRA PELADA.....	21
3.1 - O Problema Estratigráfico.....	21
3.2 - Síntese Geológica.....	22
3.3 - Estratigrafia.....	26
3.3.1 - Arqueano Indiviso .....	26
3.3.2 - Grupo Rio Novo .....	26
3.3.3 - Sequência Metassedimentar.....	27
3.3.4 - Rochas Intrusivas .....	37
3.3.5 - Metamorfismo Regional e de Contato .....	39
4.0 - GEOLOGIA ESTRUTURAL DA REGIÃO DE SERRA PELADA .....	40
4.1 - Síntese da Estruturação Regional.....	40
4.2 - Principais Estruturas do Evento D <sub>1</sub> .....	41

4.2.1 - Dobras .....	41
4.2.2 - Foliação Regional.....	46
4.2.3 - Falhas .....	46
4.3 - Principais Estruturas do Evento D <sub>2</sub> .....	48
4.3.1 - Dobras .....	48
4.3.2 - Clivagem de Crenulação.....	48
4.3.3 - Lineamentos Fotointerpretados e Falhas Normais .....	49
5.0 - ALTERAÇÃO HIDROTERMAL DO DEPÓSITO DE AU-PGE DE SERRA PELADA .....	50
5.1 - Síntese.....	50
5.2 - Zona do Carbono.....	51
5.2.1 - Caracterização Petrográfica e Textural .....	52
5.2.2 - Zona do Carbono: Mineralogia e Composição do Au-Pt-Pd .....	60
5.3 - Zona da Argila .....	66
5.3.1 - Caracterização Petrográfica e Textural .....	68
5.3.2 - Mineralogia e Composição do Au-Pt-Pd.....	71
5.4 - Zona da Sílica .....	76
5.5 - Brechas com matriz ricas em óxidos e hidróxidos de ferro (BXFEO).....	78
5.6 - Geoquímica das Principais Zonas de Alteração Hidrotermal .....	79
5.6.1 - Elementos Maiores.....	79
5.6.2 - Elementos Menores e Traços .....	84
5.6.3 - Relação da distribuição dos Elementos Maiores, Menores e Traços com Au+Pt+Pd.....	89
5.6.4 - Relação Au-Pt-Pd .....	92
5.6.5 - Elementos Terras Raras.....	94
6.0 - DISTRIBUIÇÃO DA ALTERAÇÃO HIDROTERMAL E CONTROLE ESTRUTURAL DAS ZONAS MINERALIZADAS.....	98
6.1 - Distribuição da Alteração Hidrotermal.....	98
6.2 - Controle Estrutural.....	100
7.0 - GEOCRONOLOGIA.....	102
7.1 - Diorito.....	102
7.2 - Metaconglomerado Polimítico (Unidade 1).....	103
8.0 - DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	105
8.1 - Geologia Regional .....	105
8.2 - Depósito de Au-PGE de Serra Pelada.....	105
8.2.1 - Estratigrafia.....	105
8.2.2 - Geologia Estrutural .....	106

8.2.3 - <i>Alteração Hidrotermal</i> .....	107
8.2.4 - <i>Afinidade do Au-Pt-Pd</i> .....	109
8.2.5 - <i>Modelo Genético</i> .....	110
9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXO 01 - BOLETINS DE ANÁLISES QUÍMICAS	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Vista do Garimpo de Serra Pelada no auge de suas atividades em 1983 (Foto: Arthur Bernardelli).	2
Figura 1.2 - Vista área da região de Serra Pelada em 1995.	2
Figura 1.3 - Localização da área de estudo no Brasil.	3
Figura 1.4 - Localização regional da área de estudo. Imagem Landsat.	4
Figura 1.5 - Detalhe na área de estudo (Imagem IKONOS 2007).	4
Figura 2.1 - Distribuição das províncias geocronológicas da Amazônia Central (Fonte: Tassinari & Macambira 1999).	9
Figura 2.2 - Mapa Geológico da porção sudeste do Craton Amazônico (Fonte: Tassinari & Macambira 2004).	10
Figura 2.3 - (A) - Mapa geológico da Província Mineral de Carajás, legenda vide figura 2.3B. Fonte: Costa 2007.	12
Figura 2.3 - (B) - Legenda referente à figura 2.3A. Algumas unidades listadas na estratigrafia regional estão indivisas no mapa geológico. (Fonte: Costa 2007).	13
Figura 2.4 - Bloco diagrama esquemático da região de Carajás. Fonte: Rosière <i>et al.</i> (2005).	19
Figura 3.1 - Coluna estratigráfica da região de Serra Pelada.	23
Figura 3.2 - Mapa geológico da região de Serra Pelada.	24
Figura 3.3 - Mapa geológico local do depósito de Serra Pelada.	25
Figura 3.4 - (A) Sericita-quartzo xistos (Arqueano Indiviso). (B) Saprolito de metavulcânicas do Grupo Rio Novo. (C) Formação ferrífera bandada do Grupo Rio Novo.	26
Figura 3.5 - (A) Visão geral dos metarenitos da Unidade 1. (B) Níveis de metaconglomerado polimítico com acamamento bem definido. (C) Metaconglomerado monomítico em granodecrescência ascendente.	28
Figura 3.6 - (A) Afloramento dos metarenitos dolomíticos da unidade 01. (B) Metarenito com matriz dolomítica e veios de carbonatos preservados. (C) Metaconglomerado polimítico com matriz dolomítica e fragmentos de formação ferrífera. (D) Metaconglomerado monomítico com matriz dolomítica substituindo completamente os grãos de quartzo, em contato irregular com o acamamento. (E) Brecha sedimentar com fragmentos de metassilito. (F) Metassilito carbonoso intraformacional.	29
Figura 3.7 - (A) Afloramento de metassilito carbonoso na região da Serra do Sereno (>1% <sub>total</sub> ). (B) Metassilito carbonoso (<1% <sub>total</sub> ) basal do Sinclinal de Serra Pelada. (C) Fotomicrografia (LT,NC) variação entre nível mais rico em carbono e rico em sericita/muscovita, detalhe em (D).	31
Figura 3.8 - (A) Afloramento de metassilito vermelho. (B) Metassilito vermelho com nível carbonoso. (C) Metassilito vermelho com dobras parasíticas e acamamento bem definido. (D) Fotomicrografia (LT, NC) do	33

contraste entre as bandas ricas em óxidos de ferro e bandas ricas em sericita/muscovita.

Figura 3.9 - (A, B) Metassiltito vermelho com alteração fraca. (C) Porfiroblastos de granada no metassiltito alterado. (D) Metassiltito vermelho totalmente substituído por clorita. 34

Figura 3.10 - Fotomicrografias da zona substituição por clorita (LT, NC). (A) Níveis ricos em clorita substituindo metassiltito vermelho, detalhe em (B). (C) Polimorfo de granada substituído por sericita. (D) nicóis descruzados. 35

Figura 3.11 - (A) Metarenito com bandamento composicional bem definido. (B) Estratificação cruzada nos metarenitos. (C) Níveis conglomeráticos no metarenito. (D) Detalhe no nível de metaconglomerado com clastos de metassiltito. 36

Figura 3.12 - (A) Visão geral dos afloramentos do granito Cigano. (B) Granito Cigano com cristais centimétricos de quartzo e feldspato. 37

Figura 3.13 - (A) Diorito não alterado. (B) Diorito alterado hidrotermalmente. (C) Detalhe no diorito alterado. (D) Fotomicrografia do diorito não alterado (LT, NC aumento 10x - Grainger 2003). (E) Diorito hidrotermalmente alterado (LT,NC). 38

Figura 3.14 - (A) Contato do diorito com metarenito dolomítico metamorfizado. (B) Detalhe no metarenito, maciço, rico em talco. 39

Figura 4.1 - Estereograma de pólos de eixos de dobras parasíticas na região de Serra Pelada. Total 20 medidas. Máximo em 256/24. Contornos em 1, 10, 25 e 40%. 41

Figura 4.2 - (A) Modelo tridimensional do sinclinal de Serra Pelada (vermelho) e modelo digital de terreno. Visada para ENE. (B) - Distribuição (em azul) da principal zona mineralizada (>1ppm). Visada para ENE. 42

Figura 4.3 - Distribuição do metarenito intraformacional na unidade 2. (A) Visada para N. (B) Visada para ENE. 43

Figura 4.4 - Padrão das dobras parasíticas na região da cava de Serra Pelada. (A) - Visão oblíqua ao eixo de dobramento, detalhe em (B). (C) Visão oblíqua ao eixo de dobramento. (D) Visão perpendicular ao eixo de dobramento. 44

Figura 4.5 - Estereograma de pólos de eixos de dobras parasíticas para o Sinclinal Elefante. Total 15 medidas. Max em 246/30. Contornos em 1, 10, 25 e 50%. 45

Figura 4.6 - Estereograma de pólos de eixos de dobras parasíticas para o Anticlinal Cedro. Total 9 medidas. Max em 228/30. Contornos em 1,5, 10, 25 e 50%. 45

Figura 4.7 - Estereograma de pólos de foliação na região de Serra Pelada. Total 19 medidas. Máximo em 193/32. Contornos em 1,5, 10 e 25%. 46

Figura 4.8 - Modelo tridimensional do sinclinal de Serra Pelada e a principal falha (NW) normal associada. 47  
Visada para NNW.

Figura 4.9 - (A) Dobras  $D_1$  (maior amplitude, plano axial baixo ângulo) e  $D_2$  associadas (menor amplitude, 48  
plano axial de alto ângulo). (B) Detalhe em dobra  $D_2$  e clivagem plano axial associada. (C, D) Dobras  
parasíticas associadas ao evento  $D_2$ .

Figura 4.10 - Imagem de satélite LANDSAT e lineamentos associados na área de estudo. 49

Figura 5.1 - (A) Seção geológica mostrando a distribuição do zoneamento da alteração hidrotermal e 50  
distribuição dos teores de Au, detalhe em (B). Escala horizontal = escala vertical.

Figura 5.2 - Principais variações da zona do carbono. (A) Metassiltito cinza não alterado. (B) Metassiltito da 51  
zona do carbono estruturada. (C) Metassiltito da zona do carbono não estruturada. (D) Zona do carbono não  
estruturada em contato com zona de silicificação interna. (E) Contato irregular da zona de alteração carbonosa  
em relação ao acamamento (paralelo ao plano de fratura). (F) Brecha carbonosa

Figura 5.3 - Aspectos macroscópicos da ZCE. (A) Amostra de mão do metassiltito carbonoso da ZCE. 53  
Laminação fina ainda preservada. (B) Detalhe em veio de quartzo-caulinita paralelo ao So. (C) Detalhe no  
bandamento composicional e clivagem de crenulação  $F_2$ .

Figura 5.4 - Fotomicrografias (Luz transmitida (LT)) da ZCE. (A) Textura lepidoblástica, detalhe em (B), 54  
nicóis cruzados (NC). (C) Veio de quartzo-caulinita-sericita, detalhe em (D). (E) Cristal de monazita envolto  
por foliação ( $F_2$ ), nicóis paralelos (NL), (F) nicóis cruzados (NC).

Figura 5.5 - Aspectos macroscópicos da ZCN. (A) Trama obliterada e aspecto maciço da zona do carbono não 56  
estruturada. (B, C) Estágio inicial da alteração (ainda com resquícios do bandamento). (D, E) Estágio  
avanzado, estrutura primária obliterada e textura brechada, com agregados isolados de caulinita.

Figura 5.6 - Fotomicrografias da zona não estruturada (LT, NC). (A) Cristais de quartzo com hábito 57  
romboédrico associado ao Au (LR, ND). (B) Crescimento inter-fibra de sericita-muscovita e caulinita. (C)  
Textura bandada preservada com bolsões de quartzo-caulinita irregulares. (D) Detalhe na substituição paralela  
ao bandamento composicional. (E, F) Cristais fibro-radiais de granulação grossa de caulinita.

Figura 5.7 - Aspectos texturais das brechas carbonosas. (A) Brecha monomítica com fragmentos de 59  
metassiltito alterado e matriz carbonosa - largura do testemunho 6,4cm. (B) Detalhe em brecha monomítica.  
(C) Brecha polimítica com fragmentos de metassiltito e de agregados de quartzo-caulinita (cal). (D)  
Fotomicrografia (LT,NC) da brecha monomítica com matriz carbonosa. (E) Brechas polimíticas com matriz  
rica em caulinita.

Figura 5.8 - Imagem de elétrons retro-espalhados (microsonda eltetrônica). Associação de Au, liga de Pt-Pd- 61  
Au-Cu-Fe e fosfato (possível Waylandita).

Figura 5.9 - Imagem de elétrons retro-espalhados (microsonda eletrônica). Diferenças morfológicas entre as 61  
ligas de Au-PGE.

- Figura 5.10 - Espectro composicional do fosfato associado às ligas de Au-PGE (possível Waylandita). 62
- Figura 5.11 - (A) Fotomicrografia (luz refletida, nicóis paralelos) de cristais de Au associados a ligas ricas em Pt e Pd. (B) Fotomicrografia (luz polarizada, nicóis cruzados) mostrando associação caulinita (cal) e matéria carbonosa. 63
- Figura 5.12 - Fotomicrografia mostrando a associação do Au com nível rico em matéria carbonosa. (A) Luz refletida, nicóis paralelos. (B) Luz polarizada, nicóis cruzados. 64
- Figura 5.13 - Imagens de MEV de grãos de Au e principais minerais associados ao Au-PGE na Zona do Carbono. (Colossus 2009<sup>2</sup>). (A) Au com selenetos de cobre e prata. (B) Au associado com quartzo e goethita. (C) Au associado com quartzo. (D, E) Au associado com óxido de titânio (rutilo). (F, G) Grãos liberados de ouro. 65
- Figura 5.14 - Principais tipos de alteração da zona da argila. (A) Zona de brecha argílica, rica em caulinita. (B) Zona da argila com caulinita + clorita. (C) Zona da argila rica em caulinita substituindo zona do carbono. (D) Zona da argila rica em óxido de ferro. 67
- Figura 5.15 - Aspectos macroscópicos da zona da argila pobre em óxidos de ferro. (A) Alteração com associação de clorita. (B) Porção mais rica em óxidos de ferro com bandamento composicional preservado. (C, D) Zonas de brecha argílica. (E, F) Zonas de argila ricas em caulinita. 69
- Figura 5.16 - Fotomicrografias da zona da argila pobre em óxidos de ferro (LT, NC). (A) Finos agregados de caulinita com óxidos de ferro (goethita associada). (B) Cristais fibro-radiais de caulinita. (C) Zona de alteração com associação clorita-caulinita. (D) Detalhe em cristal de clorita fibro-radial. (E) Zona de brecha com matriz caulinitica. (F) Zona de brecha com matriz de goethita-caulinita. 70
- Figura 5.17 - Gráfico da distribuição entre numero de grãos, volume e porcentagem em peso. Fonte: Colossus 2009<sup>2</sup>. 71
- Figura 5.18 - Imagens de MEV de grãos de Au e principais minerais associados na Zona da Argila. (Colossus 2009<sup>2</sup>). (A) Au associado com quartzo. (B) Au associado com quartzo+goethita. (C) Cristal liberado de Au. (D) Au associado com quartzo. (E) Au associado com clorita. (F) Associação da liga de Pd, Fe, Cu com Au. 73
- Figura 5.19 - Aspectos macroscópicos zona da argila pobre em óxidos de ferro. (A) Bandamento composicional definido por níveis quartzo-cauliniticos e ricos em óxidos de ferro. (B) Zona de brecha com cristais de hematita, detalhe em (D). (C) Detalhe na textura lepidoblástica. 75
- Figura 5.20 - Fotomicrografias da zona da argila rica em óxidos de ferro. (A) Bandamento composicional entre níveis cauliniticos e ricos em óxidos de ferro, detalhe em (B). (C) Agregados fibro-radiais de goethita em banda ferruginosa. 76
- Figura 5.21 - (A e B) Disseminação de sulfetos associados à zona de sílica. (C) Zona de sílica com fina disseminação de óxi-hidróxidos de ferro. (D) Zona de silicificação veios de quartzo-caulinita associados. (E) Fotomicrografia da textura granoblástica da zona da sílica. (F) Detalhe nos finos cristais de sericita. 77

- Figura 5.22 - Seção geológica vertical, mostrando relação das brechas ricas (Fonte: Colossus 2009<sup>3</sup>). 78
- Figura 5.23 - Relações de enriquecimento e empobrecimento médios para os elementos maiores para a zona do carbono (valores de  $C_{total}$  e  $P_2O_5$  divididos por 10. Variação percentual em relação aos metassiltitos cinza). 80
- Figura 5.24 - Relações de enriquecimento e empobrecimento médios para os elementos maiores para a zona da argila. Valores de  $C_{total}$  e  $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$  e  $MgO$  divididos por 10. Variação percentual em relação aos metassiltitos cinza. 80
- Figura 5.25 - Gráfico da distribuição dos valores de  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$  para os principais tipos de alteração do depósito. ZCE - Zona do carbono estruturada. ZCN - Zona do carbono não estruturada. Harg - argila pobre em  $Fe_2O_3$ . Harg-Fe argila rica em  $Fe_2O_3$  81
- Figura 5.26 - Gráfico da distribuição dos valores de  $SiO_2$  e razão  $Al_2O_3/K_2O$  para os principais tipos de alteração do depósito. ZCE - Zona do carbono estruturada. ZCN - Zona do carbono não estruturada. Harg - argila pobre em  $Fe_2O_3$ . Harg-Fe argila rica em  $Fe_2O_3$ . 82
- Figura 5.27 - Relações de enriquecimento e empobrecimento para os elementos menores e traços para a zona do carbono. 84
- Figura 5.28 - Relações de enriquecimento e empobrecimento para os elementos menores e traços para a zona da argila. 84
- Figura 5.29 - Relações de enriquecimento e empobrecimento para os elementos menores e traços para a zona da sílica. 85
- Figura 5.30 - Correlações de Au+Pt+Pd elementos maiores selecionados. 90
- Figura 5.31 - Correlações de Au+Pt+Pd elementos menores selecionados. 91
- Figura 5.32 - Relação dos teores de Au e Pt+Pd para os principais tipos de alteração hidrotermal no depósito. Dados de Au, Pt e Pd relativos ao banco de dados de sondagem incluindo furos históricos e recentes. 93
- Figura 5.33 - Relação dos teores Pt e Pd para os principais tipos de alteração hidrotermal no depósito. Retas pretas simbolizam a reta de melhor ajuste. Dados de Au, Pt e Pd relativos ao banco de dados de sondagem incluindo furos históricos e recentes. 93
- Figura 5.34 - Distribuição dos valores médios de ETR (normalizados - PAAS – Taylor & McLennan, 1989) para o metassilito cinza e os principais tipos de alteração do depósito. 95
- Figura 6.1 - Seção Longitudinal (Visada NNW). (A) Subdivisão do depósito de Au-PGE de Serra Pelada. S: superior; I: intermediária; P: principal. 98
- Figura 6.2 - Distribuição dos teores de Au (>10ppm) em relação às zonas do depósito. 99
- Figura 6.3 - Distribuição tridimensional das zonas de alteração hidrotermal no depósito de Au-PGE de Serra Pelada (Visada para NNW). Carbono (vermelho), Argila (amarelo) e Sílica (Azul). 100

Figura 6.4 - Seção geológica vertical ao longo da zona principal (influência 25m). Distribuição dos teores de Au (>10ppm - vermelho) e relação com a lente de metarenito intraformacional (amarelo), geometria do sinclinal e principais zonas alteração hidrotermal. 101

Figura 6.5 - Seção Horizontal no depósito de Serra Pelada (cota 100), mostrando a distribuição dos teores de Au (10ppm) geometria do sinclinal (linha vermelha), metarenito intraformacional (linha azul) e falhas associadas(linha preta). 101

Figura 7.1 - Diagrama concordia mostrando dados de U/Pb (SHRIMP) para zircões do Diorito. 103

Figura 7.2 - Diagrama cumulativo de idades ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) de 27 zircões detríticos, mostrando os grupos principais de fontes sedimentares. 104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Localização da amostras coletadas e profundidade (parte 1)	05
Tabela 1.1 - Localização da amostras coletadas e profundidade (parte 2)	06
Tabela 2.1 - Coluna estratigráfica e dados geocronológicos sumarizados da Província Mineral de Carajás (Fonte: Tallarico et al. 2004)	14
Tabela 5.1 - Composição das Ligas de Au-PGE (microsonda eletrônica)	62
Tabela 5.2 - Composição das Ligas de Au-PGE (microsonda eletrônica - Colossus 2009 <sup>2</sup> )	72
Tabela 5.3 - Distribuição granulométrica dos grãos de ouro para Zona da Argila (Colossus 2009 <sup>2</sup> )	72
Tabela 5.4 - Valores médios dos elementos maiores para os principais tipos de alteração do depósito	82
Tabela 5.5 - Valores dos elementos maiores para os principais tipos de alteração do depósito	83
Tabela 5.6 - Valores médios dos elementos menores e traços para os principais tipos de alteração do depósito	86
Tabela 5.7 - Valores dos elementos menores e traços para os metassiltitos não alterados e zona do carbono (parte 1)	87
Tabela 5.7 - Valores dos elementos menores e traços para as zonas da argila e sílica (parte 2)	88
Tabela 7.1 - Dados composicionais U e Th e idades obtidas pelo método U-Pb SHRIMP para zircões magmáticos (n=7) dos dioritos intrusivos na Unidade 1.	102
Tabela 7.2 - Dados composicionais U e Th e idades obtidas pelo método U-Pb SHRIMP para zircões detriticos (n=27) dos conglomerados basais da Unidade 1.	104

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio, sempre incondicional.

Ao geólogo Cristiano Borghetti, pela indicação no projeto, a partir daí que este trabalho começou.

À Colossus Minerals Inc., em especial aos geólogos Vic Wall, Augusto Kishida e Christian Grainger, pelas ininterruptas discussões geológicas, financiamento e autorização para publicação dos dados.

Aos meus orientadores Carlos Alberto Rosière e Lydia Maria Lobato, que ao longo dos anos e mesmo a distância sempre estiveram presentes.

Ao Dr. João Orestes Schneider Santos da University of Western Australia pela colaboração e execução das análises geocronológicas.

Ao Dr. Luis R. A. Garcia, pela ajuda nas análises de microsonda eletrônica no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálises (LMA) da UFMG.

Ao geólogo Marcelo Aguiar Freitas, parceiro de trabalho, pelas inúmeras discussões e força durante os momentos complicados do trabalho.

Ao geólogo Roberto Moreno Prado Pereira, parceiro durante toda a vida acadêmica, pelas inúmeras discussões e diversões compartilhadas na “sala do inferno”.

A geóloga Camila da Mota Carvalho, pelo apoio e companheirismo durante esta etapa da minha vida.

A todos os amigos, da UFMG e da vida que sempre estão presentes para nos desvirtuar quando você já está pensando demais.

Ao Geoteco, pelas inúmeras cervejas e momentos de descontração nos poucos momentos de folga. Não deixem acabar!!

A todos os colegas do Pará, a vida longe do “sul maravilha” se torna mais fácil com vocês!!

*“De que o mel é doce é algo de que me nego a afirmar, mas que parece doce isso eu afirmo plenamente”*

*Faça, fuce, force: Raul Seixas*

*Este trabalho é dedicado a toda Comunidade Garimpeira de Serra Pelada*



Garimpo de Serra Pelada em meados dos anos 80. Fonte: Sebastião Salgado.

# MANIFESTO

Durante toda minha vida admito sempre ter sido um alienado político por opção. Mas após dois anos trabalhando e convivendo na comunidade de Serra Pelada não posso passar por aqui e deixar de registrar minha opinião. A história que irei contar pode ter várias versões, ouvi o lado dos garimpeiros. Não irei entrar em detalhes aqui sobre a descoberta do garimpo, uma vez instalado, o sistema funcionava da seguinte maneira:

Os primeiros que chegaram delimitaram os chamados “barrancos”, uma área demarcada onde você poderia explorar verticalmente. Isso funcionava como um comércio, pessoas compravam e vendiam barrancos ao preço que se pagasse. A maioria dos 70.000 garimpeiros que trabalhavam no garimpo eram carregadores de sacos, os chamados “formigas”, que recebiam pelo trabalho realizado de acordo com o combinado com o dono do “barranco”.

A criação de uma cooperativa, que teoricamente deveria defender o direito dos garimpeiros, na verdade nada mais foi que uma manobra política para a criação de uma grande classe social, formada por mais de 40.000 famílias que passaram a ter os sonhos alimentados por políticos que em nada mais pensam do que nos seus bois que estão no pasto. Quantos votos baratos são gerados pela manipulação destas humildes famílias? É em cima destes votos que tudo gira. Pequenos grupos de garimpeiros vivem se matando pelo poder da cooperativa em busca de alguma ascensão social e política.

Hoje todas as pessoas que passaram pelo garimpo de Serra Pelada possuem carteira de garimpeiro, desde o ex-pipoqueiro até o ex-dono de barranco. Como o próprio garimpeiro me perguntou: “Você trabalha na Colossus, quando abrirem a mina, você vai ganhar porcentagem do ouro produzido?” Simplesmente respondi que ganhava meu salário e entendi a mensagem que ele me passara.

Segundo relatos de alguns garimpeiros, menos de 1% do total de pessoas que trabalhavam no garimpo realmente eram proprietários de barrancos. Estas foram as pessoas que investiram tudo que tinham na esperança da riqueza fácil. Esta situação seria bem mais fácil de ser resolvida com menos associados, mas poucos votos não elegem ninguém...

Infelizmente quem paga o preço são as humildes famílias dos garimpeiros de Serra Pelada, que a mais de 20 anos vivem na miséria e sonham em cima de números informados para realização de campanhas políticas ou privatizações de companhias estatais.

Hoje, a situação parece estar se resolvendo e o projeto de Serra Pelada está avançando. Não por uma questão de viabilidade geológica ou econômica, mas sim porque existe o interesse políticos dessas pessoas que se dizem “líderes” ou representantes do povo. Não vamos esquecer que a maioria dos garimpeiros tem sua origem no Maranhão e as eleições para governador e afins estão aí....

O que sei é que já foi investido boa quantidade de dinheiro e, como sempre, nenhuma mudança ocorreu na qualidade de vida dos garimpeiros. Resta-nos apenas torcer para que toda essa riqueza não apenas vá encher os bolsos e castelos de “doutores” e políticos do Brasil.

## RESUMO

O depósito de Au-PGE de Serra Pelada está localizado na porção nordeste da província mineral de Carajás, sudoeste do craton Amazônico. A mineralização é hospedada por uma sequência metassedimentar arqueana, discordante e tectonicamente sobreposta pelas rochas metavulcanossedimentares do grupo Rio Novo. A sequência pode ser subdividida em três unidades informais: (i) A unidade 1 é formada por metarenitos (dolomíticos ou não), metaconglomerados mono e polimíticos e metassiltitos subordinados. (ii) A Unidade 2 é constituída essencialmente por metassiltitos vermelhos (*red beds*) e carbonosos, sendo a unidade, hospedeira das principais mineralizações de Au-PGE do depósito. (iii) A unidade 3 é composta por metarenitos e metaconglomerados em contato brusco com os metassiltitos subjacentes. Toda a sequência é intrudida pelo granito Cigano, além de corpos de diorito e gabro. A mineralização de Au-PGE está associada à metassiltitos hidrotermalmente alterados no contato entre as unidades 1 e 2, com controle estrutural relacionado à charneira de um sinclinal invertido, de orientação E-W e eixo com caimento suave para SSW. Falhas de orientação ENE-WSW e NE-SW também controlam a distribuição dos teores de Au-PGE como prováveis condutos dos fluidos mineralizantes. Uma lente de metarenito intraformacional aos metassiltitos também exerce importante controle na mineralização, sendo as zonas de alto teor relacionadas a porções ricas em carbono localizadas entre a primeira e a porção externa da charneira do sinclinal. As principais zonas mineralizadas estão relacionadas a metassiltitos enriquecidos em carbono ( $>10\%C_{total}$ ), com zonas de alto teor apresentando textura isotrópica e aumento de alumínio (caulinita). Zonas ricas em argila ocorrem principalmente na porção externa da charneira do sinclinal, podendo ser subdivididas baseada nas concentrações de  $Fe_2O_3$  ( $>40\%$  ou  $<20\%$ ). A zona de argila pobre em óxidos de ferro constitui importante porção mineralizada do depósito enquanto a porção rica em  $Fe_2O_3$  raramente está mineralizada. Uma zona silicificada com quartzo fino a microcristalino envolve a porção externa da charneira, substituindo principalmente os metarenitos dolomíticos. O processo de alteração hidrotermal está relacionado à dessilicificação dos metassiltitos e alteração argílica associada. Os metassiltitos enriquecidos em carbono possivelmente atuaram como uma barreira geoquímica, permitindo a precipitação dos metais com a diminuição das condições oxidantes do fluido.

## ABSTRACT

The Serra Pelada Au-PGE deposit is located within the Carajás Mineral Province, important mining site on southeastern Amazon Craton. The geological settings consist in a basement assemblage with metavolcano-sedimentary rocks of the Rio Novo group and undivided sericite-quartz schists, uncomfortably overlaid by a metasedimentary sequence subdivided in three units: (1) Basal unit of the metasedimentary sequence, including metasandstones (locally dolomitic), polymictic and monomictic metaconglomerates and minor metasiltstones. (2) A metasiltstone predominant sequence in gradational contact with the lower unit, comprising mainly red metasiltstones with 15 to 20 meter thick beds of carbonaceous metasiltstones, usually sited on the basal part of this unit. (3) Upper unit of the metasedimentary sequence comprising mainly metasandstones with polymictic 10-30 cm thick metaconglomerate layers. Both basement and metasedimentary sequences are intruded by the Cigano granit, dioritic and gabbro intrusions. The Au-PGE mineralization is hosted by hydrothermally altered red and carbonaceous metasiltstones (unit 2) in the lower contact with dolomitic metasandstones. The deposit is structurally controlled by the hinge zone of a shallow dipping overturned syncline, plunging gently (15-20°) to SSW. An intraformacional dolomitic metasandstone layer is interbedded within the metasiltstones on the central part of the hinge, and is also an important lithological control. NNE and NW faults seem to be the main fluid conduct trapped by the Serra Pelada syncline structure. The orebodies are subvertical, mainly controlled by the intersection of these faults zones with the metasiltstones between the intraformacional metasandstone and external dolomitic metasandstones. The main ore zones are hosted by an isotropic carbon rich rock located on the central hinge of the syncline, associated with silica loss and aluminum increase. Argillic zones occur on the outer hinge, been subdivided based on their geochemical composition ( $F_2O_3 >40\%$  or  $<20\%$ ). The Fe rich argillic alteration is locally mineralized and rarely with high Au-PGE grades while the Fe poor argillic alteration forms an important mineralized portion of the deposit. A fine grained to microcrystalline silica envelop involves the fold hinge, replacing mainly the dolomitic metasandstones. The main hydrothermal process is related to the desilicification of the metasiltstones and argillic alteration increase. The carbon rich metasiltstone possibly acted as a chemical barrier, reducing the oxidation conditions of the fluid.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

Localizado na porção nordeste da Província Mineral de Carajás, o depósito de Serra Pelada foi descoberto no fim da década de 1970, sendo palco de uma das maiores manifestações humanas da "corrida pelo ouro" na América Latina. Aproximadamente 70.000 pessoas (Fig. 1.1) trabalhavam no garimpo no auge de suas atividades, entre 1980 a 1986, quando pela paralisação do bombeamento hidráulico o nível freático retomou cotas superiores ao corpo mineralizado (Fig. 1.2). Ao todo, estima-se que foram retirados manualmente cerca de 33 t de ouro (Meireles & Silva 1988).

O depósito de Serra Pelada destaca-se pela alta concentração de ouro, platina e paládio registrada em sub-superfície (SP - 32, 54.5 - 55.0 m @132.000 g/t Au, 11.400 g/t Pd, 359 g/t Pt Cabral *et al.* 2002) e (FD - 0072, 256.85 - 258,72m @1529,37 g/t Au, 313.84g/t Pd e 200,86g/t Pt Colossus 2008).

O direito de pesquisa da área do garimpo foi propriedade da antiga Companhia Vale do Rio Doce até meados de 2007, quando, por decreto federal, foi passado à Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros de Serra Pelada (COOMIGASP). Em outubro de 2007, a empresa canadense Colossus Minerals Inc. firmou uma parceria com a cooperativa retomando os trabalhos de pesquisa que se estendem até a presente data.

Este trabalho realizou uma caracterização dos principais tipos de alteração hidrotermal ocorrentes no depósito, baseada na descrição e coleta de amostras de testemunhos históricos<sub>(1980-1990)</sub> e recentes<sub>(2007-2009)</sub>, além do mapeamento semi-regional das rochas metassedimentares na região de Serra Pelada.

A presente dissertação de mestrado foi realizada com financiamento e apoio logístico da empresa Colossus Minerals Inc.



Figura 1.1 - Vista do Garimpo de Serra Pelada no auge de suas atividades em 1983 (Foto: Arthur Bernardelli).



Figura 1.2 - Vista aérea da região de Serra Pelada em 1995.

## 1.1 - Objetivos

Os principais objetivos deste trabalho são:

a) Caracterização dos principais tipos de alteração hidrotermal ocorrentes no depósito de Serra Pelada e sua relação com a mineralização de Au-PGE.

b) Descrição do controle estrutural do depósito de Serra Pelada.

c) Descrição do arcabouço estrutural regional.

d) Individualização das principais unidades estratigráficas das rochas metassedimentares na região de Serra Pelada.

## 1.2 - Localização e vias de acesso

A região de Serra Pelada está situada no sudeste do estado do Pará, à cerca de 550 km ao sul da capital Belém, no município de Curionópolis (Fig. 1.3). O principal acesso rodoviário à área é feito partindo-se da cidade de Marabá pela rodovia PA-150, na direção sul por cerca de 100 km, até a cidade de Eldorado dos Carajás. A partir daí, toma-se a rodovia PA-275 por mais 16 km até o trevo para Serra Pelada, localidade conhecida como “dezesseis”, de onde se toma uma estrada vicinal, não pavimentada, por 35 km até o distrito de Serra Pelada. As outras estradas de acesso à área (via Parauapebas) são não pavimentadas, e ocasionalmente interditadas no período das chuvas (Fig. 1.4 e 1.5).

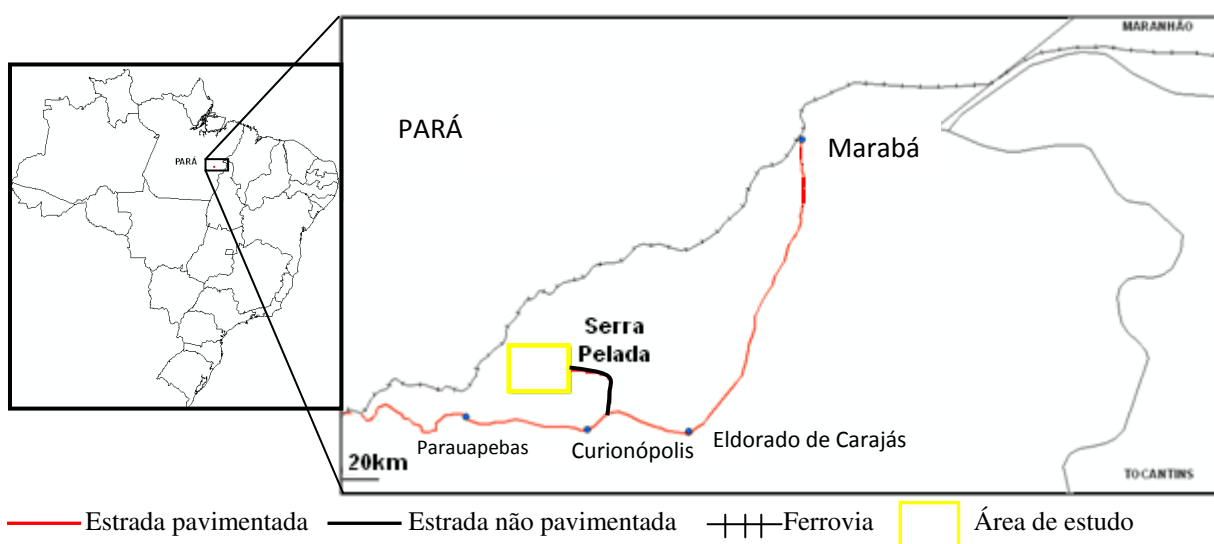


Figura 1.3 - Localização da área de estudo no Brasil.

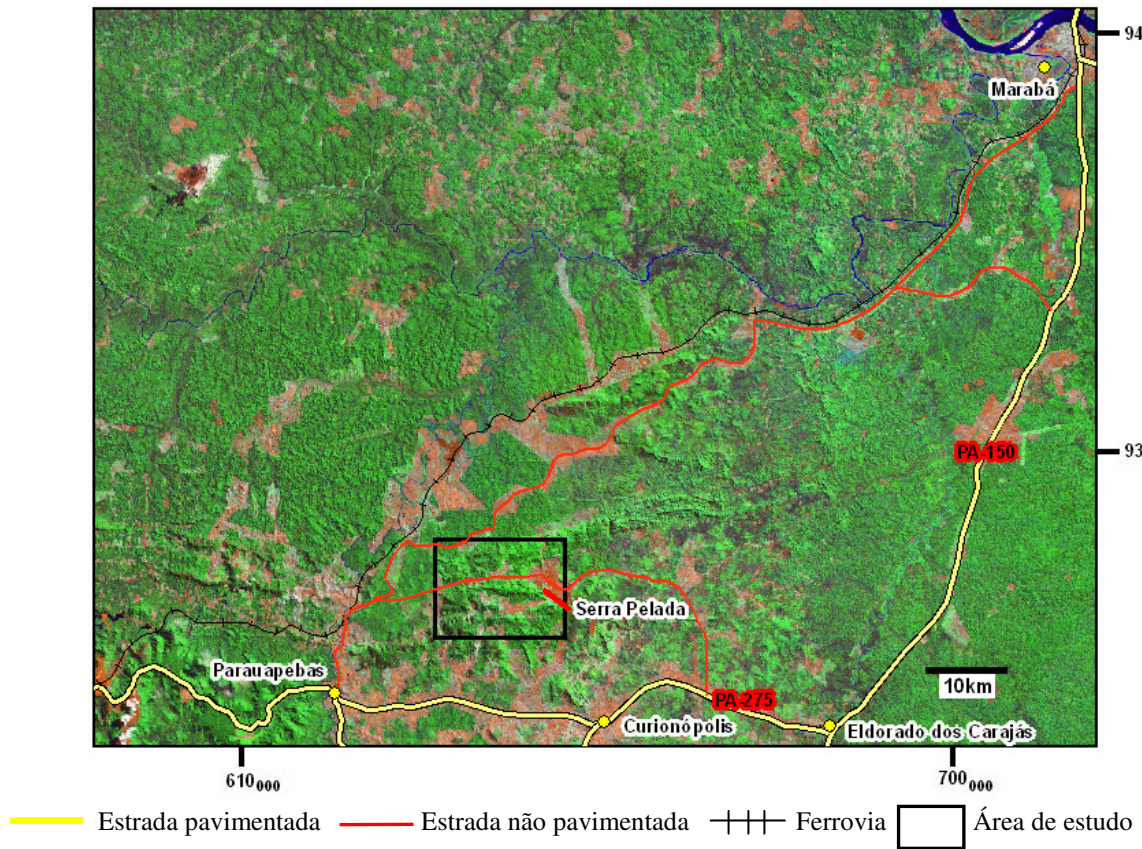


Figura 1.4 - Localização regional da área de estudo. Imagem Landsat.

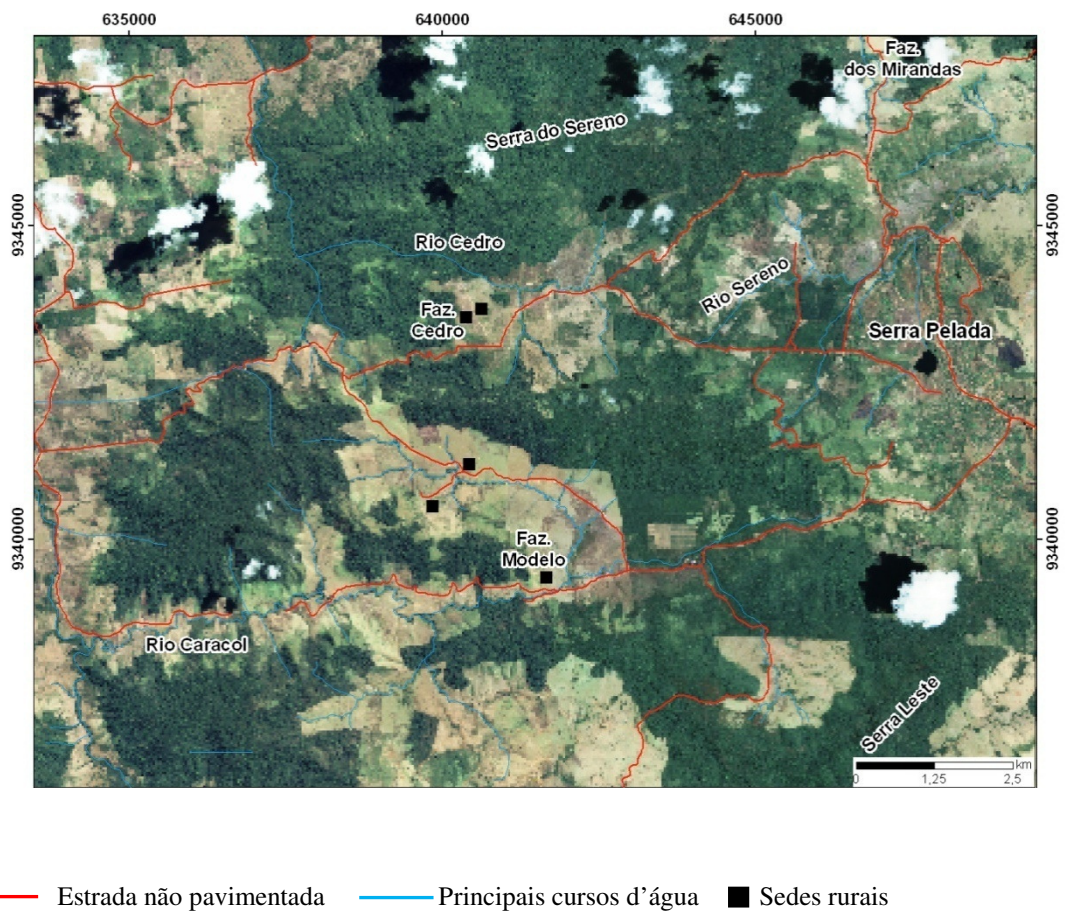


Figura 1.5 - Detalhe na área de estudo (Imagem IKONOS 2007).

### 1.3 - Métodos de Trabalho

#### 1.3.1 - Amostragem

A amostragem foi realizada visando a coleta de amostras dos principais tipos de alteração hidrotermal proximais e distais, além de rochas com nenhuma ou alteração hidrotermal mínima. Estas foram utilizadas para a confecção das seções delgado-polidas e análises químicas.

Foi coletado um total de 39 amostras em diversos testemunhos de furos de sonda históricos e recentes (vide Tab 1.1) distribuídos ao longo da principal zona mineralizada do depósito.

Tabela 1.1 - Localização e profundidade das amostras coletadas (parte 1)

Amostra	Furo	Prof.	Alteração
1	SPD002	219,40	Zona do carbono estruturada
2	SPD007	249,80	Zona do carbono estruturada
3	SPD001	264,90	Zona do carbono estruturada
4	SPD018	207,90	Zona do carbono estruturada
5	SPD002	228,50	Zona do carbono não estruturada
6	FD-0180	189,60	Zona do carbono não estruturada
7	SPD018	226,80	Zona do carbono não estruturada
8	SPD001	229,00	Zona do carbono estruturada
9	SPD018	227,50	Zona da argila pobre em óxidos de ferro
10	SPD001	233,70	Zona da argila pobre em óxidos de ferro
11	SPD014	288,50	Zona da argila pobre em óxidos de ferro
12	SPD001	260,90	Zona da argila pobre em óxidos de ferro
13	SPD010	268,40	Zona da argila pobre em óxidos de ferro
14	SPD003	259,70	Zona da argila pobre em óxidos de ferro
15	SPD018	271,75	Zona da argila rica em óxidos de ferro
16	SPD010	273,50	Zona da argila rica em óxidos de ferro
17	SPD007	250,00	Zona da argila rica em óxidos de ferro
18	SPD003	270,80	Zona da argila pobre em óxidos de ferro
19	SPD004	263,20	Zona da argila pobre em óxidos de ferro

Tabela 1.1 - Localização e profundidade das amostras coletadas (parte 2)

<b>Amostra</b>	<b>Furo</b>	<b>Prof.</b>	<b>Alteração</b>
20	SPD013	242,20	Zona da sílica
21	SPD018	213,50	Zona da sílica
22	SPD001	257,10	Zona da sílica
23	SPD017	138,00	Brecha rica em óxidos de ferro
24	SPD018	241,70	Zona do carbono estruturada
25	FD-0145	190,00	Zona de substituição por clorita
26	FD-0145	223,00	Zona de substituição por clorita
29	FD-0148	175,00	Zona de substituição por clorita
31	FD-0006A	145,00	Zona de substituição por clorita
32	FD-0133	63,90	Zona da sílica
38	Campo*	-	Metassilito cinza menos alterado (campo)
39	Campo*	-	Metassilito cinza menos alterado (campo)
44	FD-139	116,5	Diorito
45	FD-0144	168,00	Metaconglomerado
46	SPD-018	259,50	Zona do carbono não estruturada
47	SPD-007	161,60	Zona da sílica
48	SPD-013	255,60	Zona do carbono não estruturada
49	SPD-010	193,50	Zona do carbono não estruturada
50	SPD-016	268,30	Zona do carbono não estruturada
51	SPD-008	166,90	Zona da sílica

\* Metassilito cinza não alterado coletado em campo nas proximidades do garimpo de Serra Pelada.

### 1.3.2 - Caracterização petrográfica e textural

A análise petrográfica foi realizada através da descrição de seções delgado-polidas utilizando-se microscópio óptico à luz refletida (LR) e transmitida (LT). Todas as seções delgado-polidas foram preparadas no laboratório de laminação do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa - UFMG.

### 1.3.3 - Espectroscopia de refletância

Análises de espectroscopia de refletância foram realizadas nos principais litotipos e zonas de alteração hidrotermal do depósito. A espectroscopia de refletância envolve a iluminação de um alvo material, onde se registra a luz refletida. Dependendo da natureza e composição do material, a luz será refletida em determinados comprimentos de onda e

absorvida em outros. O espectro resultante é característico e utilizado na distinção dos diferentes minerais (Colossus Minerals 2009<sup>1</sup>).

As medidas foram feitas com o espectrômetro Terraspec VNIR/SWIR, com pistola de raios-X conectada à base receptora por cabo de fibra óptica, sendo os dados descarregados em um laptop conectado a unidade central.

Este trabalho foi realizado em parceria com a empresa Anglo-Gold Ashanti.

#### *1.3.4 - Geoquímica multielementar*

Todas as análises químicas foram realizadas pelo laboratório *Acme Analytical Laboratories LTD.*, que possui a unidade de preparação em Goiânia-GO, sendo as análises realizadas Vancouver-BC, Canadá.

Os elementos maiores, menores e terras raras foram determinados pelo método ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometer*), seguindo uma fusão de tetraborato/metaborato de lítio e digestão nítrica diluída.

Os resultados de S e C totais foram detectados por radiação infravermelha no analisador por combustão LECO. A perda ao fogo (LOI) foi determinada por diferença de peso depois da ignição da amostra a 1000°C. Os metais base e preciosos foram digeridos em água régia e analisados por ICP-MS.

#### *1.3.5 - Microsonda eletrônica*

Por meio de análises de microsonda eletrônica foram determinados os elementos maiores e menores de certos minerais, permitindo identificar a fase mineral existente. As análises foram realizadas no laboratório de micro análises do Instituto de Ciência Exatas (ICEX), na UFMG, utilizando-se a microsonda eletrônica JEOL modelo JCXA-8900R, com detector de energia dispersiva NORAN. Foram realizadas análises de composição relativa (EDS) e análises quantitativas (WDS). As condições instrumentais operaram em uma tensão de aceleração de 20KV e corrente de feixe de 25 nA.

### 1.3.6 - Datações

Datações U-Pb foram realizadas em zircões de uma intrusão diorítica, ocorrente nos arredores do depósito e em uma amostra dos conglomerados da unidade basal da sequência metassedimentar da região de Serra Pelada. As análises isotópicas U-Pb nos zircões foram realizadas pelo método SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion Microprobe*) na Universidade de Western Australia pelo Dr. João Orestes Schneider Santos.

Para o diorito, cerca de 60 kg de rocha foram coletados para a concentração dos zircões, que realizada pelo laboratório de preparação de amostras para geoquímica e geocronologia (LOPAG) da Universidade Federal de Ouro Preto. A amostra do conglomerado foi preparada e analisada na Universidade de Western Australia.

A composição isotópica dos zircões foi determinada pelo equipamento SHRIMP II (De Laeter & Kennedy 1998) através dos procedimentos analíticos descritos em Compston *et al.* (1992). O raio iônico primário incidente sobre a amostra foi de ~4 nA e 10 kV O<sub>2</sub><sup>2-</sup>, com um diâmetro de ~25 µm. As correções para o Pb comum foram feitas usando a medida de <sup>204</sup>Pb e a composição isotópica do Pb da galena de Broken Hill. O padrão usado para a calibração do efeito matriz (relação Pb/U) foi o BR266 (559 Ma e 903 ppm U). Foram empregados cinco *scans* para análises individuais e os dados foram processados em diagramas de concórdia usando os softwares SQUID e ISOPLOT/Ex (Ludwig 1999). As elipses de erro são mostradas a 95% de confiança e estão calculados a 2 sigma. Todas as idades são avaliadas pela média das idades <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb.

## 2.0 - GEOLOGIA REGIONAL

### 2.1 - Contexto Geotectônico

O Cráton Amazônico é uma das maiores áreas cratônicas do mundo, abrangendo uma superfície de aproximadamente  $4,3 \times 10^5 \text{ km}^2$ . Pode ser dividido em seis províncias geocronológicas: Amazônia Central, Maroni-Itacaiúnas, Ventuari-Tapajós, Rio Negro-Juruema, Rondoniana-San Ignacio e Sunsás (Fig. 2.1). O Bloco da Amazônia Central pode ainda ser dividido nos blocos Carajás e Xingu-Iricoumé (Tassinari & Macambira 2004).

A Província Mineral de Carajás (PMC) localiza-se na região norte do Bloco Carajás, sendo subdividida em três domínios: a norte, o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas; no centro, o terreno granito-*greenstone* Rio Maria; e, a sul, o terreno granito-*greenstone* Inajá (Tassinari & Macambira 2004).

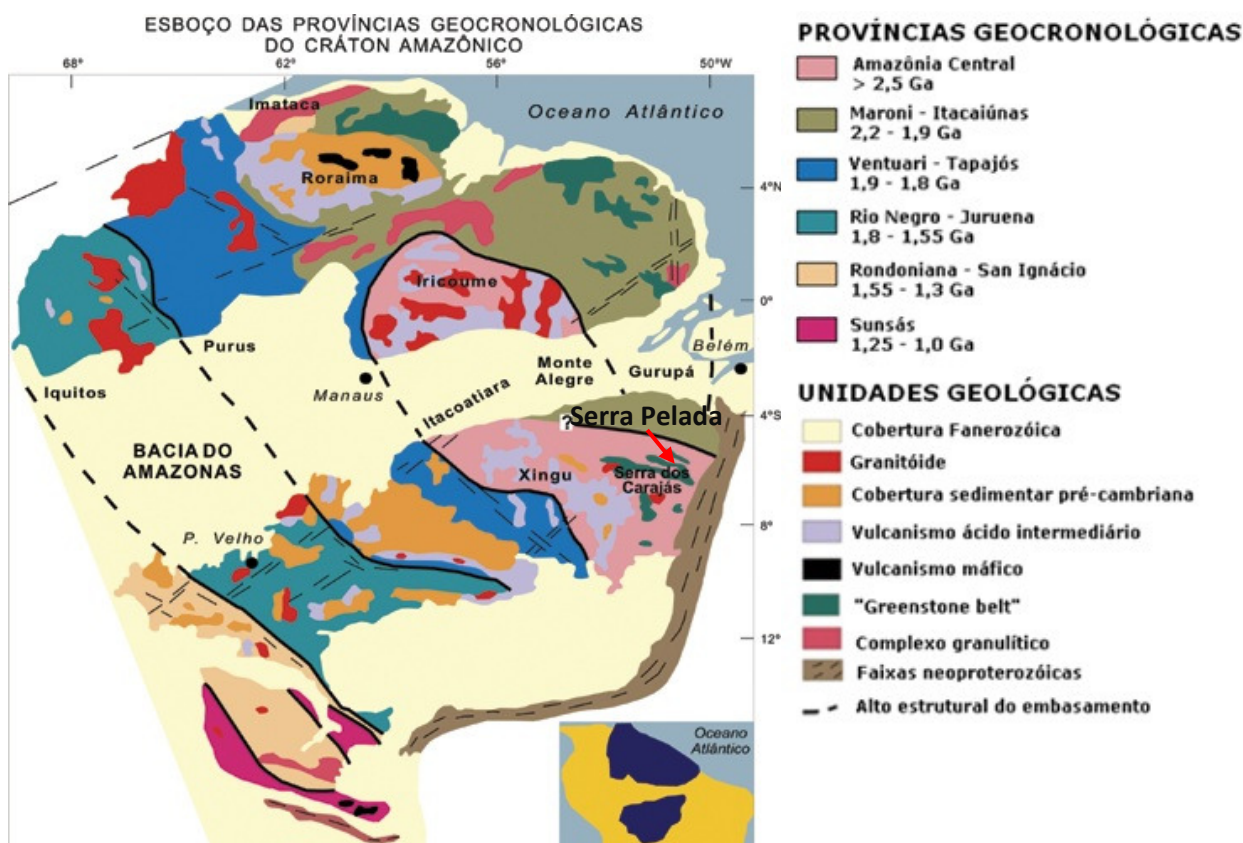


Figura 2.1 - Distribuição das províncias geocronológicas da Amazônia Central (Fonte: Tassinari & Macambira 1999).

O depósito de Serra Pelada situa-se na porção nordeste da Província Mineral de Carajás, no denominado Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (Fig. 2.2), limitado a norte pela faixa móvel transamazônica Maroni-Itacaiúnas (Cordani *et al.* 1979), a sul pelo domínio Rio Maria, a leste pela faixa móvel neoproterozóica Araguaia (Brito-Neves & Cordani 1991) e a oeste por seqüências proterozóicas (Araújo & Maia 1991; Tassinari & Macambira 1999).

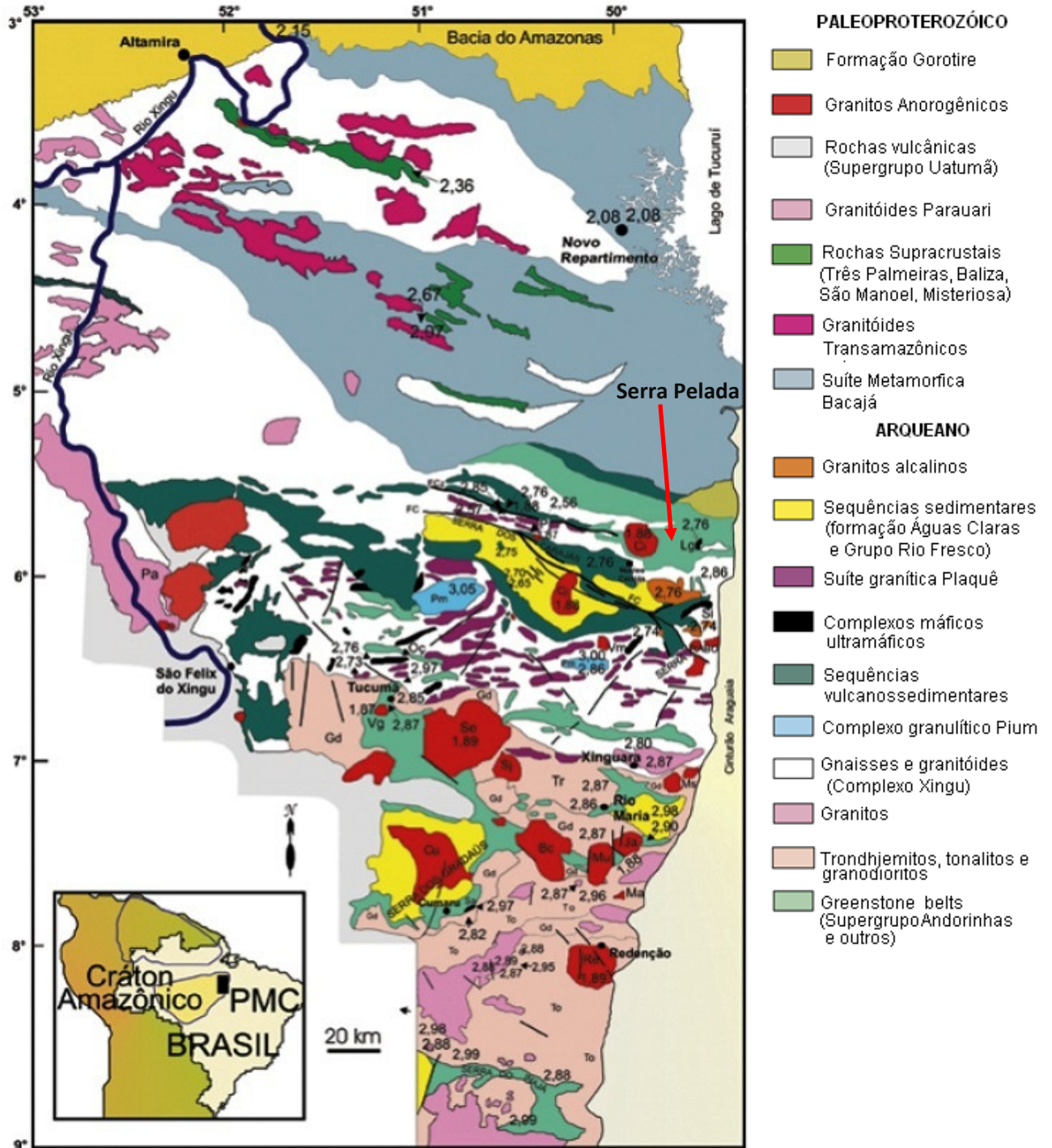


Figura 2.2 - Mapa Geológico da porção sudeste do Craton Amazônico (Fonte: Tassinari & Macambira 2004).

## 2.2 - Contexto Geológico do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas

O Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas é caracterizado por rochas vulcânicas e sedimentares sobre um embasamento de crosta continental. Este capítulo descreve o contexto geológico regional deste domínio, englobando o depósito de Serra Pelada num contexto regional.

Os principais trabalhos sobre o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas foram realizados anteriormente por: Beisiegel *et al.* (1973), Cordani *et al.* (1979), Almeida *et al.* (1981), Gibbs *et al.* (1986), Araújo *et al.* (1988), Brito Neves & Cordani (1991), Machado *et al.* (1991), Barros & Barbey (2000), Barros *et al.* (1997), Pinheiro & Holdsworth (2000), Dall'Agnol *et al.* (1998), Trendall *et al.* (1998), Pidgeon *et al.* (2000), Tallarico *et al.* (2004), Villas & Santos (2001) e Rosière *et al.* (2005), entre outros.

Trabalhos mais recentes sobre o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas tendem a dividir este terreno em duas grandes unidades, baseados no grau de metamorfismo (Pinheiro & Holdsworth 2000):

1. Conjunto metamórfico de alto grau, que compreende os complexos Xingu e Pium.
2. Supergrupo Itacaiúnas, constituído por um conjunto de rochas de baixo grau metamórfico, compreendendo os grupos Igarapé Bahia, Igarapé Pojuca, Igarapé Salobo, Grão-Pará, Rio Novo (Fig. 2.3).

A tabela 2.1 sumariza os principais dados geocronológicos da Província Mineral de Carajás.

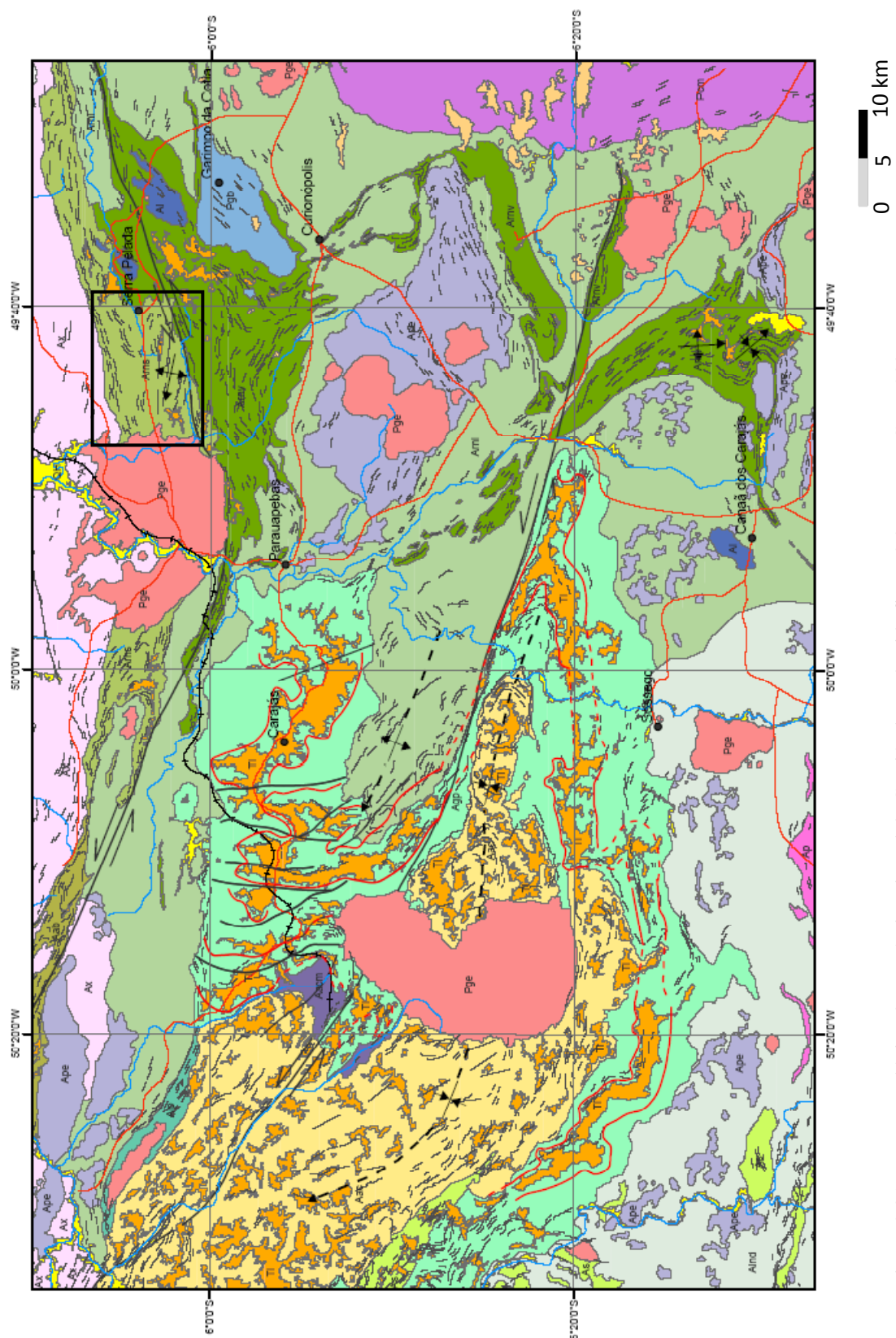


Figura 2.3A - Mapa geológico da Província Mineral de Carajás, legenda vide figura 2.3B. Fonte: Costa 2007. Retângulo preto na área em estudo.

## UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS



Figura 2.3 - (B) – Legenda referente à figura 2.3A. Algumas unidades listadas na estratigrafia regional estão indivisas no mapa geológico. (Fonte: Costa 2007).

Tabela 2.1 - Coluna estratigráfica e dados geocronológicos sumarizados da Província Mineral de Carajás (Fonte: Tallarico *et al.* 2004; 1 Wirth *et al.* (1986); 2 Machado *et al.* (1991); 3 Gonzalez *et al.* (1988); 4 Souza *et al.* (1996); 5 Barros *et al.* (1992); 6 comunicação verbal citada em Villas & Santos (2001); 7 Avelar *et al.* (1999); 8 Huhn *et al.* (1999b); 9 Dias *et al.* (1996); 10 Trendall *et al.* (1998); 11 Ferreira Filho (1985); 12 Mellito & Tassinari (1998); 13 Macambira & Lancelot (1996); 14 Pimentel & Machado (1994); 15 Rodrigues *et al.* (1992); 16 Pidgeon *et al.* (2000); 17 Barros *et al.* (2001))

Eras	Complexes or supergroups	Groups or formations	Intrusive rocks	Age (Ma)	Methods, material (reference)			
Proterozoic			Central Carajás Granite	1,820 ± 49	U-Pb, zircon (1)			
					1,880 ± 2	U-Pb, zircon (2)		
			Cigano granite	1,883 ± 3	U-Pb, zircon (2)			
					1,731 ± 28	Rb-Sr, whole rock (3)		
			Pojuca granite	1,874 ± 2	U-Pb, zircon (2)			
			Santa Ines gabbro (?)	-	-			
			Archean			Old Salobo granite	2,573 ± 2	U-Pb, zircon (2)
						Itacaiúnas granite	2,560 ± 37	Pb-Pb, zircon (4)
						Águas Claras gabbroic sill	2,645 ± 12	Pb-Pb, zircon (9)
							2,681 ± 5	U-Pb SHRIMP, detrital zircon (10)
Estrela granite	2,527 ± 34	Rb-Sr, whole rock (5)						
	2,763 ± 7	Pb-Pb, zircon (17)						
Plaquê granitoid suite	2,736 ± 24	Pb-Pb, zircon (7)						
Planalto granite	2,747 ± 2	Pb-Pb, zircon (8)						
Cristalino diorite	2,738 ± 6	Pb-Pb, zircon (8)						
		-				-		
Itacaiúnas Supergroup	Buritirama Group Igarapé Pojuca Group Igarapé Bahia Group Grão Pará Group Igarapé Salobo Group			2,732 ± 3	U-Pb, zircon (2)			
				2,577 ± 72	Rb-Sr, whole rock (11)			
				2,747 ± 2	Pb-Pb, zircon (6)			
				2,759 ± 2	U-Pb, zircon (2)			
				2,758 ± 39	U-Pb, zircon (1)			
				2,760 ± 11	U-Pb SHRIMP, zircon (10)			
				2,761 ± 3	U-Pb, zircon (2)			
				2,776 ± 240	Pb-Pb, magnetite (12)			
			Luanga mafic-ultramafic intrusion	2,763 ± 6	U-Pb, zircon (2)			
					-	-		
Xingu Complex	Rio Novo Group (?)			2,859 ± 2	U-Pb, zircon (2)			
				2,974 ± 15	Pb-Pb, zircon (7)			
				2,971 ± 30	U-Pb, zircon (13)			
				2,798	Pb-Pb, titanite (14)			
				3,050 ± 57	Pb-Pb, whole rock (15)			
Pium Complex				2,859 ± 9	U-Pb SHRIMP, zircon rim (16)			
				3,002 ± 14	U-Pb SHRIMP, zircon core (16)			

## 2.2.1 - Estratigrafia do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas

### 2.2.1.1 - Complexos Xingu e Pium

Os complexos Pium e Xingu formam o embasamento do Supergrupo Itacaiúnas.

O complexo Pium é composto por granulitos máficos e félsicos (charnockitos, enderbites e charno-enderbites). Datações U-Pb em granulitos félsicos apontam uma idade de 3.0 Ga para essas rochas (Pidgeon *et al.* 2000).

O complexo Xingu é constituído de gnaisses e migmatitos bandados de composição tonalítica a granodiorítica, cujo grau metamórfico varia da fácies anfíbolito à granulito

(Machado *et al.* 1991). Macambira & Lancelot (1991) apresentam a idade de 2,97 Ga para as rochas do complexo Xingu. As rochas dos complexos Pium e Xingu apresentam foliação E-W pervasiva e sua migmatização é interpretada como tendo ocorrido em 2,86 Ga (Machado *et al.* 1991; Pidgeon *et al.* 2000).

#### 2.2.1.2 - Supergrupo Itacaiúnas

O supergrupo Itacaiúnas é uma sequência de rochas metavulcanossedimentares formada pelos grupos Igarapé Pojuca, Igarapé Bahia e Grão-Pará dominada por magmatismo máfico e metamorfizada na fácies xisto verde à anfíbolito (Villas & Santos 2001). O grupo Rio Novo é restrito a porção leste do Cinturão Itacaiúnas e sua relação com o supergrupo Itacaiúnas ainda não é totalmente compreendida.

#### **Grupos Igarapé Pojuca, Igarapé Bahia e Igarapé Salobo**

Os grupos Igarapé Bahia e Igarapé Pojuca são descritos como sequências metavulcanossedimentares, individualizadas com base em suas distribuições geográficas.

O grupo Igarapé Pojuca ocorre na porção centro-norte do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas e é composto por rochas metavulcânicas, FFB, metarenitos e grauvacas, metamorfizados na fácies xisto verde, atingindo localmente a fácies anfíbolito (DOCEGEO 1988).

O grupo Igarapé Bahia está localizado na porção centro-oeste do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, sendo constituído de basaltos afaníticos, vesiculares e porfirídicos, FFB, sedimentos pelíticos, conglomerados e arenitos (DOCEGEO 1988).

O grupo Igarapé Salobo consiste em uma sequência de rochas vulcanossedimentares de orientação WNW-ESE, discordante dos complexos Pium e Xingu. Essa sequência, que se estende por mais de 100 km no Cinturão Itacaiúnas, engloba essencialmente anfíbolitos, formação ferrífera bandada (FFB), metagrauvacas e quartzitos metamorfizados na fácies anfíbolito (Pinheiro & Holdsworth 2000). A idade U-Pb de  $2761 \pm 3$  Ma foi determinada por Machado *et al.* (1991).

### Grupo Grão Pará

Esta unidade é a mais espessa do Supergrupo Itacaiúnas, sendo descrita como uma sequência metavulcano-sedimentar metamorfizada na fácies xisto verde baixo (Machado *et al.* 1991). Esse grupo pode ser subdivido nas formações Parauapebas (basal), Carajás e Águas Claras/Rio Fresco (superior) (Trendall *et al.* 1998). O grupo Grão-Pará é considerado como depositado em uma bacia intracratônica sobre o complexo Xingu em  $2759\pm 2$  Ma (Machado *et al.* 1991).

A formação Parauapebas é composta predominantemente por basaltos porfiríticos e vesiculares (Pinheiro & Holdsworth, 2000). Datações U-Pb sugerem idades de  $2759\pm 2$  Ma (Machado *et al.* 1991) e  $2760\pm 11$  Ma (Trendall *et al.* 1998).

A formação Carajás é constituída predominantemente por sedimentos químicos (jaspilitos) intercalados por rochas vulcânicas máficas e félsicas (Beisiegel 1982; Trendall *et al.* 1998). As formações ferríferas possuem espessuras entre 100 e 400m, de grande extensão lateral, que hospedam os depósitos de ferro da região de Carajás. A formação Carajás apresenta pouca influência de metamorfismo regional, preservando grande parte das estruturas primárias. A análise de zircões de rochas félsicas da formação Carajás forneceu a idade de  $2743\pm 11$  Ma (Trendall *et al.* 1998).

A formação Águas Claras/Rio Fresco era inicialmente interpretada como duas formações individualizadas, correspondendo a formação Rio Fresco aos sedimentos no topo do grupo Igarapé Bahia (Pinheiro & Holdsworth 2000) e a formação Águas Claras aos sedimentos que cobrem o grupo Grão-Pará (Figueiras & Villas, 1984). Trendall (1998), no entanto, incorpora ambas as sequências na formação Águas Claras/Rio Fresco, considerando-as como os sedimentos superiores ao grupo Grão-Pará. Esta última está depositada sobre os grupos Grão-Pará e Igarapé Pojuca. Nogueira *et al.* (1995) a subdivide em dois membros:

1. Inferior, constituído de pelitos, siltitos e arenitos depositados em ambiente plataformal.
2. Superior, composto predominantemente por arenitos depositados em ambiente fluvial e litorâneo.

### Grupo Rio Novo

O grupo Rio Novo foi descrito primeiramente por Hirata *et al.* (1982) como o embasamento da sequência metassedimentar de Serra Pelada, ocorrendo como uma sequência *greenstone* de fácies metamórfica xisto verde.

Araújo & Maia (1991) definem o Grupo Rio Novo como uma sequência supracrustal de natureza vulcanossedimentar metamorfozada na fácies xisto verde. Essa sequência contém formações ferríferas, xistos, anfíbolitos, rochas máficas e ultramáficas, em contato discordante com as rochas do complexo Xingu, granito Estrela e granito Cigano.

Estudos realizados pela DOCEGEO (1988) sugerem que o grupo Rio Novo é correlato às rochas de mesma idade do supergrupo Andorinhas do terreno granito-*greenstone* Rio Maria, situado a sul do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas. Já Pinheiro & Holdsworth (2000) apontam que as rochas metavulcânicas aflorantes na região de Serra Pelada são correlatas ao Grupo Igarapé Pojuca.

Não existem datações diretas sobre o grupo Rio Novo, porém uma idade mínima de  $2.763 \pm 6$  Ma é estabelecida pela datação do complexo Luanga, que intrude a sequência (Machado *et al.* 1991). O grupo Rio Novo pode ser relacionado temporalmente e/ou em termos de ambiência tectônica a outras sequências vulcanossedimentares, especialmente com as sequências mais próximas (e.g.: grupos Grão-Pará e Alto Bonito, Costa 2007).

### Intrusões Graníticas

#### (i) Suíte Plaqué

A suíte Plaqué é definida como um conjunto de corpos alongados de composição granítica, que intrudem os complexos Pium e Xingu. São corpos deformados de orientação W-E, que ocorrem principalmente na porção sul e sudeste do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (Araujo *et al.* 1988).

#### (ii) Complexo Estrela

O complexo Estrela corresponde a um batólito de formato levemente alongado aflorante na porção centro-leste do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas. Esse batólito é composto essencialmente por monzogranitos, localmente com porções tonalíticas, granodioríticas e sienograníticas (Barros *et al.* 1997).

### (iii) Suíte Granítica Carajás

Em todo o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas ocorrem intrusões graníticas de idade 1.88 Ga (U-Pb Machado *et al.* 1991). São corpos arredondados de granitos alcalinos a subalcalinos, que intrudem tanto o complexo metamórfico de alto grau quanto o supergrupo Itacaiúnas (granitos Central de Carajás, Cigano, Pojuca e Young Salobo (Machado *et al.* 1991).

### Intrusões Máficas/Ultramáficas

#### (i) Complexo Máfico/Ultramáfico Luanga

Constituído de gabros, piroxenitos, noritos, peridotitos, e dunitos com níveis de cromitito (Diella *et al.* 1995), o complexo Luanga (2763±6 Ma U-Pb; Machado *et al.* 1991) está localizado na porção centro-leste do cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas e intrude rochas do Grupo Rio Novo. Este corpo intrusivo foi submetido a metamorfismo de fácies xisto verde baixo (Almeida *et al.* 1981).

#### (ii) Complexo do Vermelho

A intrusão ultramáfica do Vermelho localiza-se na porção sudeste do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, sendo constituída de dunitos, piroxenitos e peridotitos, metamorfizados na fácies xisto verde baixo, com mineralizações de níquel associadas.

### Formação Gorotire

A formação Gorotire foi descrita inicialmente por Beisiegel *et al.* (1973) como rochas sedimentares clásticas fracamente metamorfizadas, representadas por metapsamitos, frequentemente incluindo pequenos seixos, raramente formando conglomerados de grande extensão, alternados com os pelitos.

Já Pinheiro & Holdsworth (2000), definem a formação Gorotire como rochas siliciclásticas conglomeráticas indeformadas que recobrem as rochas supracrustais do grupo Grão-Pará. É sugerida idade proterózoica para esta unidade. As rochas descritas por Beisiegel *et al.* (1973) são correlacionadas às rochas da formação Águas Claras.

### 2.2.2 - Estruturação do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas

A estrutura dominante da Serra dos Carajás é definida por Beisegel *et al.* (1973) como um sinclínório de aproximadamente 100 km de comprimento e 50 km de largura, com eixo WNW - ESE composto por rochas vulcânicas e sedimentares, circundadas por rochas do embasamento cristalino. Ambas as sequências são intrudidas por rochas félsicas e máficas de diferentes idades (Fig. 2.5).

Toda esta estrutura é cortada por zonas de cisalhamento quilométricas, de orientação E - W, representadas pelas zonas de cisalhamento Carajás ao sul e Cinzen to ao norte (Araújo & Maia 1991). As orientações dessas falhas são fortemente controladas por um *trend* de trama dúctil pré-existente nas rochas do embasamento (Pinheiro & Holdsworth 2000).

Segundo Rosière *et al.* (2005), a falha Carajás é consequência do desenvolvimento de uma estrutura regional em S e dobras associadas com eixo predominantemente mergulhando para WNW e ângulo moderado. O progressivo rompimento com rotação de blocos resultou em estruturas com eixo de mergulho variável entre SW e NW, encontradas no bloco nordeste da falha. No bloco denominado Serra Norte concentram-se os corpos N1 a N9, os maiores e mais ricos do distrito ferrífero. Na Serra Sul, os efeitos dessa tectônica parecem ter sido menos expressivos (Fig. 2.5).

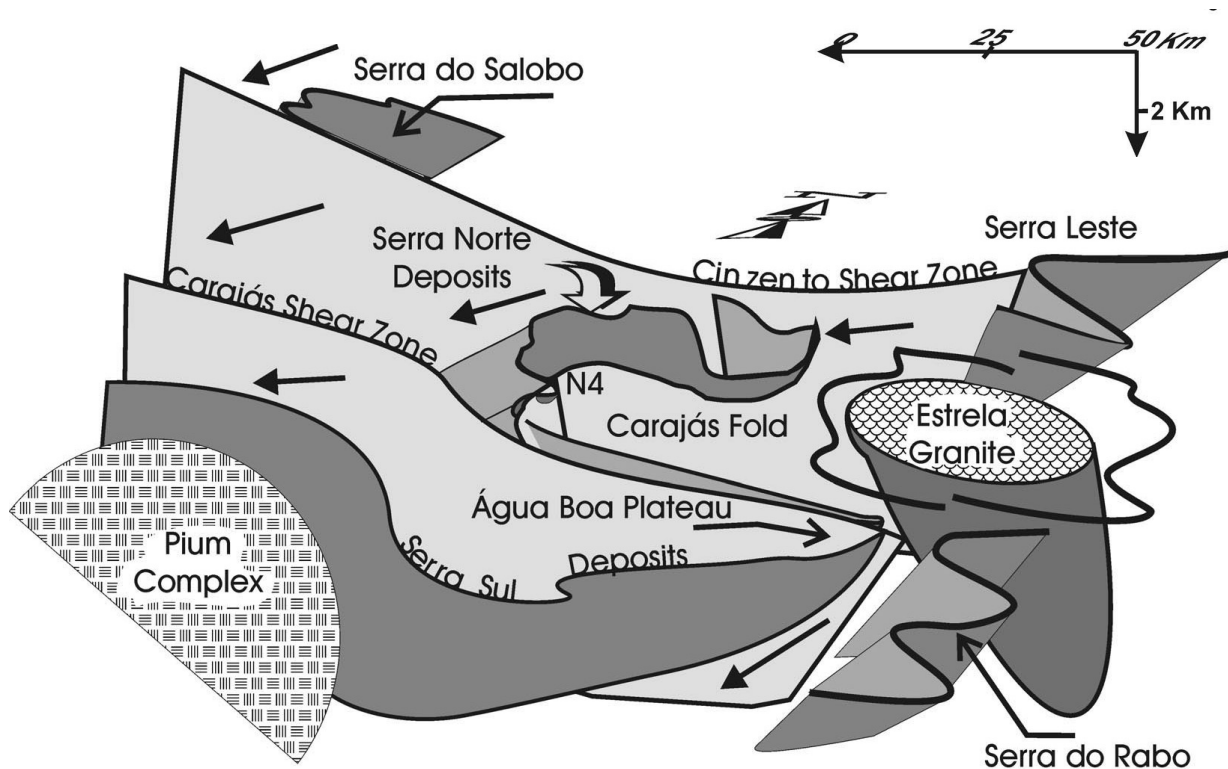


Figura 2.4 - Bloco diagrama esquemático da região de Carajás. Fonte: Rosière *et al.* (2005).

A estrutura é dominada por um sistema de dobramentos com eixos de mergulho moderado para WNW interceptados por falhas transcorrentes de orientação plano axial às dobras. A dobra constitui um par sinforme/antiforme com geometria em S. A Serra Sul constitui o flanco Sul, sendo a charneira do sinclinal representada pelo platô da Água Boa. (Fig. 5). A Serra Norte corresponde ao antiforme conjugado.

Zonas de cisalhamento regionais (Carajás e Cinzento) têm orientação ESE-WNW, paralelas a direção plano axial da dobra Carajás. Localmente pode chegar a desenvolver xistosidade nas rochas metavulcânicas e metassedimentares. A zona de cisalhamento Carajás está localizada ao longo da dobra Carajás com cinemática sinistral. A zona de cisalhamento do Cinzento ocorre na porção norte da Província Mineral de Carajás, entre a Serra Norte e a Serra do Salobo, com cinemática e orientação semelhante a zona de cisalhamento Carajás (Rosière *et al.* 2005).

### 3.0 - ESTRATIGRAFIA DA REGIÃO DE SERRA PELADA

#### 3.1 - O Problema Estratigráfico

A estratigrafia da região de Carajás ainda é muito controversa, especialmente em relação às rochas metassedimentares sobrepostas às rochas metavulcânicas e formações ferríferas.

As rochas metassedimentares discordantes do grupo Rio Novo na região de Serra Pelada e na Serra do Sereno já foram definidas utilizando-se o mesmo termo em diferentes categorias estratigráficas, sem nenhum trabalho de caracterização formal para tal (e.g, formação Rio Fresco; formação Águas Claras; Grupo Igarapé Pojuca; formação Rio Fresco/Águas Claras; Grupo Rio Fresco, Nogueira *et al.* 1995).

A formação Rio Fresco foi definida como uma sequência de rochas sedimentares associadas a rochas vulcânicas aflorantes ao longo do rio Fresco, afluente do rio Xingu (Barbosa *et al.* 1966). A formação Águas Claras é definida como uma sequência de metapelitos e metarenitos que recobrem as rochas metassedimentares do grupo Grão-Pará (Araújo *et al.* 1988). O grupo Igarapé Pojuca ocorre na porção centro-norte do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, sendo composto por rochas metavulcânicas, *BIF's*, metarenitos e grauvacas, metamorfizados na fácies xisto verde, localmente fácies anfíbolito (DOCEGEO 1988).

As rochas metassedimentares aflorantes na região de Serra Pelada, não possuem nenhuma ligação física às das formações Águas Claras ou Rio Fresco. A continuidade física entre estes e o grupo Igarapé Pojuca também não é clara. Apesar desta ser aparentemente truncada pelo granito Cigano, as rochas do grupo Igarapé Pojuca são definidas por um conjunto de rochas metavulcânicas, formações ferríferas e metagrauvacas associadas (Pinheiro & Holdsworth 2000), enquanto que os metassedimentos da região de Serra Pelada são formados por metarenitos e metassiltitos, além de serem claramente discordantes das rochas metavulcanossedimentares do grupo Rio Novo.

A falta de estudos que correlacionem às rochas do grupo Rio Novo com as rochas do grupo Grão Pará dificulta a correlação dessas rochas metassedimentares com a formação Águas Claras. Neste trabalho optou-se por definir a sequência metassedimentar de Serra Pelada pelo conjunto de rochas metassedimentares discordantes do grupo Rio Novo, aflorantes na porção leste do granito Cigano.

### 3.2 - Síntese Geológica

A geologia da região de Serra Pelada pode ser dividida em duas unidades principais: (i) uma sequência inferior, composta por rochas metavulcanossedimentares do grupo Rio Novo e sericita-quartzo xistos indivisos. (ii) uma sequência metassedimentar discordante, sendo ambas cortadas por intrusões graníticas de idade 1.88 Ga, além de outras rochas intrusivas de idade incerta (Fig. 3.1 e Fig. 3.2).

A sequência metassedimentar da região de Serra Pelada pode ainda ser individualizada em três unidades informais (unidades 1,2 e 3 - Fig.3.2). A primeira, denominada de unidade 1 é composta por metarenitos, metaconglomerados e metassiltitos subordinados. A unidade 2 é formada por metassiltitos carbonosos na base, seguidos por uma sequência de metassiltitos ricos em óxidos de ferro (*red beds*). A unidade 3 é composta por metarenitos, com níveis de metaconglomerado mono e polimítico.

Dois eventos de deformação podem ser interpretados na sequência metassedimentar, o primeiro  $D_1$  definido por dobras de escala regional, com plano axial WSW-ENE e mergulho baixo para SSE. Os eixos têm caimento suave a moderado para SW. Estas dobras são truncadas por cavalgamentos de orientação plano-axial. Dobras parasíticas de escala métrica a centimétrica ocorrem associadas.

O evento  $D_2$  ocorre em menor escala com dobras centimétricas de plano axial N-S e eixo com caimento também N-S subhorizontal. Uma fraca clivagem espaçada ocorre associada com orientação plano axial às dobras. Regionalmente ocorrem lineamentos de orientação NNW - SSE.

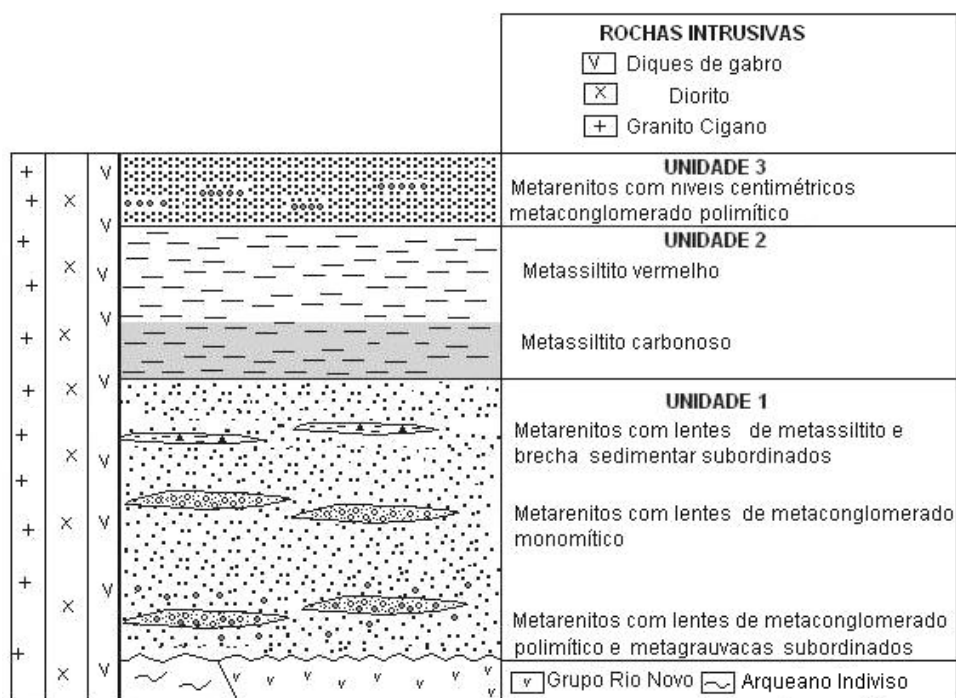


Figura 3.1 - Coluna estratigráfica da região de Serra Pelada.

Alguns aspectos sobre a geologia estrutural e a estratigrafia no contexto local do depósito de Serra Pelada merecem destaque:

- (i) O depósito é hospedado principalmente por metassiltitos (unidade 2) hidrotermalmente alterados no contato com a unidade 1 (Tallarico *et al.* 2000, Grainger 2003).
- (ii) A mineralização está associada a principalmente a três zonas de alteração hidrotermal (carbono, argila e sílica), encaixadas na zona de charneira do sinclinal invertido e inclinado, de orientação E-W, plano axial com mergulho de 30 para SSE e eixo com caimento suave para SW.

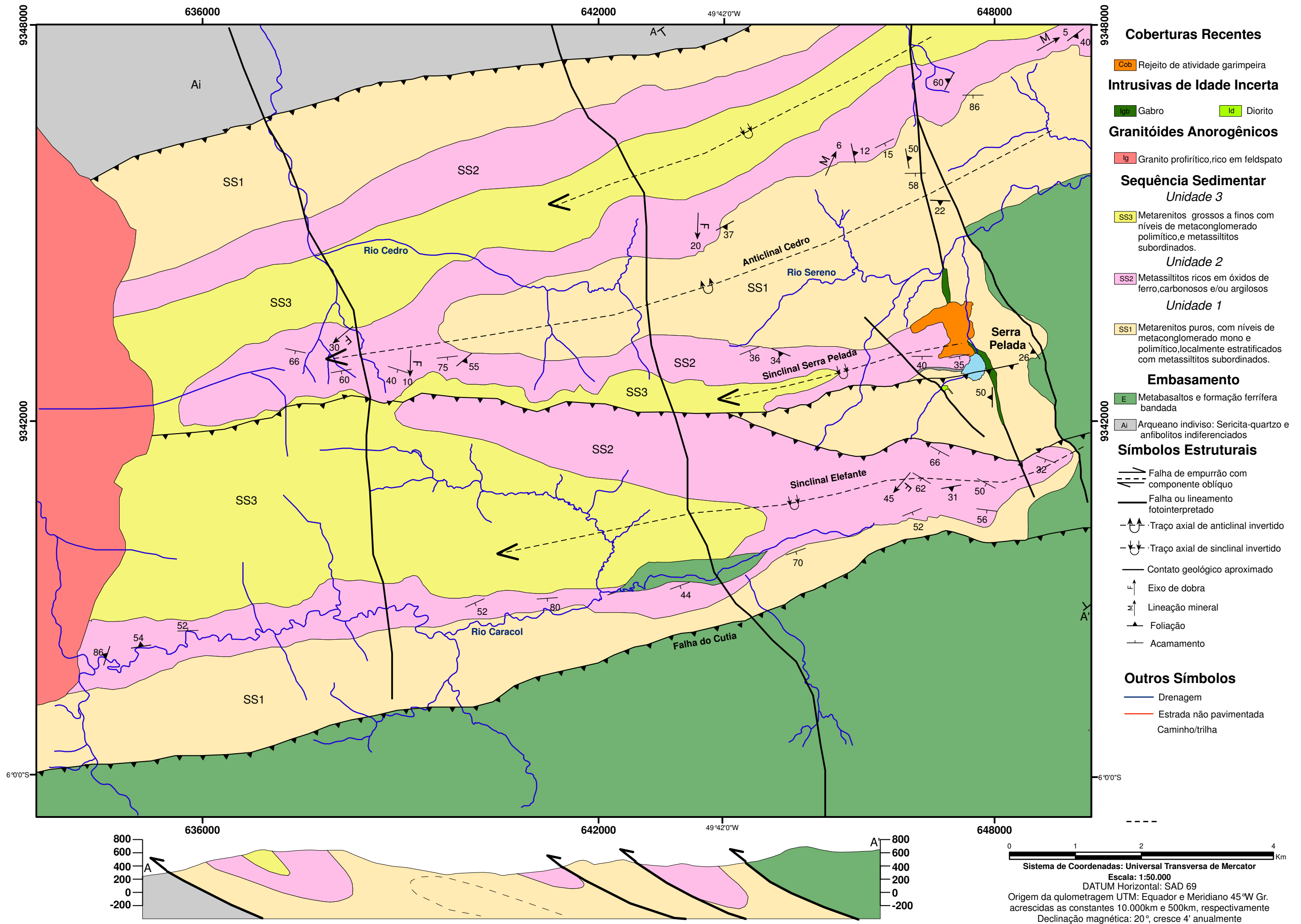


Figura 3.2 - Mapa geológico da região de Serra Pelada

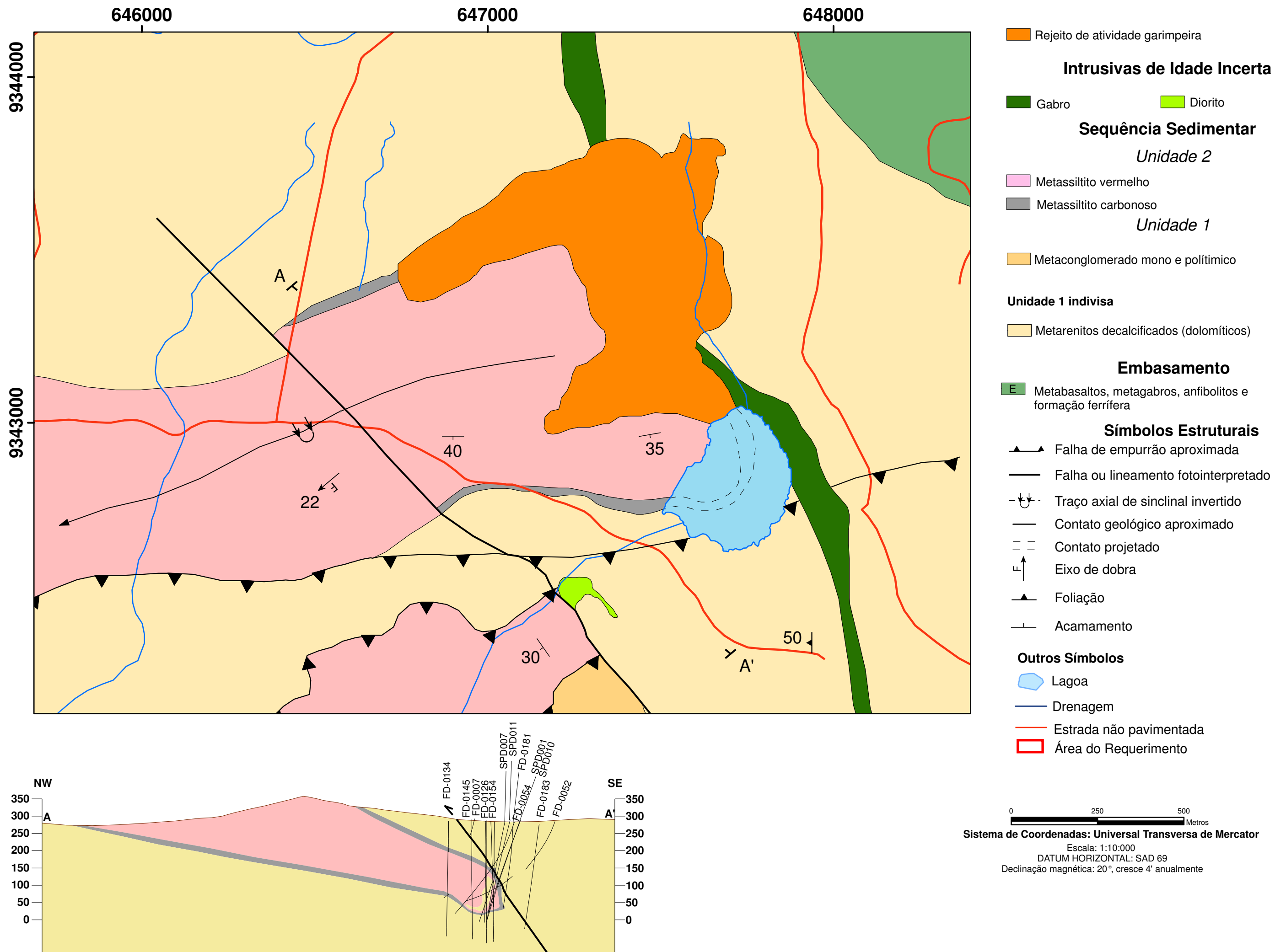


Figura 3.3 - Mapa geológico local - Garimpo de Serra Pelada

### 3.3 - Estratigrafia

#### 3.3.1 - Arqueano Indiviso

Na porção noroeste da área afloram sericita-quartzo xistos, localmente com anfibolitos associados. Estes estão sempre muito intemperizados, aflorando como um solo de coloração marrom clara (Fig. 3.4A) localmente preservando foliação com mergulho para sul ( $40-45^\circ$ ). Estão tectonicamente sobrepostos pelas rochas metassedimentares.

Devido ao fato de não existirem critérios geocronológicos, nem associação geológica com outros domínios estratigráficos, optou-se por definir esta unidade apenas como Arqueano Indiviso.

#### 3.3.2 - Grupo Rio Novo

O grupo Rio Novo aflora na porção sul e sudeste da área mapeada. É composto essencialmente por metabasaltos e formações ferríferas bandadas (Hirata *et al.* 1982). Em superfície, as rochas estão extremamente intemperizadas, resultando em um solo residual vermelho escuro (Fig. 3.4B), com foliação relíctica visível nas proximidades das zonas de falha. Formações ferríferas ocorrem na região de Serra Leste, sudeste da área mapeada. São representadas por grandes platôs, formados de cangas e hematita compacta além de itabiritos microlaminados. (Fig. 3.4C)



Figura 3.4 - (A) Sericita-quartzo xistos (Arqueano Indiviso). (B) Saprolito de metavulcânicas do grupo Rio Novo. (C) Formação ferrífera bandada do grupo Rio Novo.

### 3.3.3 - Sequência Metassedimentar

A sequência metassedimentar de Serra Pelada é a principal unidade em estudo, sendo hospedeira do depósito de Au-PGE de Serra Pelada. Esta ocorre continuamente na porção central da área, ocupando cerca de 60% da área mapeada. Ela ainda pode ser individualizada em três unidades, denominadas informalmente de 1, 2 e 3.

#### 3.3.3.1 - Unidade 1

A unidade 1 constitui a unidade basal da sequência metassedimentar de Serra Pelada, e apesar de discordante, está em contato tectônico com o grupo Rio Novo e em contato gradacional com a unidade 02, sendo formada principalmente por metarenitos (Fig. 3.5A), com metaconglomerados mono e polimíticos e metassiltitos subordinados. Os metarenitos são geralmente puros, de granulometria fina a média. Estes são em geral maciços, localmente com acamamento plano-paralelo definido pela variação granulométrica.

Os metaconglomerados polimíticos (Fig. 3.5B) ocorrem como finos estratos ou lentes decimétricas intercaladas em meio aos metarenitos. Os contatos são gradacionais, normalmente com metarenitos líticos grossos nas proximidades dos metaconglomerados. Estes são acamadados, suportados pela matriz arenosa, com fragmentos de arenito, jaspilito e hematita compacta variando de grânulo a seixo. Os fragmentos são mal selecionados, variando de angulosos (hematita compacta e jaspilitos) a subarredondados (arenito, quartzo). Estes conglomerados estão intercalados na porção basal dos metarenitos.

Os metaconglomerados monomíticos (Fig. 3.5C) ocorrem como lentes relativamente mais espessas que os metaconglomerados polimíticos (até 3m) e possuem fragmentos suportados pela matriz arenosa. Estes são arredondados a subarredondados com granulometria entre grânulo e seixo, compostos essencialmente por grãos de quartzo monocristalino e policristalino. A matriz é composta essencialmente por quartzo e sericita-muscovita além de zircão e rutilo como acessórios (Grainger *et al.* 2003). O acamamento é marcado pela variação granulométrica, sempre em granodescrescência ascendente.

Na região do sinclinal de Serra Pelada e do Sinclinal Elefante os metarenitos da unidade 1 possuem matriz dolomítica (Fig. 3.6A e B). Esta, também pode ocorrer como substituição maciça, drusas ou veios de escala centimétrica. Os metarenitos são finos a grossos, localmente grauvaqueanos, com fragmentos de formação ferrífera e quartzito. A matriz é predominantemente dolomítica (20-85%) com pequena quantidade de calcita (1-15%) associada (Tallarico *et al.* 2000). O efeito do intemperismo lixivia os carbonatos

presentes na matriz dos metarenitos. Sendo assim, a dolomita só está preservada abaixo da superfície de oxidação, cerca de 350m abaixo da superfície topográfica atual. Apesar disso, os mesmos litotipos (metaconglomerados mono e polimíticos) observados em superfície também ocorrem em profundidades maiores com a matriz dolomítica preservada (Fig. 3.6C e D).

Metassiltitos também ocorrem interdigitados em meio aos metarenitos dolomíticos, restritos à porção NE da cava sendo interceptados apenas em alguns furos de sonda. A continuidade da camada é truncada pela intrusão gabróica na direção SW, e coberta por rejeitos de atividade garimpeira na direção NNW-SSE.

Os metassiltitos têm coloração marrom a cinza, com níveis carbonosos e de brecha sedimentar. As brechas possuem matriz silto-arenosa com fragmentos de metassiltito. Estes são angulosos, variando de granulo a seixo (Fig. 3,6E e F). Estes são estratigraficamente superiores em relação aos metaconglomerados.



Figura 3.5 - (A) Visão geral dos metarenitos da unidade 1. (B) Níveis de metaconglomerado polimítico com acamamento bem definido. (C) Metaconglomerado monomítico em granodecrescência ascendente.

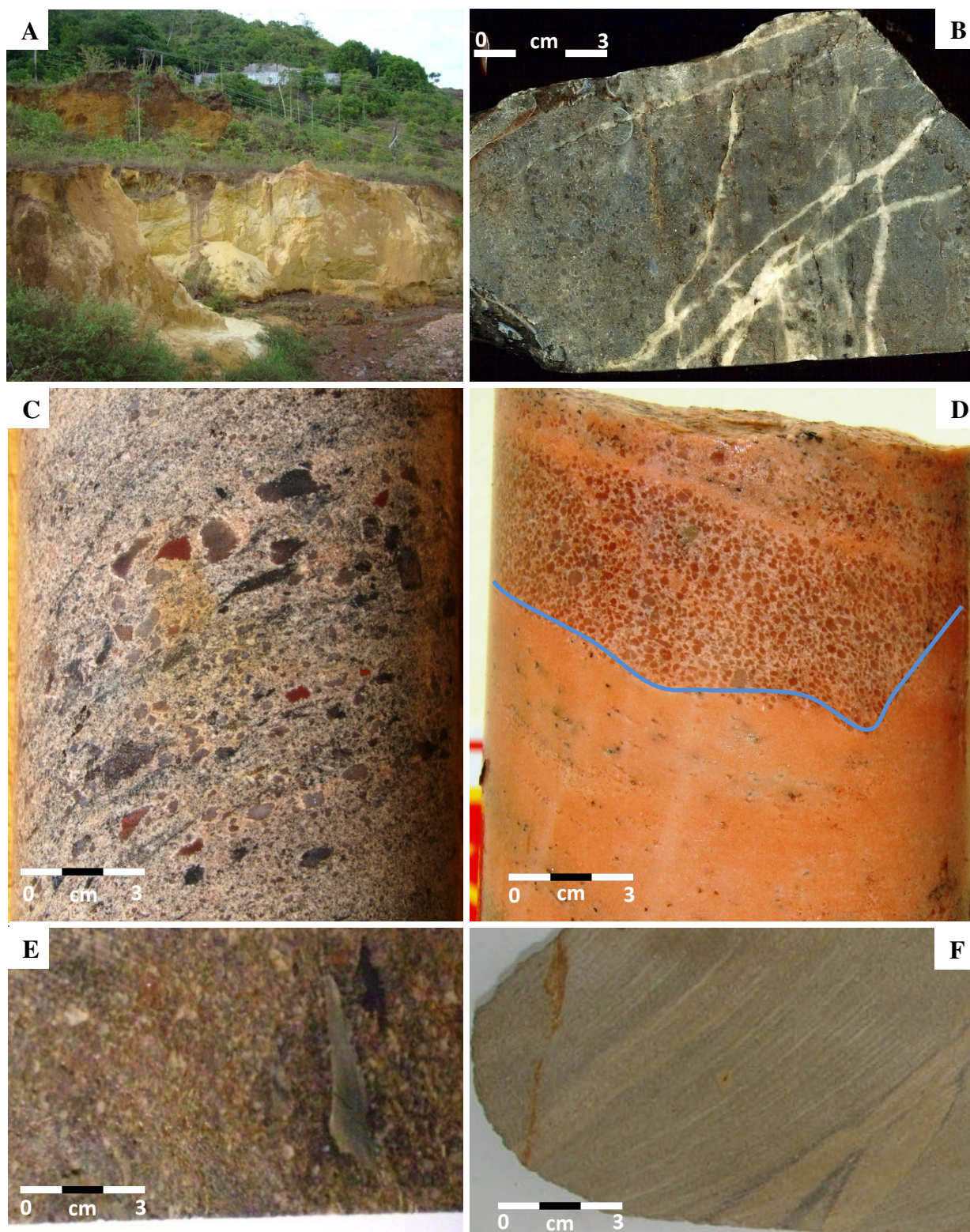


Figura 3.6 - (A) Afloramento dos metarenitos dolomíticos da unidade 01. (B) Metarenito com matriz dolomítica e veios de carbonatos preservados. (C) Metaconglomerado polimítico com matriz dolomítica e fragmentos de formação ferrífera. (D) Metaconglomerado monomítico com matriz dolomítica substituindo completamente os grãos de quartzo, em contato irregular com o acamamento. (E) Brecha sedimentar com fragmentos de metassiltito. (F) Metassiltito carbonoso intraformacional.

### 3.3.3.2 - Unidade 2

A unidade 2 é composta essencialmente por metassiltitos ricos em óxidos de ferro (vermelhos) e metassiltitos carbonosos. Está em contato gradacional com a unidade 1 e em contato brusco com a unidade 03.

Os metassiltitos mais a sul da área possuem características de acamamento diferentes dos demais. Em geral os metassiltitos do sinclinal Elefante (Fig. 3.2) apresentam variações rítmicas entre os níveis carbonosos e aqueles ricos em óxidos de ferro. Já os metassiltitos do sinclinal de Serra Pelada e do anticlinal Cedro possuem níveis métricos a decimétricos de metassiltito carbonoso na sua porção basal e no topo um pacote de metassiltitos ricos em óxidos de ferro com pouca ou nenhuma contribuição de matéria carbonosa. Independente da alternância entre os níveis de diferente composição, a contribuição de carbono nesta unidade é sempre restrita às porções basais da unidade 2 (Fig. 3.2).

Os metassiltitos aflorantes na porção norte na área sugerem a presença de mais um sinclinal com fechamento na serra do Sereno. Esta interpretação foi baseada em um perfil nas proximidades da fazenda dos Mirandas, porção NE da área. A continuidade lateral não foi confirmada em campo devido ao difícil acesso à face norte da serra do Sereno.

#### **Metassiltitos Carbonosos**

Os metassiltitos carbonosos ocorrem no contato com unidade 1 como níveis de espessura métrica a decimétrica, ou até mesmo como laminações no metassiltito vermelho. O acamamento é fino a laminado, marcado pela variação na concentração de carbono, na forma de finas laminações ou como bandamento centimétrico (Fig. 3.7A e B).

No depósito de Serra Pelada, os metassiltitos carbonosos constituem o nível basal da unidade 2, formados por metassiltitos de cor cinza com carbono relativamente baixo (<1 %  $C_{total}$ ), e espessura variando entre 15-20 metros. A mineralogia principal é formada por filossilicatos (80-90% muscovita-sericita), quartzo (10-20 %) e matéria carbonosa (<1 %). Rutilo, zircão e óxidos de ferro ocorrem como acessórios.

A muscovita-sericita é de granulação muito fina (<0,05mm), formando agregados orientados de cristais alongados paralelos ao plano de foliação. Frequentemente a muscovita/sericita é coberta por matéria carbonosa ficando escurecida (3.7C e D). O quartzo ocorre em grãos anédricos, variando entre 0,05-0,3mm em meio aos filossilicatos e a matéria

carbonosa. A matéria carbonosa ocorre controlada pelo acamamento, localmente com finas venulações orientadas paralelas a foliação/crenulação.

A rocha tem textura lepidoblástica, definida pelos filossilicatos (muscovita-sericita) orientados paralelos a foliação, envolvendo os grãos de quartzo e a matéria carbonosa. O bandamento composicional é definido por níveis claros e escuros refletindo maior ou menor contribuição de matéria carbonosa.



Figura 3.7 - (A) Afloramento de metassiltito carbonoso na região da serra do Sereno ( $>1\%_{\text{total}}$ ). (B) Metassiltito carbonoso ( $<1\%_{\text{total}}$ ) basal do sinclinal de Serra Pelada. (C) Fotomicrografia (LT, NC) mostrando variação entre nível mais rico em carbono e rico em sericita/muscovita, detalhe em (D).

### **Metassiltitos Vermelhos**

Os metassiltitos vermelhos são a litologia predominante da unidade 2 (Fig. 3.8A e C). O acamamento é definido pela alternância entre níveis siltosos e de areia muito fina ricos em óxi-hidróxidos de ferro ou não. Estas alternâncias são relativamente mais espessas do que no metassiltito cinza (1-5 cm).

Ocasionalmente podem ocorrer bandas carbonosas associadas (Fig. 3.8B). As principais estruturas primárias observadas são o acamamento gradacional (granodescrescência ascendente), com laminação plano paralela, localmente com laminação cruzada de baixo ângulo.

A mineralogia é composta essencialmente por sericita-muscovita (50-60 %), óxi-hidróxidos de ferro (goethita, martita e hematita, 20-30 %), quartzo (<10-20 %) e além de zircão e rutilo como acessórios (Fig. 3.8D).

A muscovita-sericita é de granulação muito fina (<0,05mm), formando agregados orientados de cristais alongados. O quartzo ocorre em grãos anédricos, variando entre 0,05-0,3mm em meio aos filossilicatos e óxi-hidróxidos (hematita goethita) de ferro.

A rocha tem textura lepidoblástica, definida pelos filossilicatos (muscovita-sericita) orientados paralelo a foliação incipiente. O acamamento sedimentar é bem preservado, definido pela variação granulométrica e composicional. Os níveis mais vermelhos possuem matriz rica em hematita limonita e goethita.

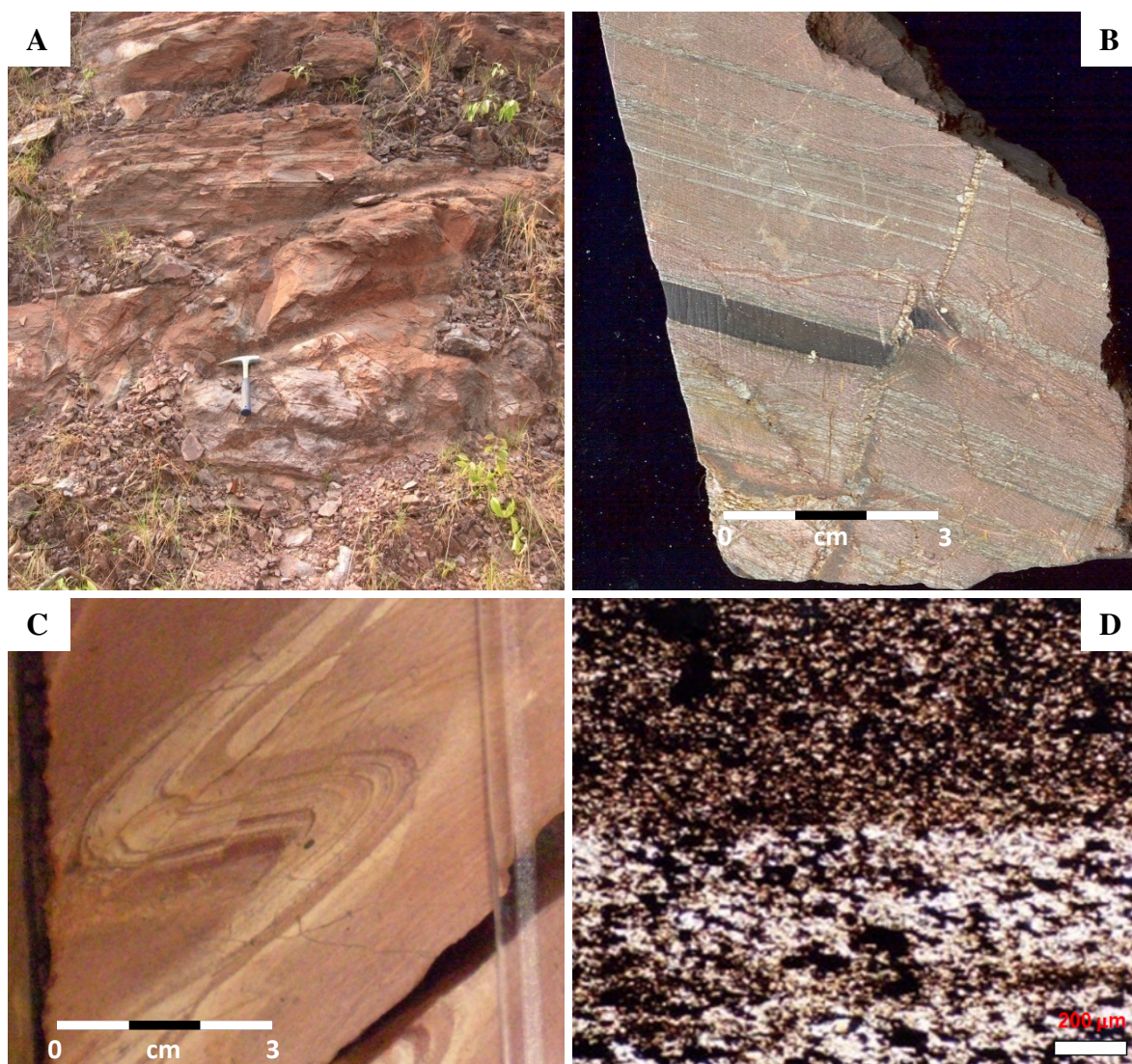


Figura 3.8 - (A) Afloramento de metassiltito vermelho. (B) Metassiltito vermelho com nível carbonoso. (C) Metassiltito vermelho com dobras parasíticas e acamamento bem definido. (D) Fotomicrografia (LT, NC) do contraste entre as bandas ricas em óxidos de ferro e bandas ricas em sericita/muscovita.

### **Metassiltitos Cinza Esverdeados**

No flanco inferior do sinclinal de Serra Pelada, ocorrem metassiltitos cinza esverdeados. Estes não correspondem a uma unidade estratigráfica, mas sim a uma zona onde a sericita/muscovita dos metassiltitos vermelhos e carbonosos é substituída por clorita.

A substituição ocorre principalmente na porção inferior da dobra, substituindo todo o flanco inferior e parte do flanco superior. Esta deixa os metassiltitos com cor cinza-esverdeada a verdes, dependendo da quantidade de clorita. É comum a substituição de apenas uma banda por clorita até a substituição total das bandas de óxido de ferro (Fig. 3.9A, B e D,

Fig. 3.10A e B). Localmente ocorrem granadas, claramente cortando a foliação (Fig. 3.9C, 3.10C, E e D).

Esta zona de alteração oblitera o contato estratigráfico entre os metassiltitos carbonoso e vermelho. As características do acamamento são os únicos parâmetros para a diferenciação entre estas unidades, sendo o metassiltito vermelho com acamamento mais espesso e níveis de areia muito fina, enquanto o metassiltito carbonoso tem o acamamento mais fino, laminado.

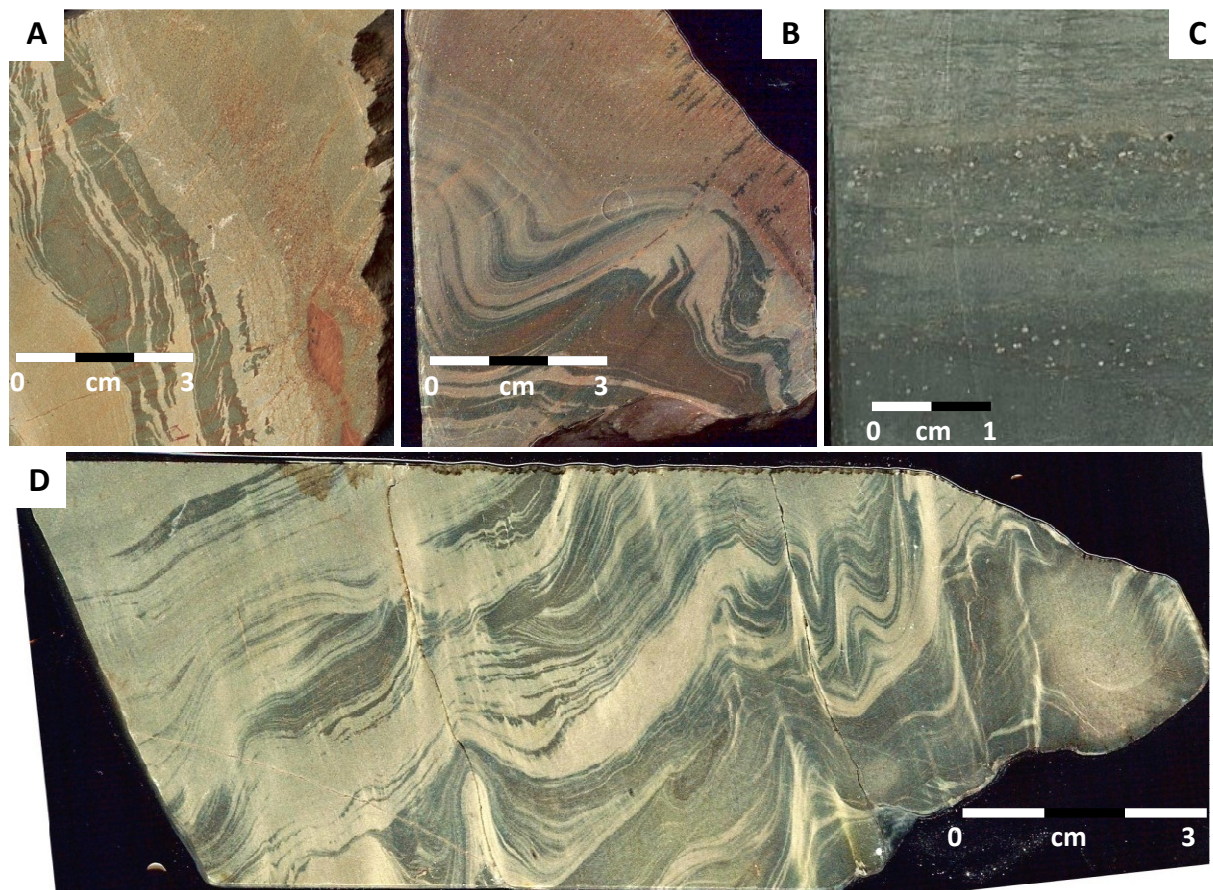


Figura 3.9 - (A, B) Metassiltito vermelho com alteração fraca. (C) Porfiroblastos de granada no metassiltito alterado. (D) Metassiltito vermelho totalmente substituído por clorita.

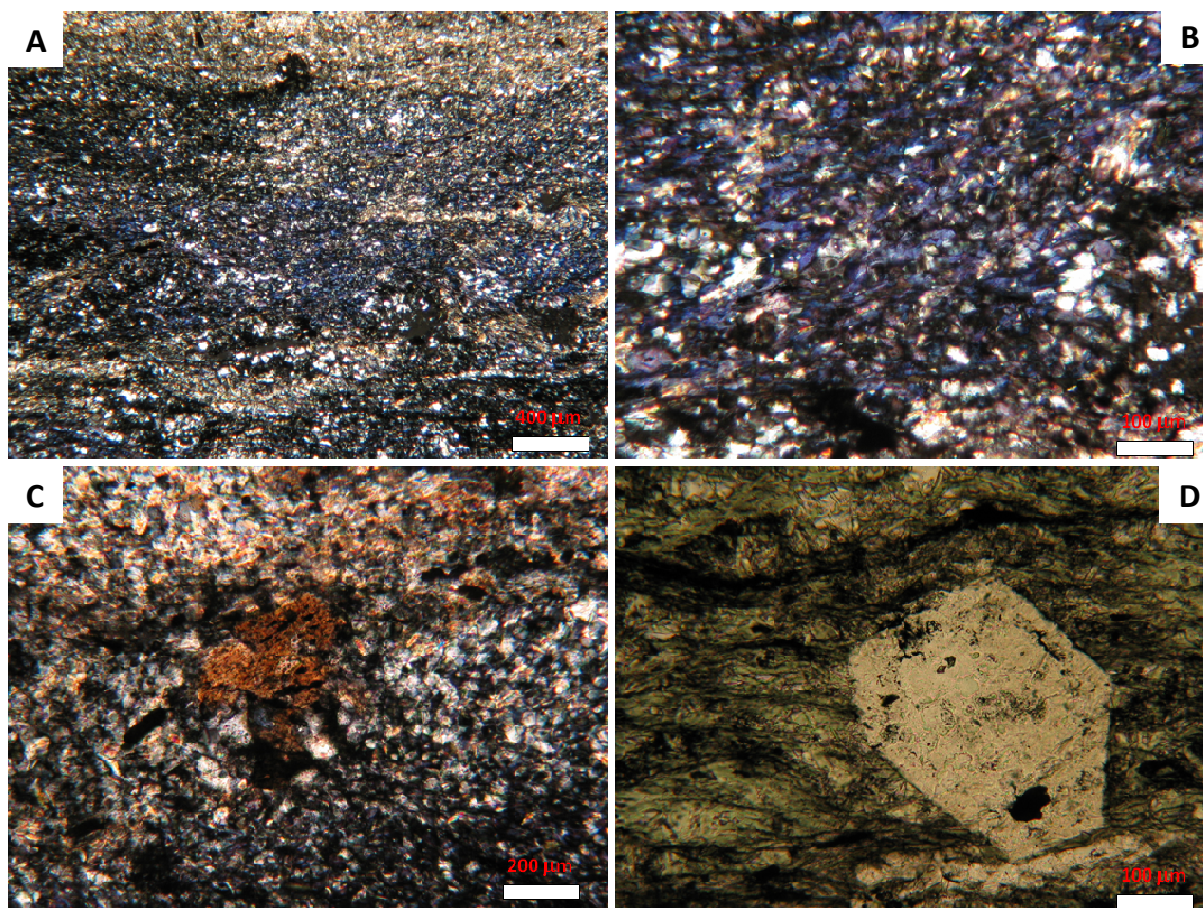


Figura 3.10 - Fotomicrografias da zona substituição por clorita (LT, NC). (A) Níveis ricos em clorita substituindo metassilito vermelho, detalhe em (B). (C) Polimorfo de granada substituído por sericita. (D) Nicóis descruzados, mostrando relação de corte com a foliação.

### **Metarenito Intraformacional**

Na porção interna da charneira da dobra de Serra Pelada, ocorre uma lente de metarenito interdigitada aos metassilitos. Estende-se no mínimo por 350 metros ao longo da charneira, com distribuição nos flancos inferior e superior e espessura aproximada de 10-15 metros.

Esta unidade é formada por metarenitos finos a muito finos, com acamamento sedimentar definido pela variação granulométrica. Estes geralmente estão silicificados, dificultando o reconhecimento de estruturas primárias.

### 3.3.3.3 - Unidade 3

Esta unidade aflora na porção oeste das dobras regionais sendo caracterizada por uma sequência de metarenitos, metaconglomerados e localmente metassiltitos. Esta está em contato brusco com os metassiltitos da unidade 2 (Fig. 3.2).

Os metarenitos são os litotipos predominantes. Possuem granulometria fina a média, sendo geralmente puros com grãos subarredondados. Diferente dos metarenitos da unidade 1, estes possuem acamamento bem definido pela variação granulométrica e composicional (com níveis mais finos com pequena contribuição de óxidos de ferro). As principais estruturas primárias observadas são estratificações plano paralela e cruzada de baixo ângulo. Nas proximidades dos metaconglomerados, os metarenitos são grauvaqueanos com fragmentos líticos de metassiltito, quartzo e quartzito (Fig. 3.11A e B).

Os metaconglomerados ocorrem como finos estratos em meio aos quartzitos (Fig. 3.11C e D). São mal selecionados, com fragmentos angulosos a subangulosos constituídos por quartzo, quartzito e metassiltito. A granulometria dos seixos varia de granulo a seixo.



Figura 3.11 - (A) Metarenito com bandamento composicional bem definido. (B) Estratificação cruzada nos metarenitos. (C) Níveis conglomeráticos no metarenito. (D) Detalhe no nível de metaconglomerado com clastos de metassiltito.

### 3.3.4 - Rochas Intrusivas

#### 3.3.4.1 - Granito Cigano

Aflora na porção oeste da área mapeada, ocupando cerca de 10% da área. Intrude tanto o embasamento quanto a sequência metassedimentar. No contato com as rochas metassedimentares, pode-se observar o crescimento de cristais de cordierita, além de grande quantidade de hematita disseminada em meio aos metarenitos.

É um granito porfirítico, formado por cristais centimétricos euédricos de quartzo e feldspato (Fig. 3.12A e B). A biotita ocorre em agregados centimétricos distribuídos irregularmente em meio à massa quartzo-feldspática. Não se observa nenhuma orientação dos minerais, com exceção das zonas de borda.

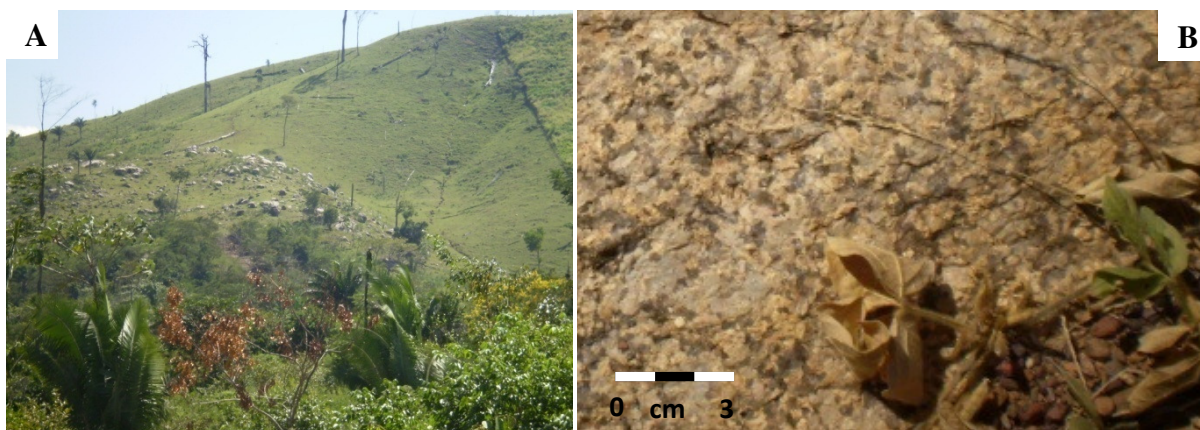


Figura 3.12 - (A) Visão geral dos afloramentos do granito Cigano. (B) Granito Cigano com cristais centimétricos de quartzo e feldspato.

#### 3.3.4.2 - Intrusões dioríticas

Diversas intrusões dioríticas ocorrem na área (Tallarico *et al.* 2000, Grainger 2003). Apenas uma aflora a cerca de 300m a oeste da cava sendo também interceptada por diversos furos de sondagem, encaixado nos metarenitos dolomíticos. Tanto em afloramento quanto nos furos de sondagem a rocha é extremamente intemperizada sendo de cor verde quando menos intemperizada e vermelha quando mais alterada (Fig. 3.13A, B e C). O diorito é composto essencialmente por plagioclásio (45%), piroxênio (25%), clorita (5%), sericita, actinolita, além de pouco quartzo e epidoto, além de titanita e monazita como acessórios (Fig. 3.13D).

Tallarico *et al.* 2000 sugerem que os minerais ígneos originais estão alterados hidrotermalmente para albita, sericita, quartzo, clorita, epidoto, rutilo e carbonatos (Fig. 3.13 E). Veios de quartzo com sulfetos (pirita, calcopirita) cortam as intrusões dioríticas.

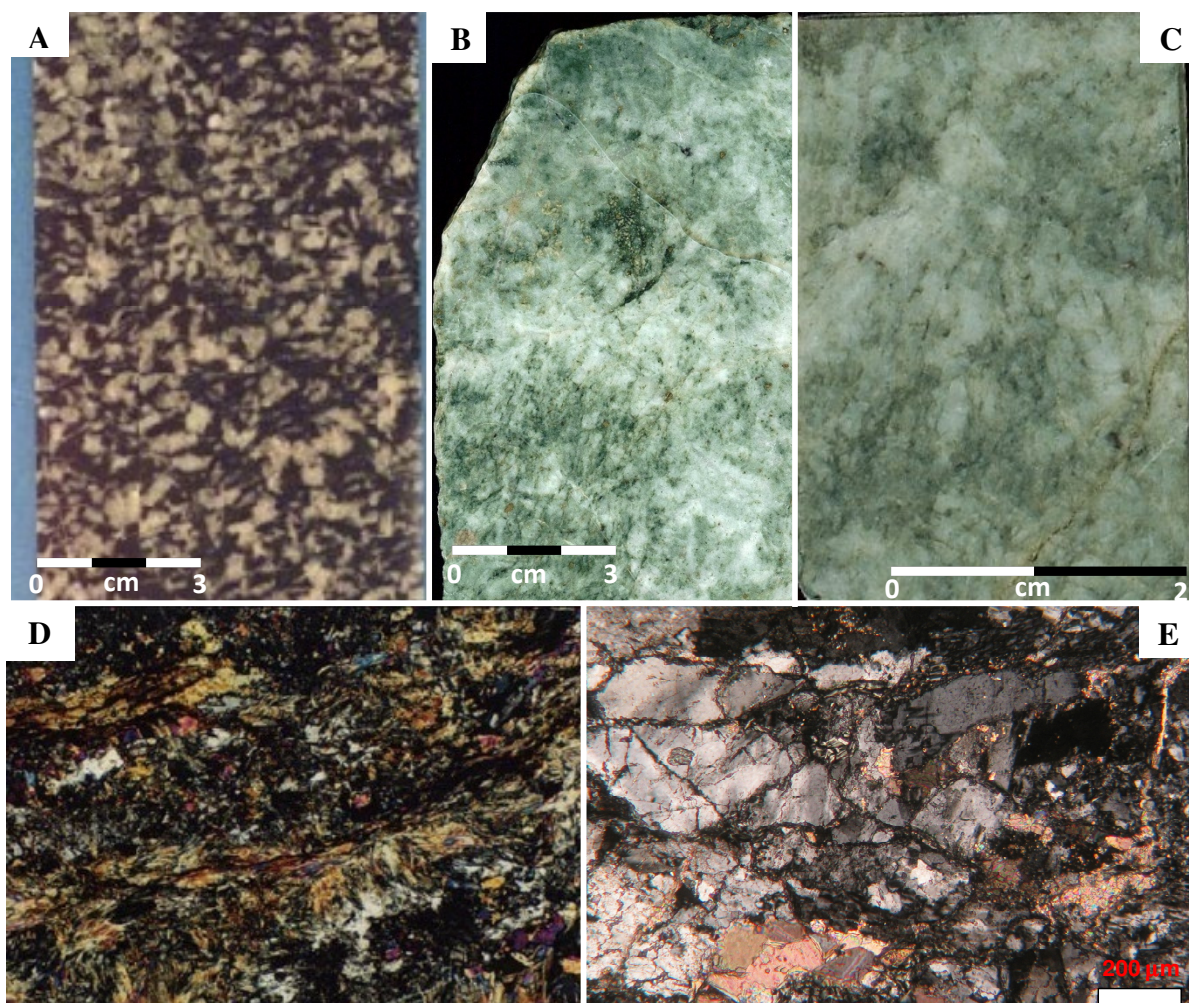


Figura 3.13 - (A) Diorito não alterado. (B) Diorito alterado hidrotermalmente. (C) Detalhe no diorito alterado. (D) Fotomicrografia do diorito não alterado (LT, NC aumento 10x - Grainger 2003). (E) Diorito hidrotermalmente alterado, com carbonatos associados (LT, NC).

#### 3.3.4.3 - Diques de gabro

Diques de gabro cortam a sequência sedimentar, com orientação NNW-SSE. São corpos com até 200m de largura e até 5 km de extensão. A granulação dos cristais varia de fina a grossa, localmente com cristais centimétricos de feldspato e piroxênio.

Um corpo de gabro corta os metarenitos próximo a charneira do sinclinal de Serra Pelada (Fig. 3.2). Tem orientação noroeste com mergulho subvertical para sudoeste e espessura aproximada de 30m. O gabro representa a rocha mais nova no contexto do depósito, sendo datado de 198 Ma (Rb/Sr; Meireles *et al.* 1988). É constituído principalmente de cristais de plagioclásio (50-60 %), piroxênio (20-30 %), além de magnetita, biotita, clorita e sericita como acessórios (Grainger 2003). A textura ígnea original está preservada localmente com a presença de piroxênio em forma de cristais grosseiros com orientação de fluxo.

### 3.3.5 - Metamorfismo Regional e de Contato

As rochas metassedimentares menos alteradas hidrotermalmente na região de Serra Pelada registram apenas pequenas evidências de um evento metamórfico regional, provavelmente ocorrido durante o primeiro evento de deformação ( $D_1$ ) (Grainger 2003).

Estas evidências são restritas a ocorrência de finas lamina de muscovita ao longo do plano de foliação principal, que é em geral, fraca e pouco penetrativa.

Evidências de metamorfismo de contato são observadas, principalmente nas proximidades da intrusão diorítica, na porção SW da cava. Ocorrem rochas compostas essencialmente por talco, carbonatos e quartzo. Sua gênese está associada à reação descrita por Tallarico *et al.* 2000:  $\text{dolomita} + \text{quartzo} + \text{H}_2\text{O} = \text{actinolita} + \text{calcita} + \text{CO}_2$ . Com o contínuo resfriamento do diorito, ocorre a reação tremolita (actinolita) +  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{talco} + \text{calcita} + \text{quartzo}$ .

A existência de minerais como actinolita e calcita indicam uma temperatura mínima de  $550\text{C}^\circ$ . Nessas temperaturas, seria de se esperar o crescimento de minerais como biotita, estaurolita e cordierita. Ao contrário, a única coisa observada é a ocorrência de alguns porfiroblastos de granada, que seriam pós-tectônicos e relacionados à alteração hidrotermal (Tallarico *et al.* 2000).



Figura 3.14 - (A) Contato do diorito com metarenito dolomítico metamorfizado. (B) Detalhe no metarenito, maciço, rico em talco.

## 4.0 - GEOLOGIA ESTRUTURAL DA REGIÃO DE SERRA PELADA

### 4.1 - Síntese da Estruturação Regional

A estruturação das rochas metassedimentares da região de Serra Pelada pode ser interpretada como resultado de dois eventos tectônicos:

O evento  $D_1$  é marcado por dobras de grande amplitude e orientação E - W, sendo amplamente distribuído em escala regional e local. Estas são localmente truncadas por falhas de orientação plano axial. As principais estruturas do evento  $D_1$  compreendem um anticlinal (Cedro) e dois sinclinais (Elefante e Serra Pelada), além de dobras parasíticas associadas (Fig. 3.2). As dobras têm plano axial com mergulho de baixo ângulo (Serra Pelada) a moderado (Elefante e Cedro) para SSE, eixo com caimento suave a moderado para SSW. A foliação regional tem mergulho suave para SSE, definida pela orientação dos filossilicatos nos metassiltitos. As falhas de empurrão possuem orientação E - W e ocorrem associadas às dobras. Estas falhas são vergentes para NNW, com movimento frontal e localmente com lineação oblíqua associada. Falhas normais de direção ENE e NW também ocorrem associadas ao sinclinal de Serra Pelada. O evento  $D_2$  é marcado por lineamentos de orientação NNW-SSE em escala regional, representados em campo por falhas, dobras de pequena amplitude, plano axial subvertical e eixo N-S ou por uma clivagem espaçada.

## 4.2 - Principais Estruturas do Evento D<sub>1</sub>

### 4.2.1 - Dobras

Três grandes dobras são mapeáveis em escala regional. Os sinclinais Elefante e Serra Pelada e o anticlinal Cedro (Fig. 3.2). Além destas estruturas ainda existe a possibilidade de um outro sinclinal na porção norte da área (Fig. 3.2).

Podem se observar diferenças na orientação das dobras regionais. O sinclinal do Elefante e o anticlinal Cedro possuem flancos com mergulho em torno de 50-60° para S e eixo com caimento em torno de 30-25° para SW. O sinclinal de Serra Pelada possui flancos com mergulho em torno de 35-20° para sul e sudeste, e eixo com caimento de cerca de 15-20° para SW.

#### 4.2.1.1 - Sinclinal de Serra Pelada

É a principal estrutura regional, sendo hospedeira do depósito homônimo. Aflora por cerca de 2 km na porção leste da área mapeada, sendo truncado no seu flanco sul por uma falha de orientação E-W (Fig. 3.2).

O sinclinal é invertido, com flanco normal de orientação WNW, mergulho de baixo ângulo (~20° para sudoeste), flanco invertido com orientação E-W e mergulho em torno de 30-35° para sul. O eixo tem caimento suave (20°) para SW (Fig. 4.1, Fig. 4.2A).

A distribuição das principais zonas mineralizadas e dos teores relacionados à mineralização de Au-PGE do depósito é controlada pela zona de charneira com pequena distribuição nos flancos do Sinclinal de Serra Pelada. Localmente ocorrem corpos mineralizados nos metarenitos dolomíticos (Fig. 4.2B).

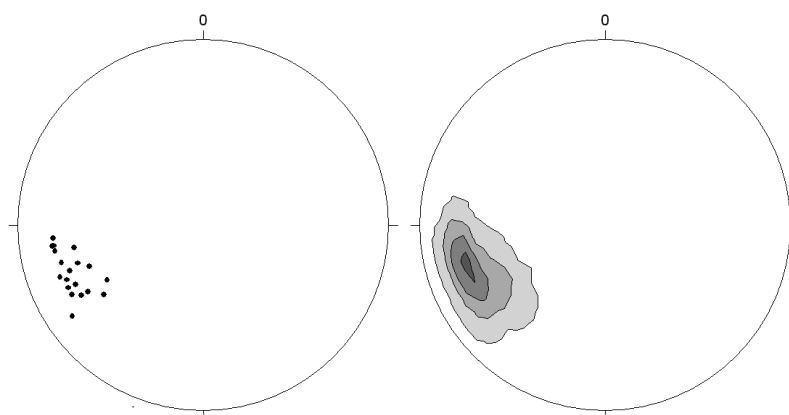


Figura 4.1 - Estereograma de pólos de eixos de dobras parasíticas na região de Serra Pelada. Total 20 medidas. Máximo em 256/24. Contornos em 1, 10, 25 e 40%.

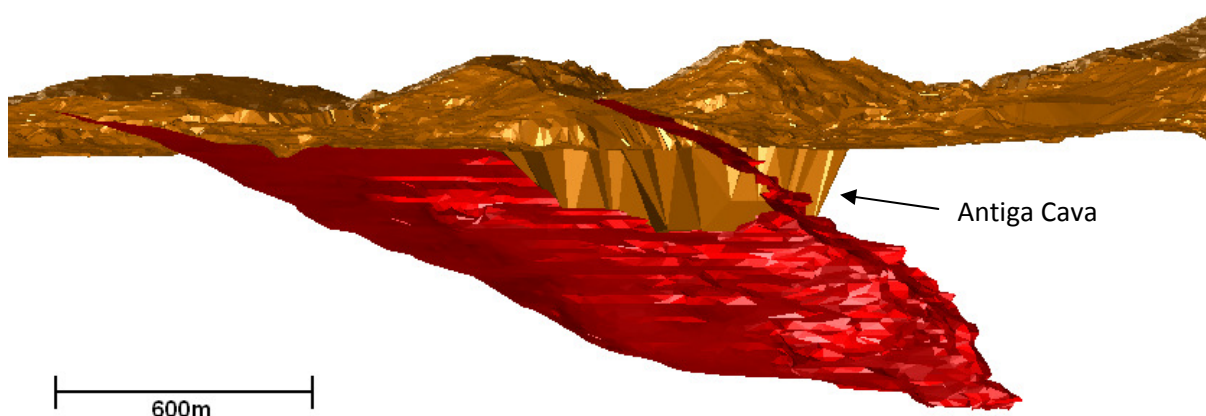


Figura 4.2 (A) - Modelo tridimensional do sinclinal de Serra Pelada (vermelho) e modelo digital de terreno. Visada para ENE.

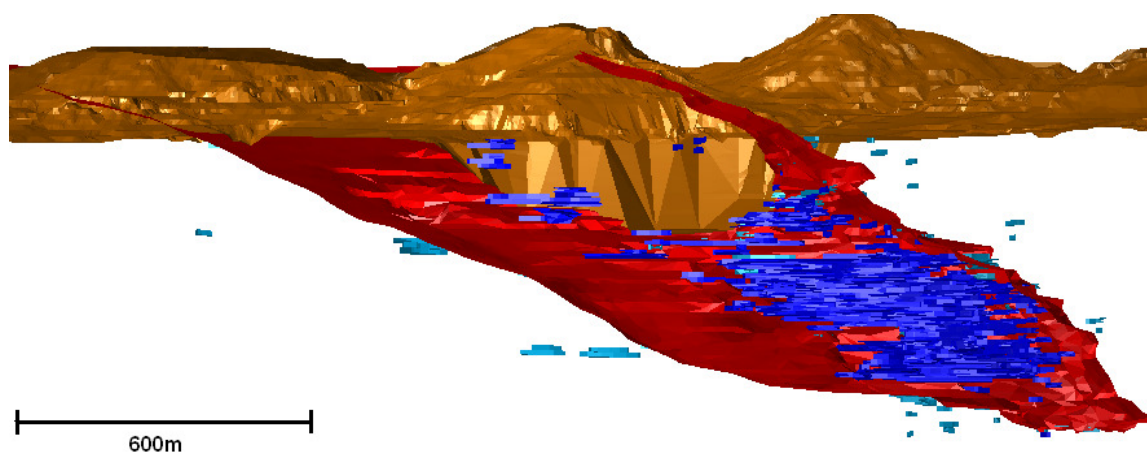


Figura 4.2 (B) - Distribuição (em azul) da principal zona mineralizada (>1ppm). Visada para ENE.

O metarenito intraformacional ocorre na porção interna da charneira do sinclinal, próximo ao contato com a unidade 1 (Fig. 4.3A e B). Sua extensão lateral ocorre por pelo menos 350m ao longo da principal porção mineralizada com geometria paralela aos metassiltitos. A distribuição desta unidade possui grande correlação com o zoneamento das zonas de alteração hidrotermal e com a distribuição dos teores no depósito de Serra Pelada (vide cap. 06).

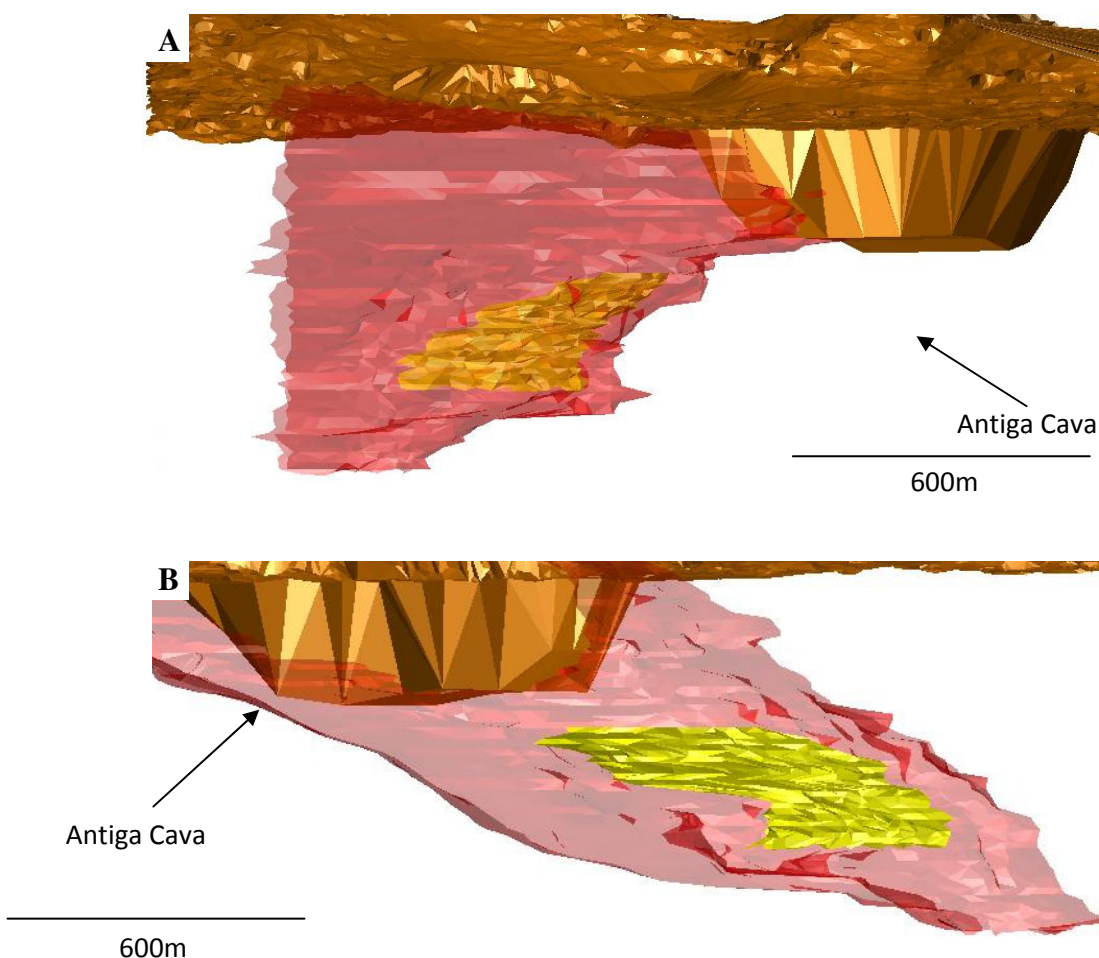


Figura 4.3 - Distribuição do metarenito intraformacional na unidade 2. (A) Visada para N. (B) Visada para ENE.

Diversas dobras parasíticas de segunda ordem ocorrem associadas ao sinclinal de Serra Pelada. A análise tridimensional destas é essencial para o entendimento da geometria da estrutura de primeira ordem. As melhores exposições das dobras parasíticas do sinclinal de Serra Pelada são nos taludes feitos no metassiltito vermelho na época do garimpo. Estes possuem orientação NE, ou seja, aproximadamente paralelos ao eixo da dobra. Em consequência deste efeito de corte, a maioria destas dobras aparece como perfeitamente isoclinais e com um relativo espessamento apical. Observando-se alguns afloramentos, verifica-se que o padrão das dobras é apertado, mas com fechamento em arco, sem nenhum espessamento apical (Fig. 4.4A-D).



Figura 4.4 - Padrão das dobras parasíticas na região da cava de Serra Pelada. (A) Visão oblíqua ao eixo de dobramento, detalhe em (B). (C) Visão oblíqua ao eixo de dobramento. (D) Visão perpendicular ao eixo de dobramento.

## 4.2.1.2 - Sinclinal Elefante

O sinclinal Elefante ocorre na porção sul e sudeste da área mapeada. Possui orientação leste-oeste com mergulho dos flancos para sul ( $\sim 50-60^\circ$ ). É truncado por falha na sua porção norte, ficando em contato com o sinclinal de Serra Pelada. Assim como os flancos, os eixos das dobras parasíticas apresentam mergulho ( $30-45^\circ$ ) mais alto que no sinclinal de Serra Pelada (Fig. 4.5).

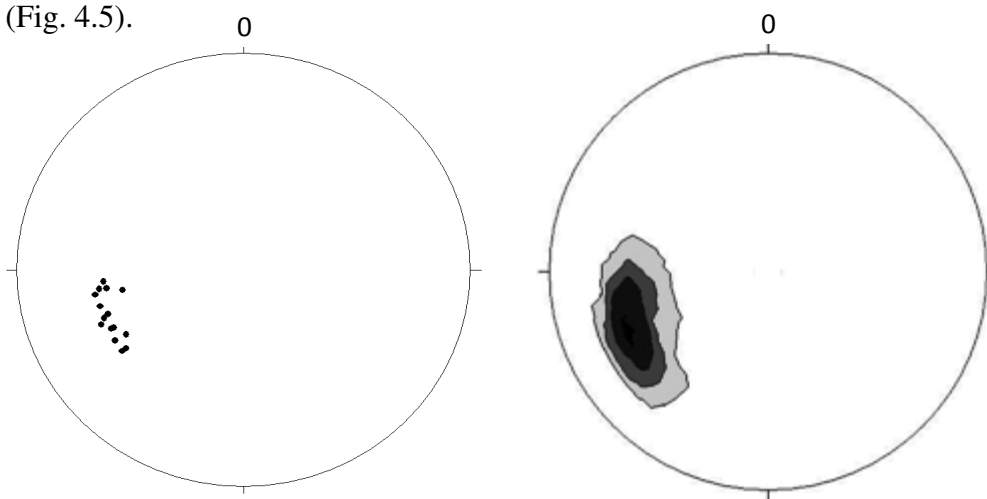


Figura 4.5 - Estereograma de pólos de eixos de dobras parasíticas para o sinclinal Elefante. Total 15 medidas. Max em 246/30. Contornos em 1, 10, 25 e 50%.

## 4.2.1.3 - Anticlinal Cedro

O anticlinal Cedro está distribuído ao longo de toda porção norte da área mapeada, com zona de charneira localizada na porção oeste da área. Este possui ambos os flancos com caimento para sul ( $40-50^\circ$ ) com flanco norte com mergulho mais alto. Os eixos das dobras parasíticas apresentam orientação semelhante ( $30-45^\circ$ ) às do sinclinal Elefante (Fig. 4.6).

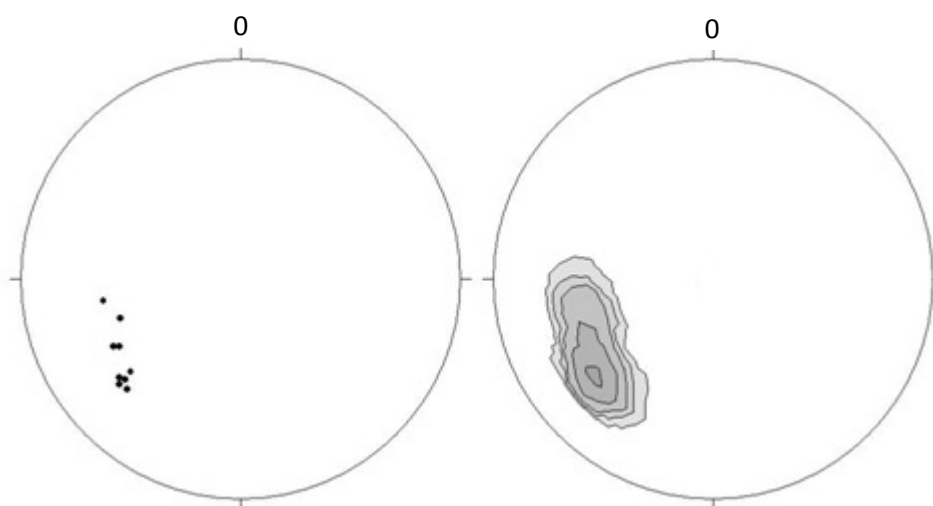


Figura 4.6 - Estereograma de pólos de eixos de dobras parasíticas para o anticlinal Cedro. Total 9 medidas. Max em 228/30. Contornos em 1,5, 10, 25 e 50%.

#### 4.2.2 - *Foliação Regional*

A foliação relacionada ao primeiro evento de deformação é definida pela orientação de filossilicatos nos metassiltitos vermelhos e carbonosos, sendo pouco penetrativa. Tem direção geral E-W, com mergulho variando ente 20-30 graus para S-SE (Fig.4.7).

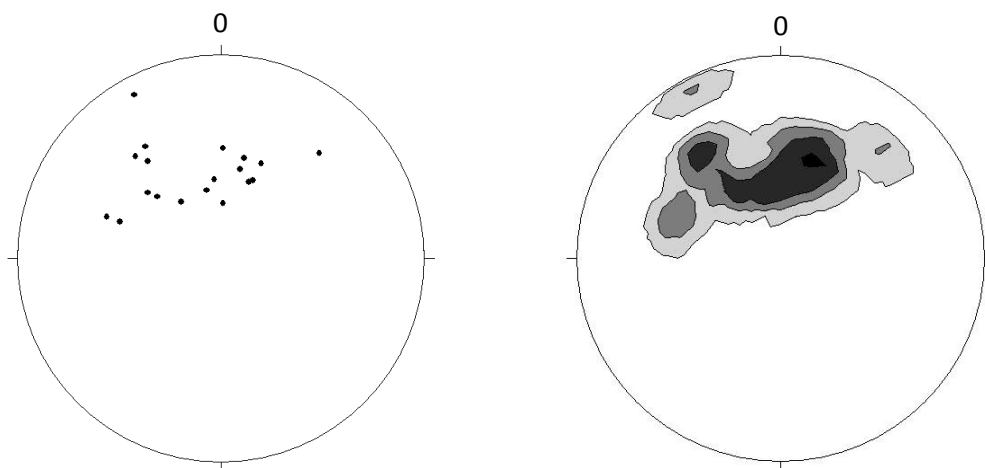


Figura 4.7 - Estereograma de pólos de foliação na região de Serra Pelada. Total 19 medidas. Máximo em 193/32. Contornos em 1,5, 10 e 25%.

#### 4.2.3 - *Falhas*

Três grandes discontinuidades cortam a área. Têm a mesma orientação da zona de Cisalhamento do Cinzento (plano-axial aos dobramentos), porém o mergulho das estruturas associadas é de baixo ângulo.

Podem ser identificadas em campo pelo truncamento de litologias (e.g Falha do Cutia), pela presença de veios ou disseminação de hematita/magnetita associada à mudança de ângulo do acamamento ou pelo rompimento de estruturas (Fig. 3.2).

A falha do Cutia (Grainger 2003) é definida pelo cavalgamento das rochas metavulcânicas do grupo Rio Novo sobre as rochas metassedimentares de Serra Pelada, na porção sul da área mapeada, sendo os metabasaltos foliados nas proximidades da zona de falha com foliação de mergulho ( $\sim 40^\circ$ ) para sul (Fig. 3.2).

Na porção central da área, o sinclinal de Serra Pelada é rompido por uma falha oblíqua de orientação W-E (Falha de Serra Pelada). É marcada por uma zona de brecha hospedada pelos metarenitos no flanco superior.

Na porção norte da área, os metassedimentos estão em contato com sericita-quartzo xistos, indiferenciados neste trabalho como arqueano indiviso. Os metassedimentos estão sobrepostos aos xistos adjacentes (Falha do Sereno), localmente com lineação oblíqua associada (Fig. 3.2).

Uma série de falhas de gravidade com movimento oblíquo de orientação ENE, NNW e N-S ocorrem deslocando o sinclinal de Serra Pelada em diversos pontos. Estas podem apresentar deslocamentos na escala do depósito (50m) ou de pequena escala (<5m).

Uma falha de orientação ENE-WSW, com mergulho alto para SSW (~70-80°). Esta falha intercepta a porção SE do Sinclinal de Serra Pelada, com rejeito em torno de 20m.

A outra descontinuidade orientação NW-SE, com mergulho para SW e rejeito de aproximadamente 50m, interceptando o sinclinal na sua porção central (Fig. 4.11).

Ambas as zonas de falha ocorrem associadas com brechas que ocorrem hospedadas por todas as zonas de alteração hidrotermal.

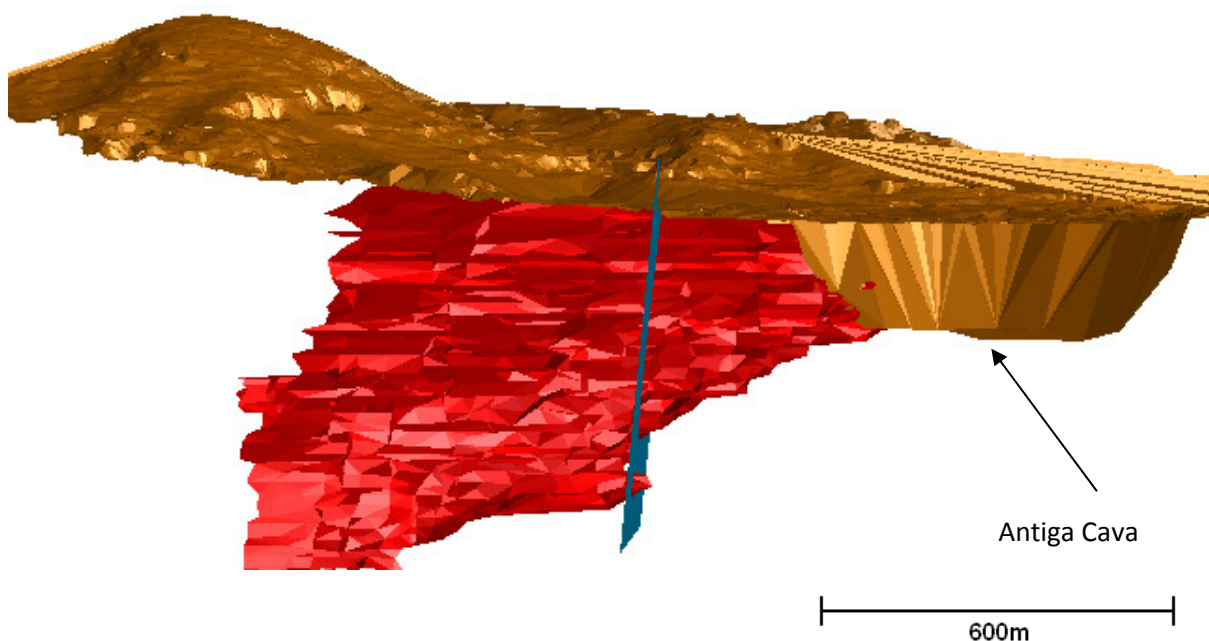


Figura 4.8 - Modelo tridimensional do sinclinal de Serra Pelada e a principal falha (NW) normal associada. Visada para NNW.

### 4.3 - Principais Estruturas do Evento $D_2$

#### 4.3.1 - Dobras

Apenas dobras de escala decimétrica ocorrem associadas a este evento. São dobras apertadas de plano axial subvertical de orientação N-S e eixo com caimento subhorizontal também N-S. São observadas frequentemente nos metassiltitos na porção norte da área. Localmente pode se observar os dobramentos  $D_1$  e  $D_2$  no mesmo afloramento, mas devido as diferentes amplitudes não ocorrem estruturas de interferência associadas (Fig. 4.9).



Figura 4.9 - (A) Dobras  $D_1$  (maior amplitude, plano axial baixo ângulo) e  $D_2$  associadas (menor amplitude, plano axial de alto ângulo). (B) Detalhe em dobra  $D_2$  e clivagem plano axial associada. (C, D) Dobras parasíticas associadas ao evento  $D_2$ .

#### 4.3.2 - Clivagem de Crenulação

Principalmente nas proximidades da cava de Serra Pelada pode-se observar uma fraca clivagem com orientação paralela ao plano axial das dobras  $D_2$  (Fig. 4.9 B). Essa foliação subvertical também pode ser observada em alguns furos de sondagem na região do depósito, frequentemente crenulando a foliação  $F_1$ .

#### 4.3.3 - Lineamentos Fotointerpretados e falhas normais

Uma série de lineamentos regionais pode ser observada em imagens de satélite. Estes têm traço retilíneo e orientação N-S, E NNW-SSE. Estes são representados em campo por uma clivagem espaçada, melhor desenvolvida nos metassiltitos (Fig. 4.10).

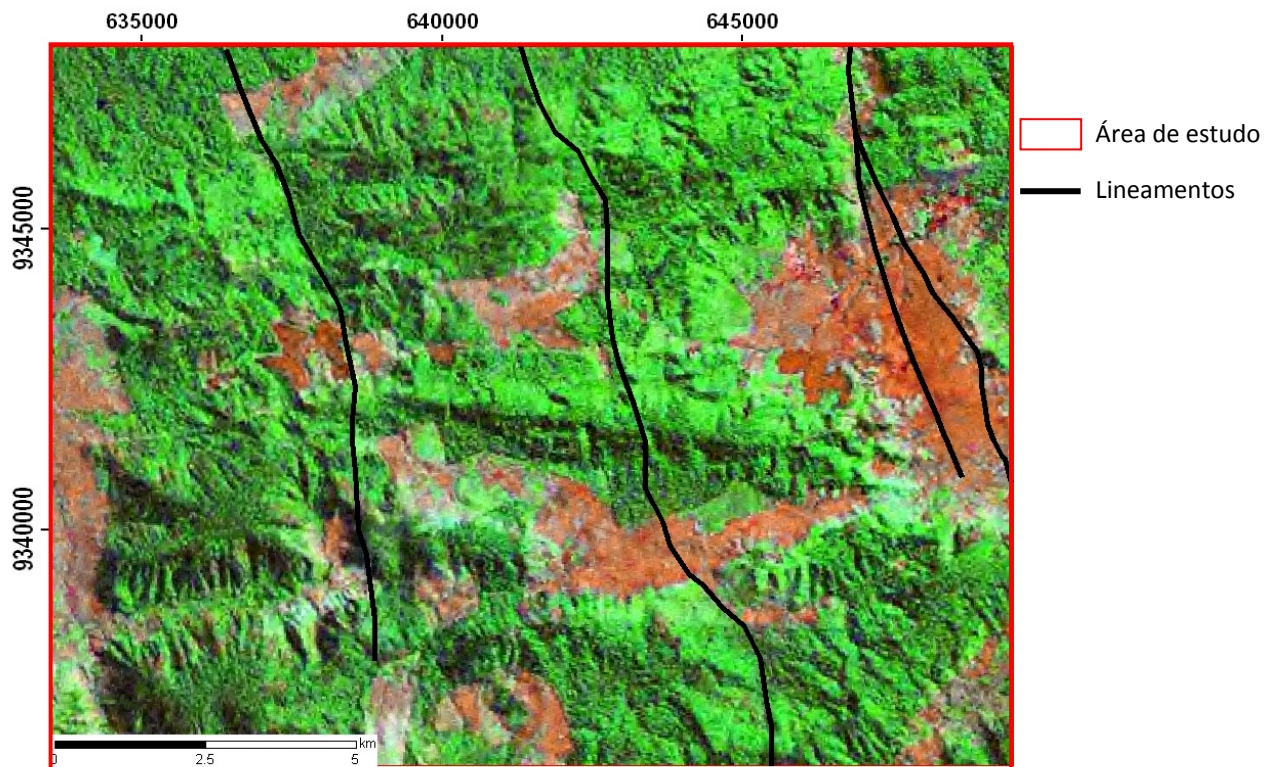


Figura 4.10 - Imagem de satélite LANDSAT e lineamentos associados na área de estudo.

## 5.0 - ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL DO DEPÓSITO DE AU-PGE DE SERRA PELADA

### 5.1 - Síntese

O depósito de Au-PGE de Serra Pelada é hospedado por rochas metassedimentares hidrotermalmente alteradas no contato entre metassiltitos da unidade 2 e os metarenitos dolomíticos unidade 1. A principal zona mineralizada possui entre 60 e 40 metros de largura e 120-100 metros de altura, se estendendo ao longo da charneira do sinclinal por cerca de 600m com caimento suave (15-20°) pra SW até onde se conhece pelos trabalhos de sondagem (extensão não considera a porção lavrada). A mesma ocorre substituindo tanto os metassiltitos vermelhos quanto os metassiltitos cinzas.

Três diferentes tipos de alteração hidrotermal com zoneamento bem definido em sub-superfície estão relacionados a essa porção mineralizada, sendo a zona do carbono a mais importante em volume e concentração de Au.

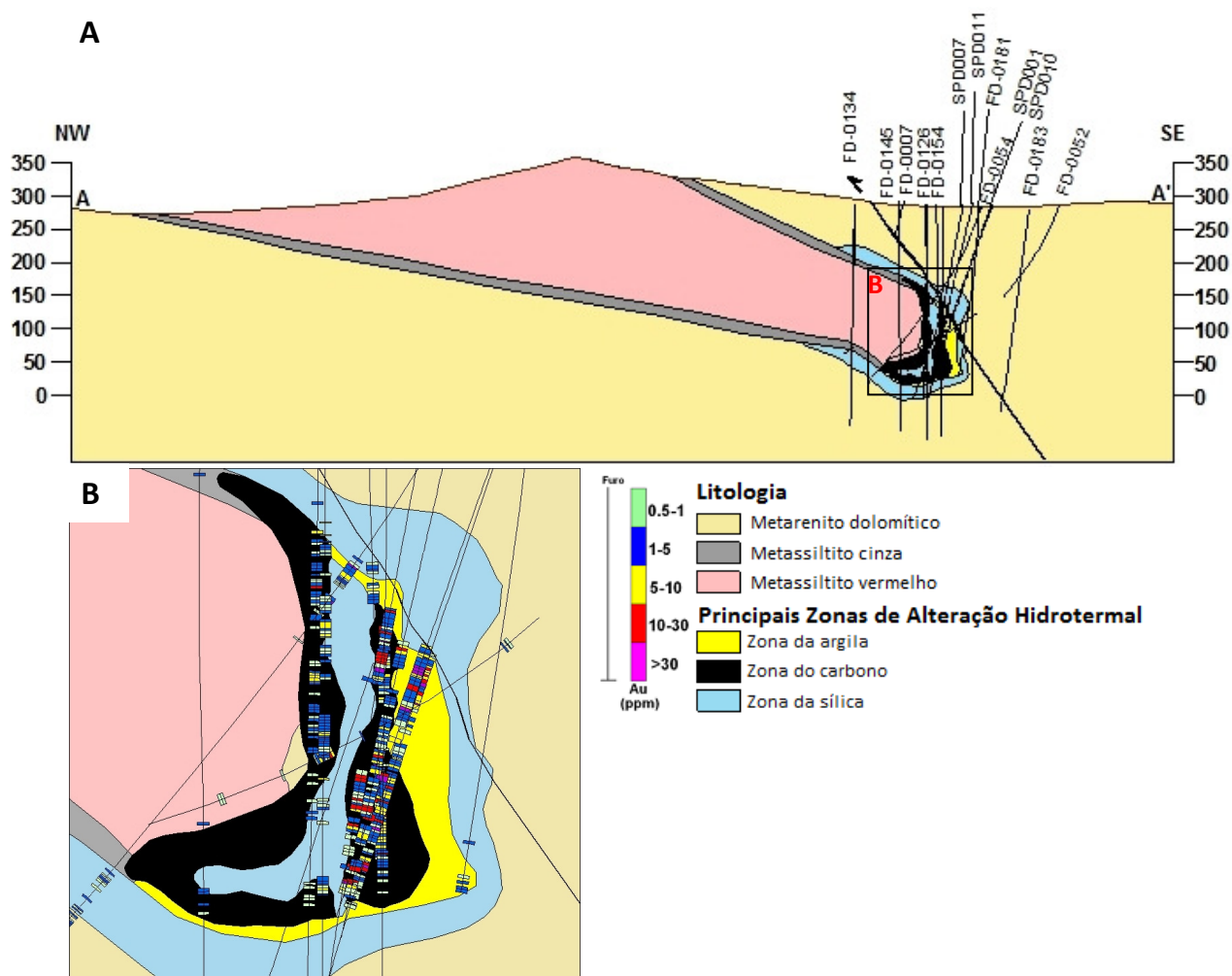


Figura 5.1 - (A) Seção geológica (100NE) mostrando a distribuição do zoneamento da alteração hidrotermal e distribuição dos teores de Au, detalhe em (B). Escala vertical=escala horizontal.

## 5.2 - Zona do Carbono

Está localizada na porção central da charneira do Sinclinal de Serra Pelada, com pequena distribuição nos flancos. É caracterizada pelo visível enriquecimento em carbono dos metassiltitos ( $>10\% C_{total}$ ), sendo popularmente conhecida na comunidade garimpeira como “Burro Preto”. Esta zona de alteração constitui a principal porção mineralizada no depósito.

Estas rochas têm sido descritas na literatura como metassiltitos carbonosos, implicando a origem sedimentar de todo carbono contido nestas rochas. A observação detalhada desta “litologia” revela importantes aspectos texturais, geoquímicos e mineralógicos relacionados nos próximos itens deste capítulo (Fig. 5.2A-F).

Essa zona de alteração hidrotermal pode ser dividida em três fases de alteração baseadas na sua textura e composição em: *estruturada (ZCE)*, *não-estruturada (ZCN)* e *zonas de brecha*.

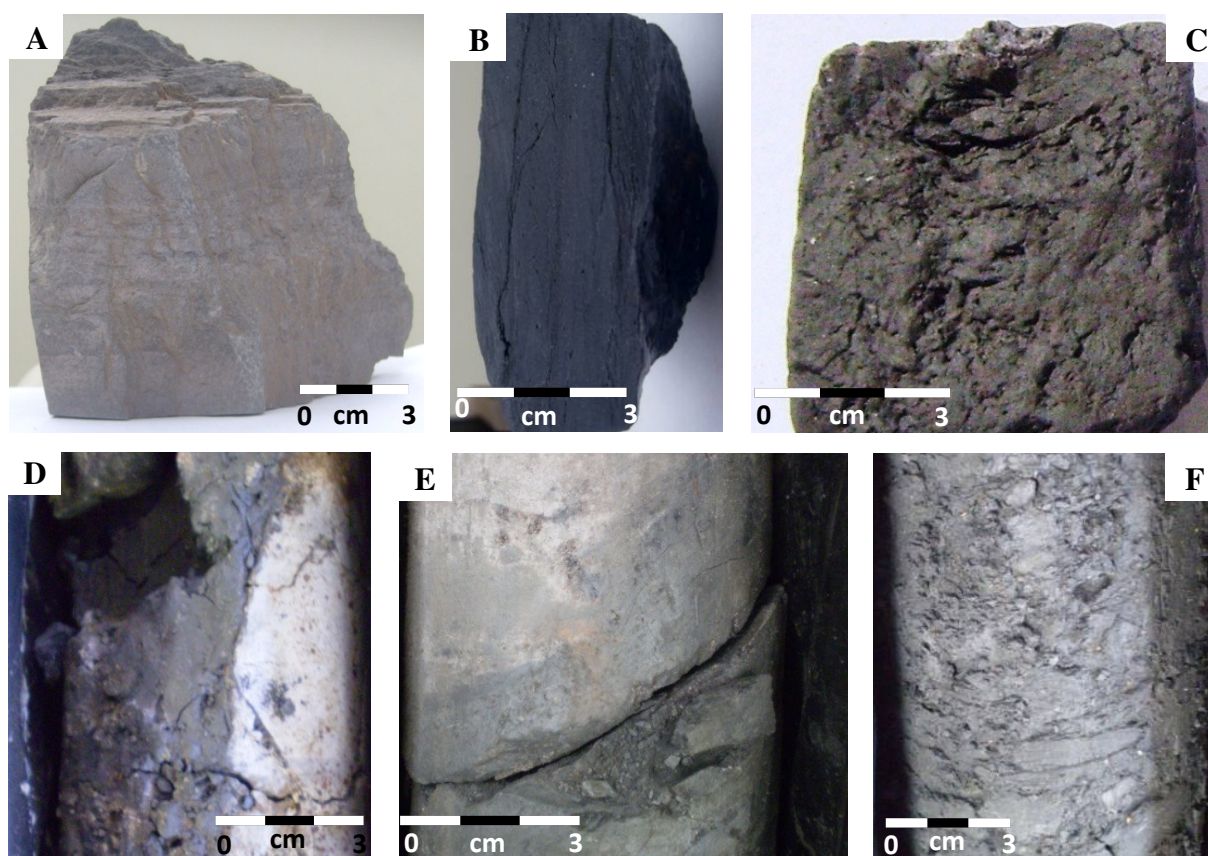


Figura 5.2 - Principais variações da zona do carbono. (A) Metassiltito cinza não alterado. (B) Metassiltito da zona do carbono estruturada. (C) Metassiltito da zona do carbono não estruturada. (D) Zona do carbono não estruturada em contato com zona de silicificação interna. (E) Contato irregular da zona de alteração carbonosa em relação ao acamamento (paralelo ao plano de fratura). (F) Brecha carbonosa.

### 5.2.1 - Caracterização Petrográfica e Textural

#### Zona do Carbono Estruturada

A ZCE é caracterizada pela intensa cor negra e preservação do bandamento composicional e foliação. Zonas caulinizadas (alteração argílica) podem ocorrer associadas substituindo o bandamento composicional ou de forma disseminada. (Fig. 5.3A e B).

A rocha tem textura lepidoblástica definida por bandas de filossilicatos, carbonosas e quartzosas. Localmente ocorrem microdobras de plano axial subvertical e com clivagem de crenulação associada (Fig. 5.3C, 5.4A e B).

A mineralogia principal é composta por muscovita/sericita (40-60%), quartzo (30-40%) e matéria carbonosa (4-10%), além de hematita, monazita e caulinita como acessórios (>1%).

A muscovita-sericita tem granulação muito fina (0,2 a 0,05 mm) ocorrendo em agregados de cristais subédricos alongados formando uma matriz lamelar paralela ao acamamento sedimentar. Este mineral está geralmente associado aos níveis carbonosos e com menos frequência aos níveis quartzosos.

A caulinita ocorre em cristais euédricos fibrosos, formando agregados com cristais de sericita-muscovita e quartzo ou em veios (Fig. 5.4C e D). Localmente ocorre sericita-muscovita inclusa na caulinita.

O quartzo ocorre em grãos anédricos, variando entre 0,1-0,8 mm, distribuídos em agregados alongados entre os níveis carbonosos e os níveis ricos em filossilicatos.

A matéria carbonosa ocorre em finas lamina orientadas paralelas ao acamamento ou orientadas segundo a crenulação. Cristais de monazita (Fig. 5.4E e F) ocorrem disseminados em meio à massa de quartzo e filossilicatos, localmente envoltos por matéria carbonosa. Hematita ocorre em cristais subédricos normalmente em meio à matéria carbonosa.

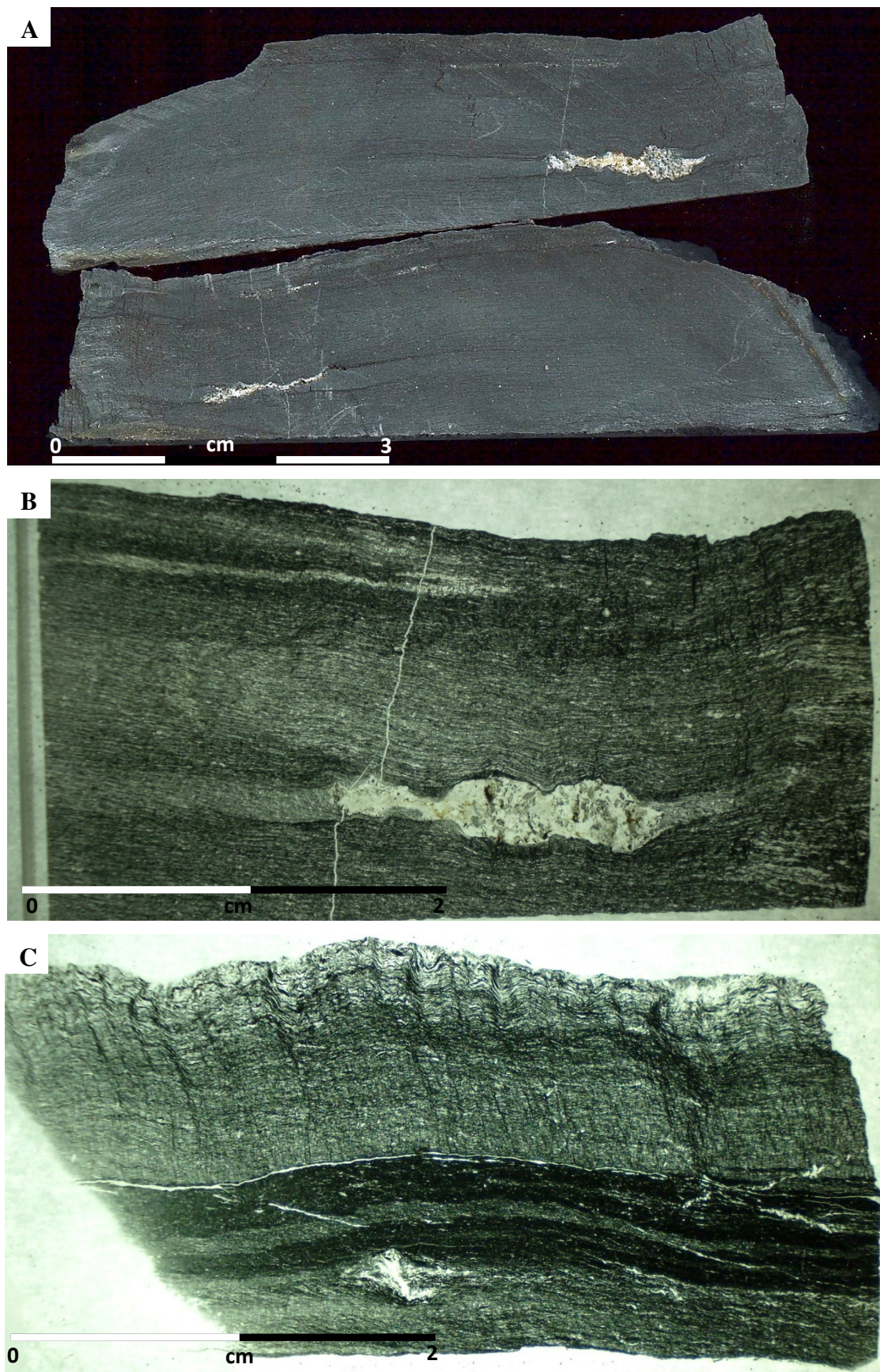


Figura 5.3 - Aspectos macroscópicos da ZCE. (A) Amostra de mão do metassiltito carbonoso da ZCE. Laminação fina ainda preservada. (B) Detalhe em veio de quartzo-caulinita paralelo ao So. (C) Detalhe no bandamento composicional e clivagem de crenulação  $F_2$ .

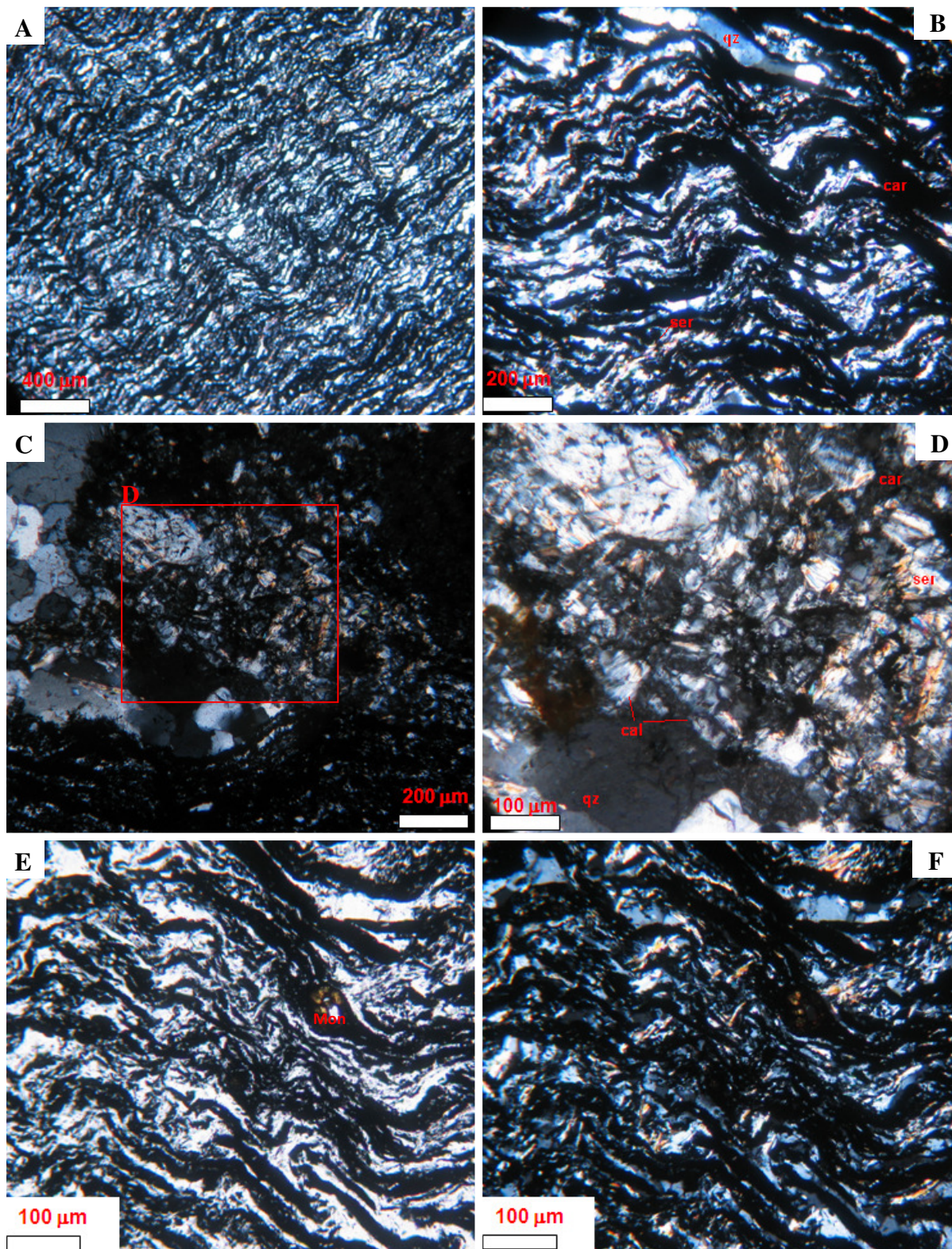


Figura 5.4 - Fotomicrografias (Luz transmitida (LT)) da ZCE. (A) Textura lepidoblástica, detalhe em (B), nicóis cruzados (NC). (C) Veio de quartzo-caulinita-sericita, detalhe em (D). (E) Cristal de monazita envolto por foliação (F<sub>2</sub>), nicóis paralelos (NL), (F) nicóis cruzados (NC).

*ser*: sericita; *qz*: quartzo, *cal*: caulinita; *car*: matéria carbonosa; *mon*: monazita.

### Zona do Carbono não Estruturada

A ZCN é definida pelo aumento da porosidade e obliteração progressiva da trama original da rocha, causada pela redução na concentração de SiO<sub>2</sub> e aumento de caulinita. Os maiores teores de Au-PGE registrados em sub-superfície no depósito estão associados a esta zona de alteração (Fig. 5.5A-C).

A rocha apresenta trama irregular, definida por agregados de caulinita, quartzo e muscovita-sericita envoltos por uma matriz carbonosa. Localmente a matéria carbonosa pode ainda preservar sua estrutura primária formando bandas carbonosas intercaladas com caulinita, quartzo e muscovita-sericita. Nos estágios mais avançados da alteração, a caulinita ocorre em forma de vênulas ou bolsões irregulares, obliterando a estrutura primária (Fig. 5.6C-D).

A mineralogia principal é composta por caulinita (20-60%), quartzo (20-30%), muscovita-sericita (5-20%) e matéria carbonosa (4-10%). Minerais acessórios são principalmente hematita, zircão, fosfatos ricos em ETR e/ou Bi (monazita e possivelmente waylandita), óxido de titânio (rutilo), barita, selenetos de chumbo e galena (<1%). Calcopirita, além de sulfetos de cobalto, níquel e molibdênio foram observados em análises de concentrados (Colossus 2009<sup>2</sup>).

A caulinita é o filossilicato predominante. Ocorre como cristais de granulação fina a grossa (>0.1 mm) euédricos, alongados, fibrosos ou fibro-radiais apresentando extinção paralela (Fig. 5.6E e F). Em geral formam agregados descontínuos, localmente paralelos ao acamamento definido pelos níveis carbonosos e quartzosos do metassiltito carbonoso, quando sua estrutura ainda está preservada. O quartzo ocorre em grãos anédricos, variando entre 0,1-0,8mm distribuídos em agregados alongados entre os níveis carbonosos, ou em meio às massas caulíníficas.

Localmente ocorrem cristais de quartzo com hábito romboédrico, prováveis pseudomorfos de algum carbonato (Fig. 5.6A). A matéria carbonosa ocorre em finas laminações orientadas irregulares envolvendo os bolsões de quartzo-caulinita, ou paralela a estruturação primária quando ainda preservada. A muscovita-sericita ocorre normalmente em meio aos agregados de caulinita, frequentemente também como inclusões paralelas às fibras de caulinita, sugerindo uma relação de substituição (Fig. 5.6B).

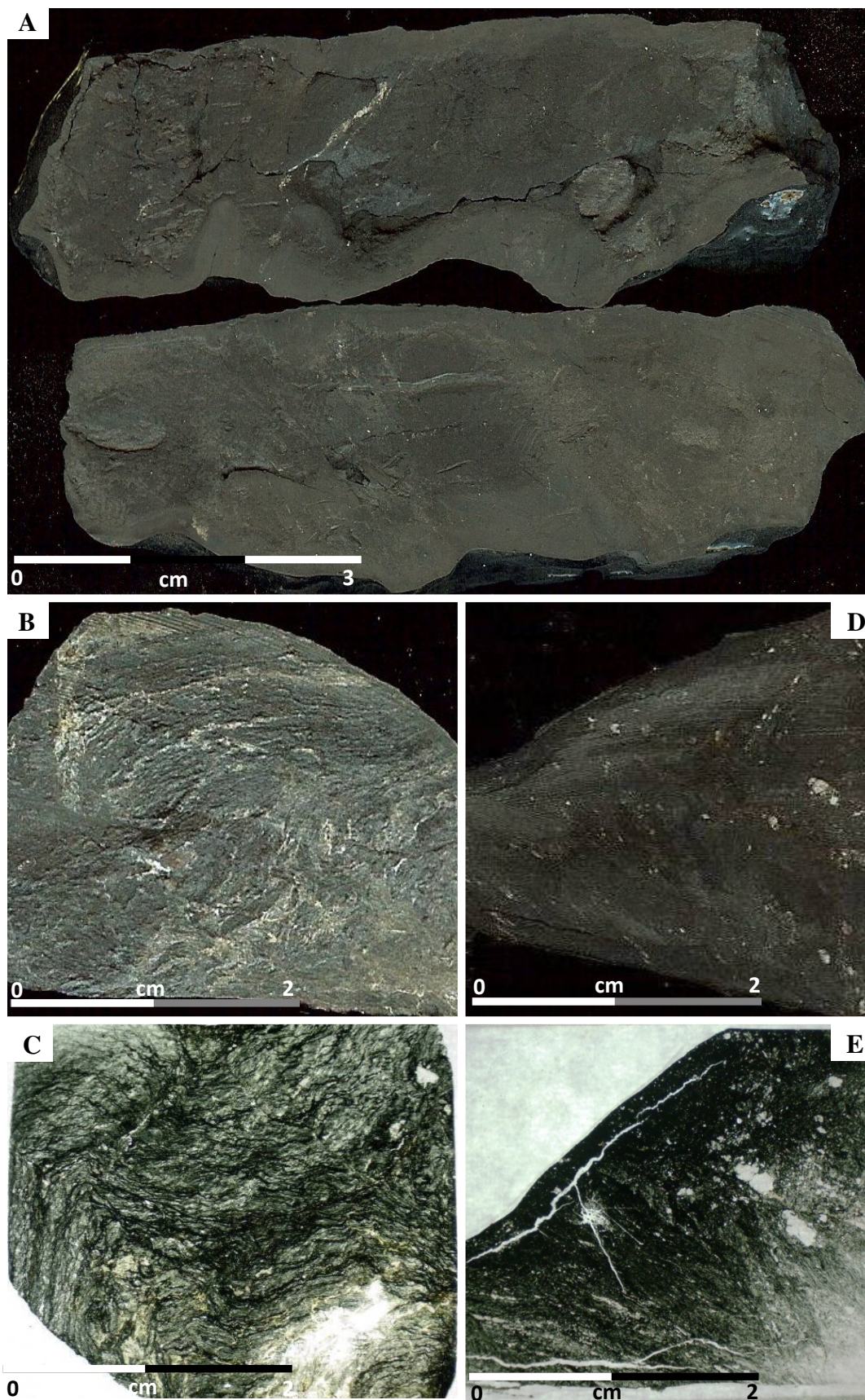


Figura 5.5 - Aspectos macroscópicos da ZCN. (A) Trama obliterada e aspecto maciço da zona do carbono não estruturada. (B, C) Estágio inicial da alteração (ainda com resquícios do bandamento). (D, E) Estágio avançado, estrutura primária obliterada e textura brechada, com agregados isolados de caulinita.

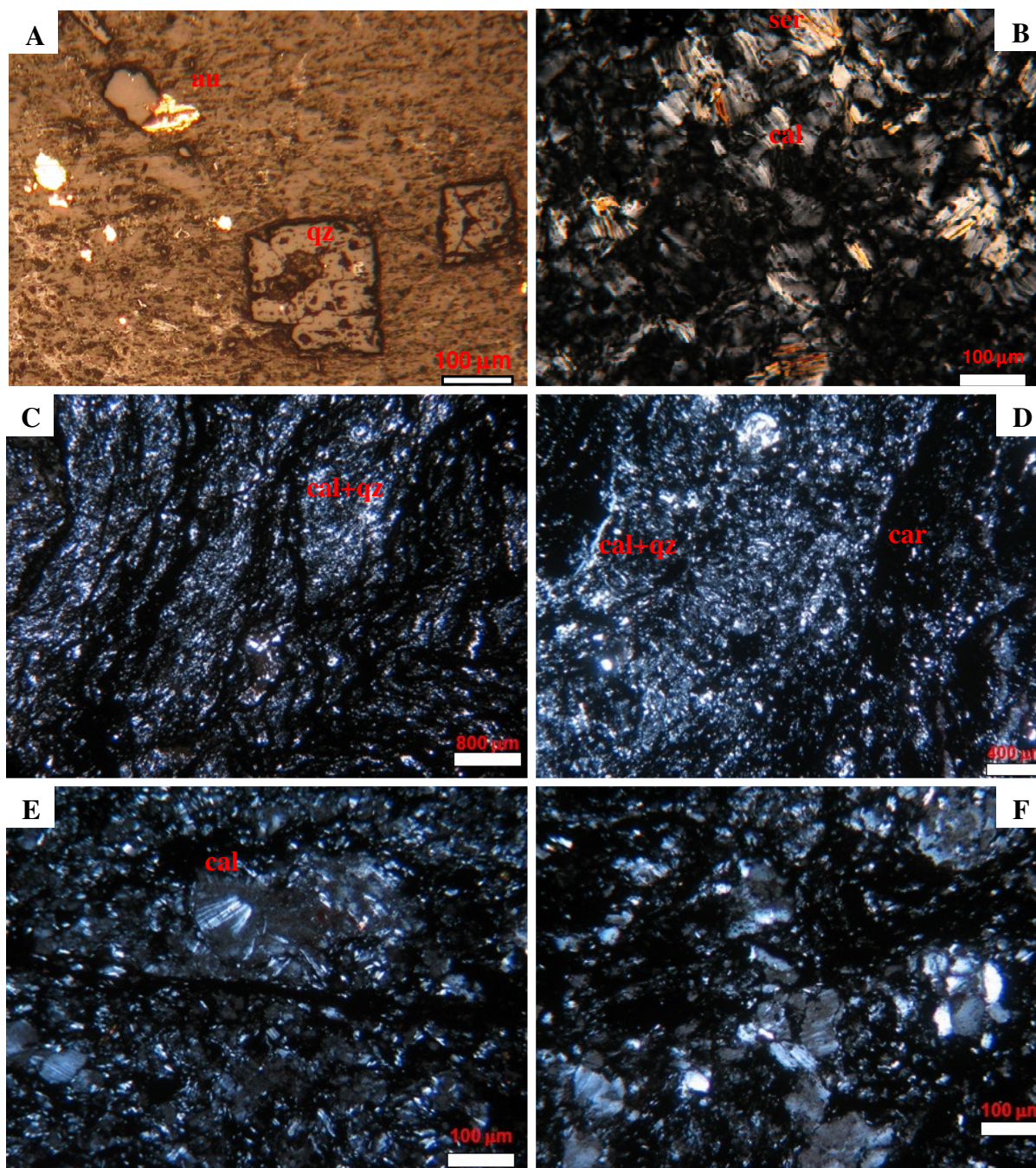


Figura 5.6 - Fotomicrografias da zona não estruturada (LT, NC). (A) Cristais de quartzo com hábito romboédrico associado ao Au (LR, ND). (B) Crescimento inter-fibra de sericita-muscovita e caulinita. (C) Textura bandada preservada com bolsões de quartzo-caulinita irregulares. (D) Detalhe na substituição paralela ao bandamento composicional. (E, F) Cristais fibro-radiais de granulação grossa de caulinita.

*ser*: sericita; *qz*: quartzo; *cal*: caulinita; *car*: matéria carbonosa; *mon*: monazita; *au*: ouro

### Zonas de Brecha

Zonas de brecha ocorrem comumente associadas às ZCE e ZCN tanto em escala macro quanto microscópica. As brechas podem ser divididas em brechas monomíticas e polimíticas.

As brechas monomíticas (Fig. 5.7A) geralmente ocorrem associadas à ZCE, onde fragmentos desta são envolvidos por uma matriz essencialmente carbonosa, com concentrações de sílica menores do que nos fragmentos. (Fig. 5.7B, D). Estes são compostos essencialmente por rochas da ZCE, sendo angulosos a subarredondados variando entre 1 a 5 cm.

As brechas polimíticas (Fig. 5.7C) estão associadas às ZCN, onde os fragmentos são compostos por rochas da encaixante (ZCN) envoltos por uma matriz rica em caulinita, sericita/muscovita e matéria carbonosa. (Fig. 5.7E). Em geral ocorrem em escala microscópica ou em menor escala que as brechas monomíticas com fragmentos angulosos menores que 0,5 cm.

Ambas as zonas de brecha ocorrem como corpos subverticais, descontínuos em relação ao acamamento sedimentar, associados à dissolução dos metassiltitos em zonas estruturalmente controladas provavelmente relacionadas às zonas de falha de orientação NNE.

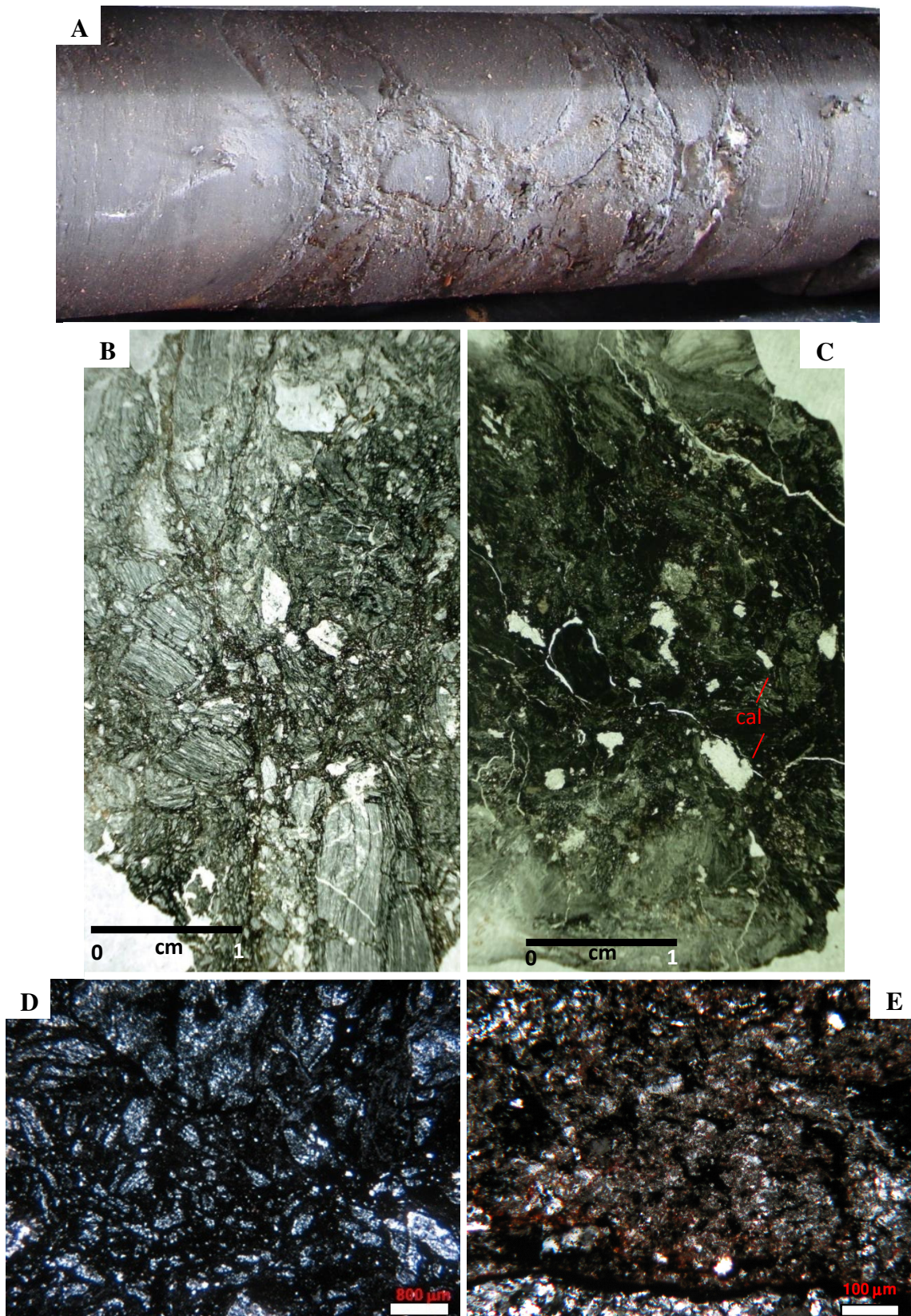


Figura 5.7 - Aspectos texturais das brechas carbonosas. (A) Brecha monomítica com fragmentos de metassilito alterado e matriz carbonosa - largura do testemunho 6,4cm. (B) Detalhe em brecha monomítica. (C) Brecha polimítica com fragmentos de metassilito e de agregados de quartzo-caulinita (cal). (D) Fotomicrografia (LT,NC) da brecha monomítica com matriz carbonosa. (E) Brechas polimíticas com matriz rica em caulinita (E).

### 5.2.2 - Mineralogia e composição do Au-Pt-Pd

A mineralização nesta zona de alteração está associada à caulinita, hematita e quartzo, além de fosfatos ricos em Bi, Al, Ca e ETR (possível waylandita - Fig. 5.10), galena, selenetos de chumbo, barita e rutilo (Fig. 5.11 e 5.12). Análises de concentrados de minerais pesados identificaram outros minerais de ganga como calcopirita, cobaltita, millerita (NiS), molibdenita e petlandita (Colossus, 2009<sup>2</sup>). Metais preciosos ocorrem em intercrescimento com waylandita, monazita, rutilo, selenetos de Cu e Ag, quartzo e goethita. (Fig. 5.13). As zonas de mais alto teor ocorrentes estão relacionadas às zonas do carbono não estruturada.

Três tipos de associações de Au-PGE foram identificados baseando-se na sua composição e morfologia:

*1 - Ligas ricas em Au* - É constituída por ouro de alta pureza com pequena contaminação de prata (Ag < 2% Tab. 5.1). Estas, formam geralmente cristais anédricos, de dimensões variadas (0,01 mm->1mm), normalmente crescidos em meio à matéria carbonosa, agregados de caulinita ou inclusos em cristais de quartzo (Fig. 5.8 e 5.9).

*2 - Ligas ricas em Pt*: São formadas essencialmente por platina (53-23%) e paládio (26-41%) associada com ouro (5-10%), cobre (3-10%), e ferro (1-4%). Pequenas contaminações de prata também ocorrem associadas (<1% - Tab. 5.1). Estas ligas estão presentes nas proximidades dos grãos de Au, sendo em geral de dimensões menores do que as observadas para os grãos de Au. A morfologia dos cristais é bem distinta, formando agregados aciculares intercrescidos em meio a fosfatos e outras ligas ricas em Au e Au-Pd (Fig. 5.8 e 5.9).

*3 - Ligas ricas em Pd*: A terceira liga observada é extremamente rica em paládio (>65%) e possui pequenas concentrações de platina (~1%), cobre (6-13%), ferro (1-7%) e bismuto (1-4%). Ocorrem em agregados de cristais irregulares associados a cristais de ouro disseminados em meio à matéria carbonosa e agregados de caulinita (Tab. 5.1- Fig. 5.9).

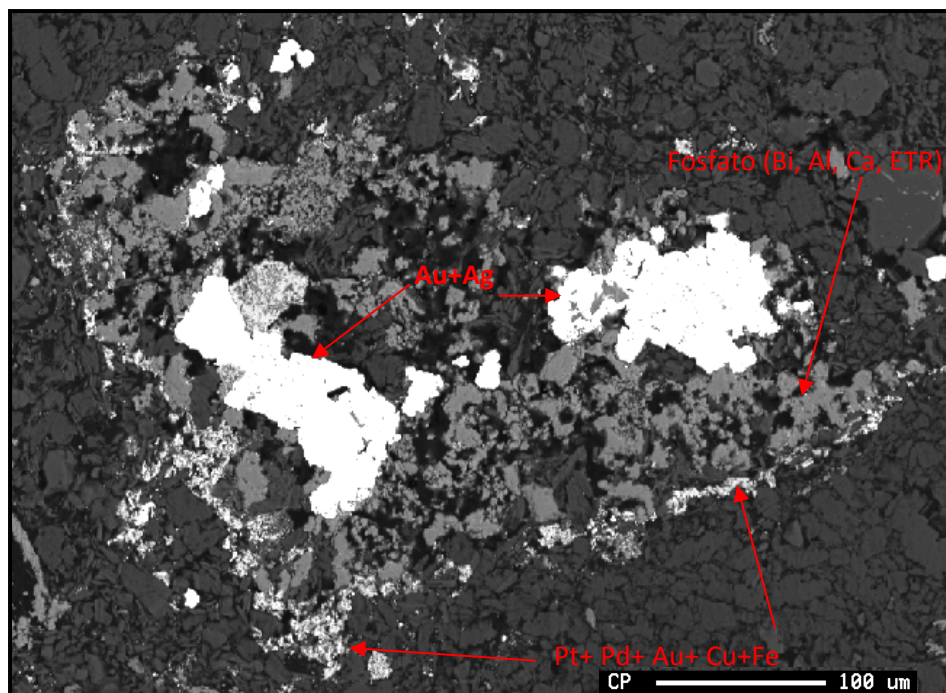


Figura 5.8 - Imagem de elétrons retro-espalhados (microsonda elettrônica). Associação de Au, liga de Pt-Pd-Au-Cu-Fe e fosfato (possível Waylandita).

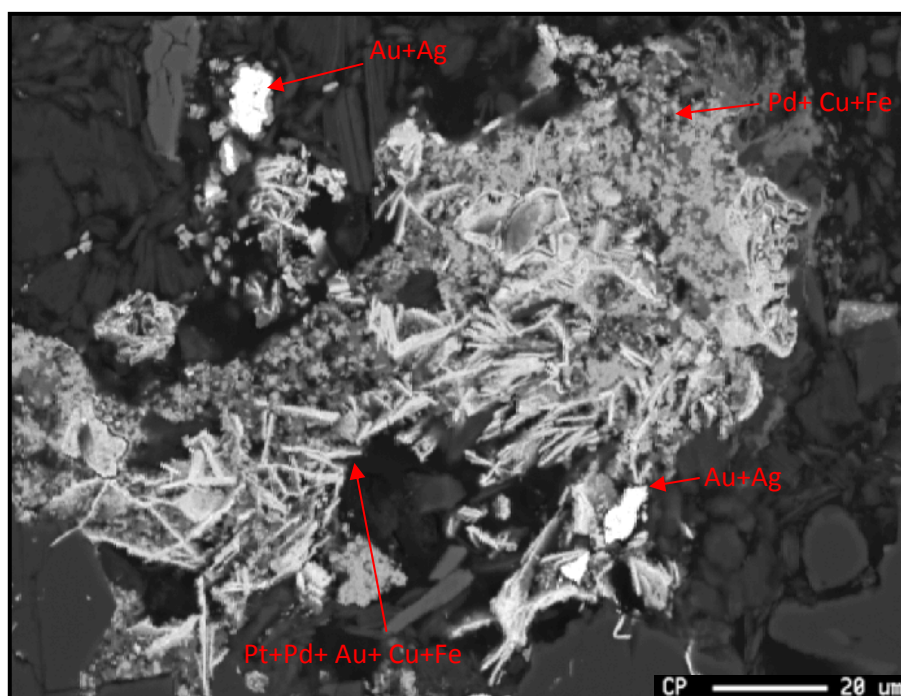


Figura 5.9 - Imagem de elétrons retro-espalhados (microsonda eletrônica). Diferenças morfológicas entre as ligas de Au-PGE.

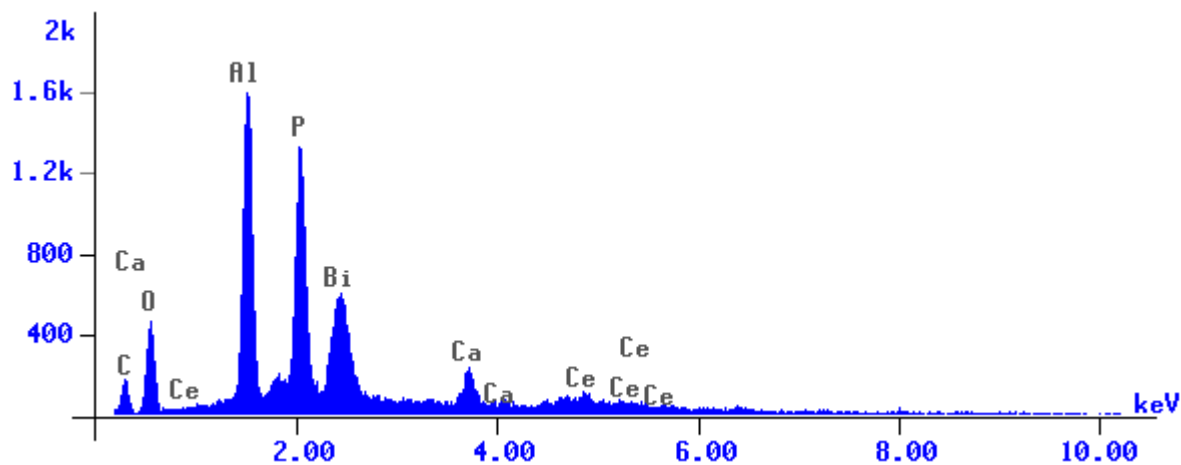


Figura 5.10 - Espectro composicional do fosfato associado às ligas de Au-PGE (possível Waylandita).

Tabela 5.1 - Composição das Ligas de Au-PGE (microsonda eletrônica)

Au-Ag								
No.	Au	Pt	Pd	Ag	Cu	Fe	Bi	Total
13	99.88	0.00	0.10	1.70	0.05	0.00	0.00	101.73
17	97.87	0.11	0.11	1.89	0.12	0.00	0.00	100.10
16	100.99	0.00	0.19	2.13	0.05	0.07	0.00	103.44
18	99.86	0.00	0.20	2.04	0.06	0.00	0.00	102.16
8	97.30	0.59	0.82	2.15	0.40	0.35	0.94	102.55
12	98.15	0.50	2.30	1.70	0.09	0.23	1.06	104.02
11	97.49	0.23	2.61	0.18	0.03	0.28	0.78	101.60
Pt-Pd-Au-Cu-Fe								
No.	Au	Pt	Pd	Ag	Cu	Fe	Bi	Total
7	9.78	52.69	26.57	0.56	3.73	1.80	0.25	95.38
23	8.31	42.66	33.43	0.56	3.93	0.75	0.00	89.65
22	6.93	39.60	33.73	0.32	5.56	3.62	0.00	89.76
9	8.12	37.26	38.30	0.37	5.89	2.04	0.20	92.18
21	6.88	37.97	32.99	0.34	5.37	2.82	0.00	86.37
10	5.67	33.33	28.23	0.11	5.54	4.46	0.19	77.53
20	4.82	24.86	41.09	0.36	9.96	2.22	0.00	83.32
15	5.50	23.58	33.89	0.08	8.90	3.97	0.00	75.92
Pd-Cu-Fe								
No.	Au	Pt	Pd	Ag	Cu	Fe	Bi	Total
24	0.29	1.14	61.42	0.00	8.40	7.62	4.50	83.36
14	0.14	0.87	63.02	0.00	13.23	2.61	1.34	81.21
6	0.16	1.39	64.71	0.00	9.99	3.35	0.98	80.58
19	0.33	1.40	66.29	0.00	6.21	0.36	1.88	76.48

\*Valores em % em peso.

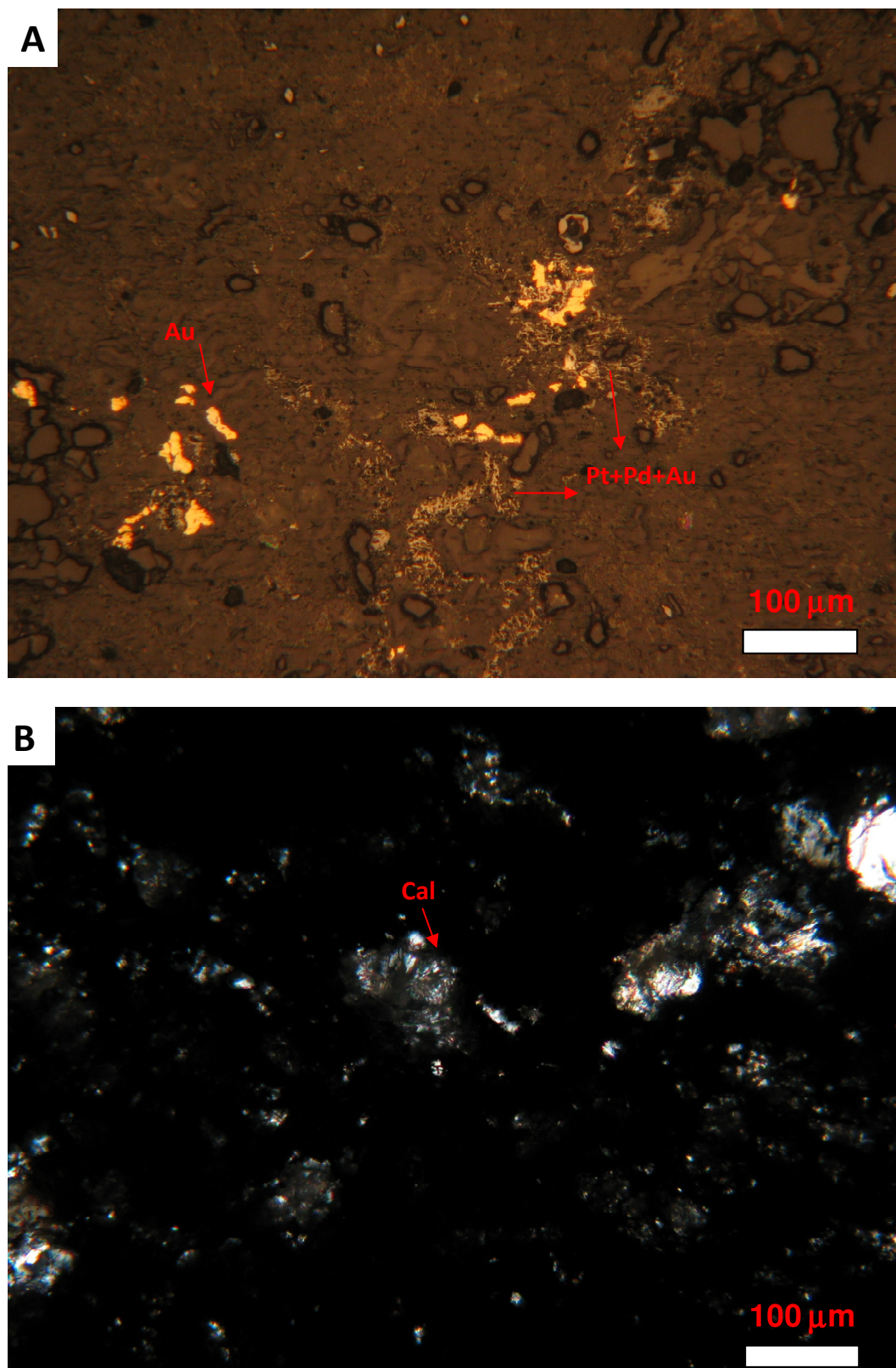


Figura 5.11 - (A) Fotomicrografia (luz refletida, nicóis paralelos) de cristais de Au associados a ligas ricas em Pt e Pd. (B) Fotomicrografia (luz polarizada, nicóis cruzados) mostrando associação caulinita (cal) e matéria carbonosa.

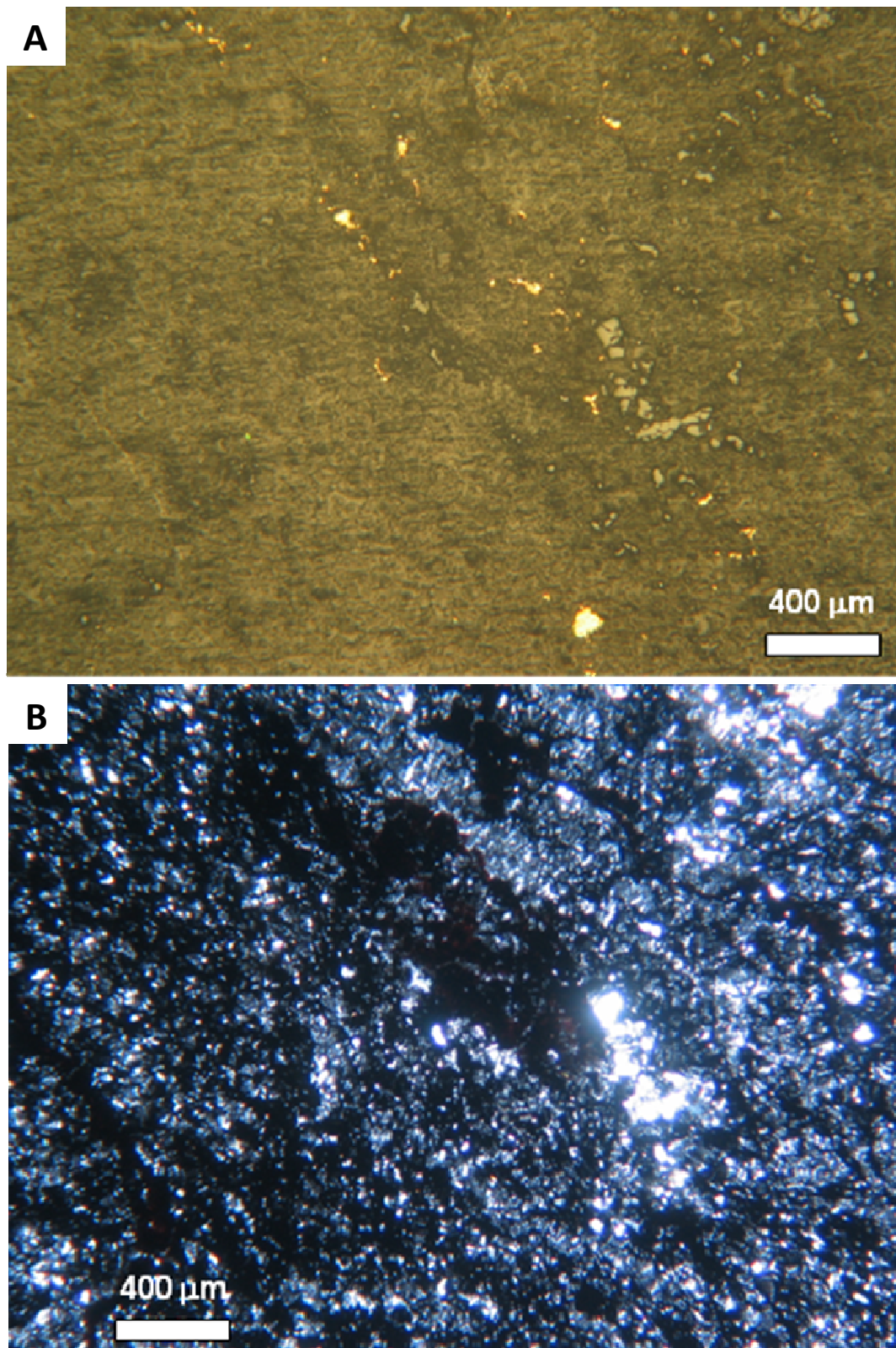


Figura 5.12 - Fotomicrografia mostrando a associação do Au com nível rico em matéria carbonosa. (A) Luz refletida, nicóis paralelos. (B) Luz polarizada, nicóis cruzados.

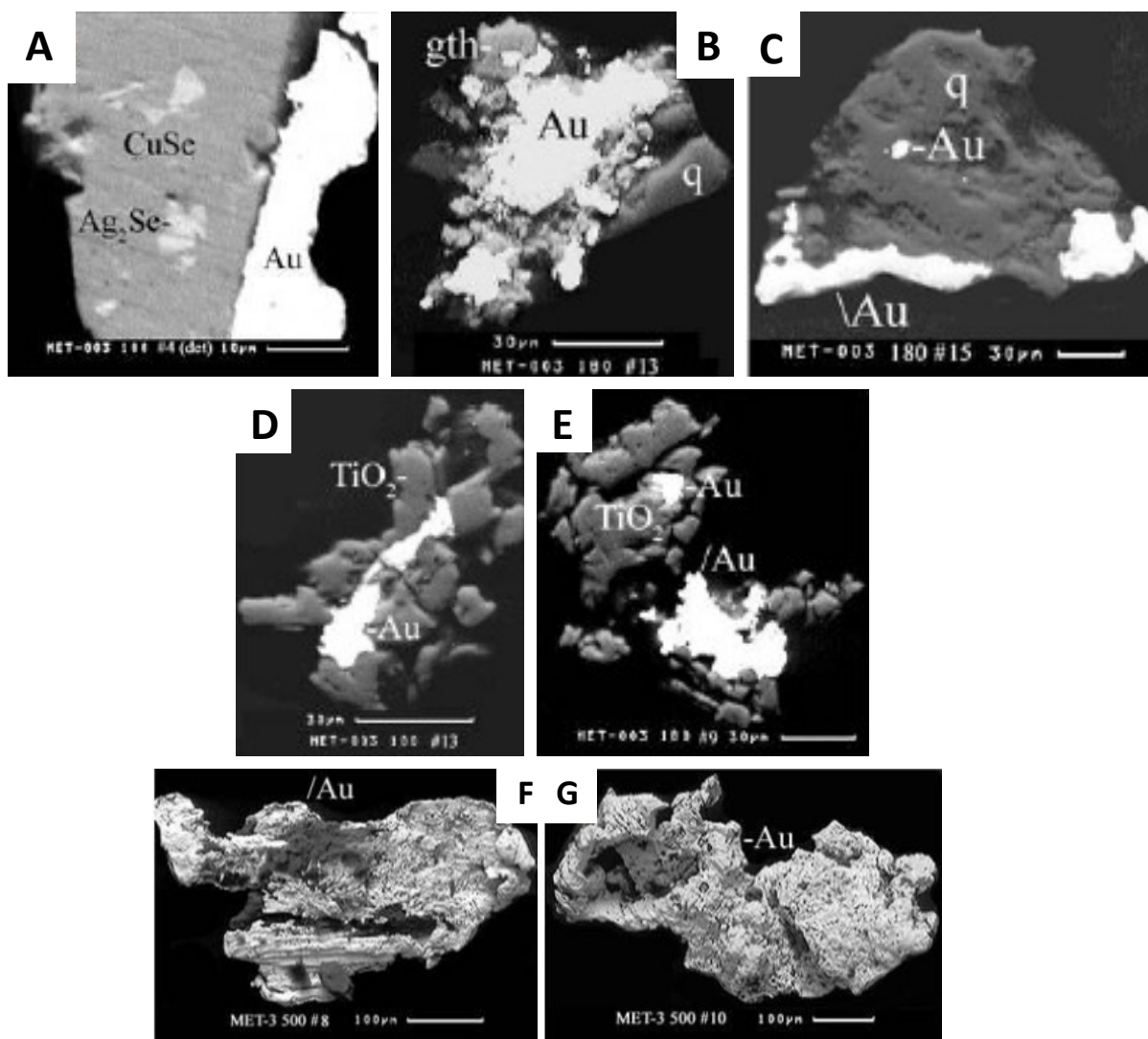


Figura 5.13 - Imagens de MEV de grãos de Au e principais minerais associados ao Au-PGE na Zona do Carbono. (Colossus 2009<sup>2</sup>). (A) Au com selenetos de cobre e prata. (B) Au associado com quartzo e goethita. (C) Au associado com quartzo. (D, E) Au associado com óxido de titânio (rutilo). (F, G) Grãos liberados de ouro.

### 5.3 - Zona da Argila

Ocorre na zona externa da charneira da dobra e, em menor proporção, associada às zonas de carbono e sílica, substituindo principalmente os metassiltitos. Tallarico *et al.* 2000 descrevem brevemente esta zona como essencialmente caulínica e com geometria semelhante à descrita acima. É a zona de alteração mais heterogênea do depósito, apresentando variações nas concentrações de caulinita, óxidos de ferro e clorita (Fig. 5.14A-E). Estas zonas ricas em argilominerais podem ser individualizadas em duas subzonas baseadas na sua composição.

1) A primeira é mais pobre em óxidos de ferro (<20% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), porém rica em caulinita e localmente clorita (Fig. 5.14B). Estudos mais detalhados ainda são necessários para definição de um zoneamento interno entre estas zonas de alteração. Esta subzona ocorre na porção externa da charneira, em contato com a zona do carbono ou localmente em seu interior, sendo essencialmente caulínicas (Fig. 5.14A e C).

2) Subzona rica em óxidos de ferro (<40% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e alumino-silicatos, conhecida entre os garimpeiros como “Sangue de Boi” (Fig. 5.14D), ocorre na porção externa da zona de charneira, entre a zona de argila rica em caulinita e o contato com os metarenitos dolomíticos. Localmente pode estar distribuída ao longo no flanco inferior da dobra.

Ambas as zonas ocorrem brechadas em escala macroscópica (com fragmentos centimétricos) e em escala microscópica, localmente com fragmentos de rocha carbonosa e estão associadas às zonas de falha de orientação NW e NNE.

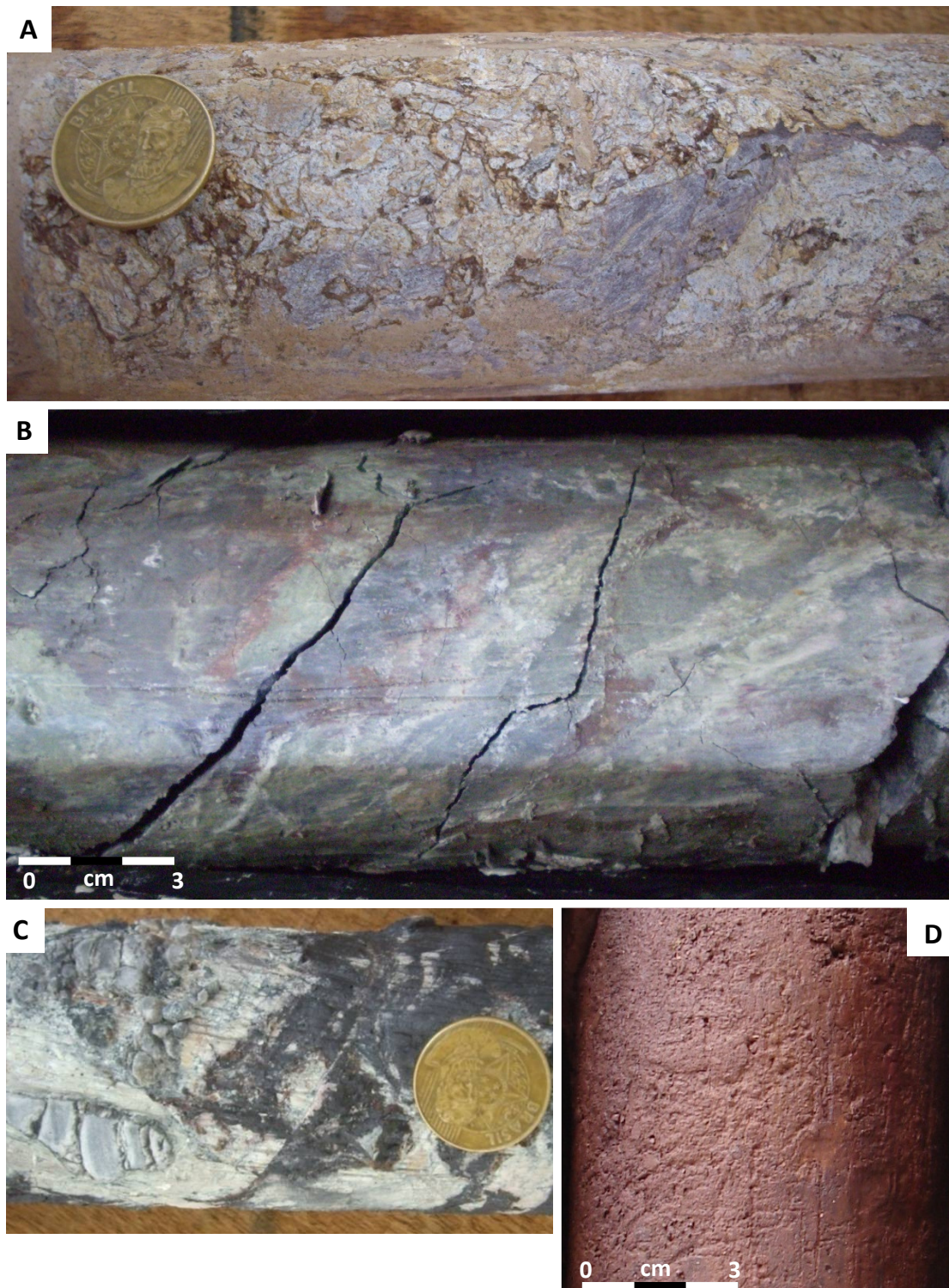


Figura 5.14 - Principais tipos de alteração da zona da argila. (A) Zona de brecha argílica, rica em caulinita. (B) Zona da argila com caulinita + clorita. (C) Zona da argila rica em caulinita substituindo zona do carbono. (D) Zona da argila rica em óxido de ferro.

### 5.3.1 - Caracterização Petrográfica e Textural

#### Zona da argila pobre em óxidos de ferro

Macroscopicamente pode ser definida pelo aumento de caulinita na rocha, de cor branca a avermelhada dependendo da quantidade de óxidos de ferro associados (<20 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - Fig. 5.15A-F). Nestas encontram-se também importantes porções mineralizadas no depósito.

A rocha tem textura caótica formada por agregados de quartzo e caulinita substituindo a trama original da rocha. Localmente ainda se pode observar bandamento composicional definido pela orientação da clorita e da muscovita-sericita com inclusões de goethita. Frequentemente apresenta estrutura brechada (Fig. 5.15C e D e 5.16E e F) com matriz composta por caulinita, sericita e goethita e brechas com fragmentos de metassilito carbonoso, quartzo, hematita.

A mineralogia principal é composta por caulinita (60-90%), óxidos e hidróxidos de ferro (hematita - goethita 1-30%) e quartzo (5-10%). Como acessórios ocorrem fosfatos (monazita-waylandita), selenetos de chumbo e prata, barita, rutilo e galena. Localmente pode apresentar matéria carbonosa, clorita e muscovita-sericita (1-5%).

A caulinita é o filossilicato predominante caracterizada por cristais fibrosos euédricos a subédricos, localmente fibro-radiais de granulação fina. Frequentemente observa-se alternâncias entre fibras de muscovita-sericita e caulinita. Localmente ocorrem finos agregados com muscovita-sericita, clorita e quartzo, ambos com inclusões de óxi-hidróxidos de ferro associados. Nas zonas com pequena ou nenhuma concentração de ferro os cristais de caulinita são grossos (>1 mm), com hábito fibro-radial (Fig. 5.16A e B)

A muscovita-sericita ocorre em cristais alongados anédricos a subédricos (<0,1mm). Podem ocorrer associados à clorita substituindo o acamamento sedimentar, preservando o aspecto bandado da rocha, ou então de maneira irregular juntamente com agregados irregulares de caulinita.

A clorita ocorre em cristais euédricos, alongados, associados à muscovita-sericita e caulinita. Localmente ocorrem cristais fibro-radiais. É distribuída em agregados de granulação fina, com inclusões de hematita e goethita (Fig. 5.16C e D).

O quartzo ocorre em cristais anédricos de granulação fina a média (<0,1 mm). Cristais de hematita ocorrem principalmente inclusos em cristais de quartzo ou em meio aos agregados de caulinita.

A hematita ocorre também em meio à massa de filossilicatos e também como inclusões no quartzo, muscovita-sericita e clorita. Formam cristais anédricos a euédricos, de hábito lamelar a especular. Goethita e limonita ocorrem como massas irregulares e cristais anédricos como alteração da hematita. Barita, selenetos de chumbo e prata, galena, rutilo e fosfatos (waylandita?) foram identificados através da espectrometria de refletância e microsonda eletrônica.

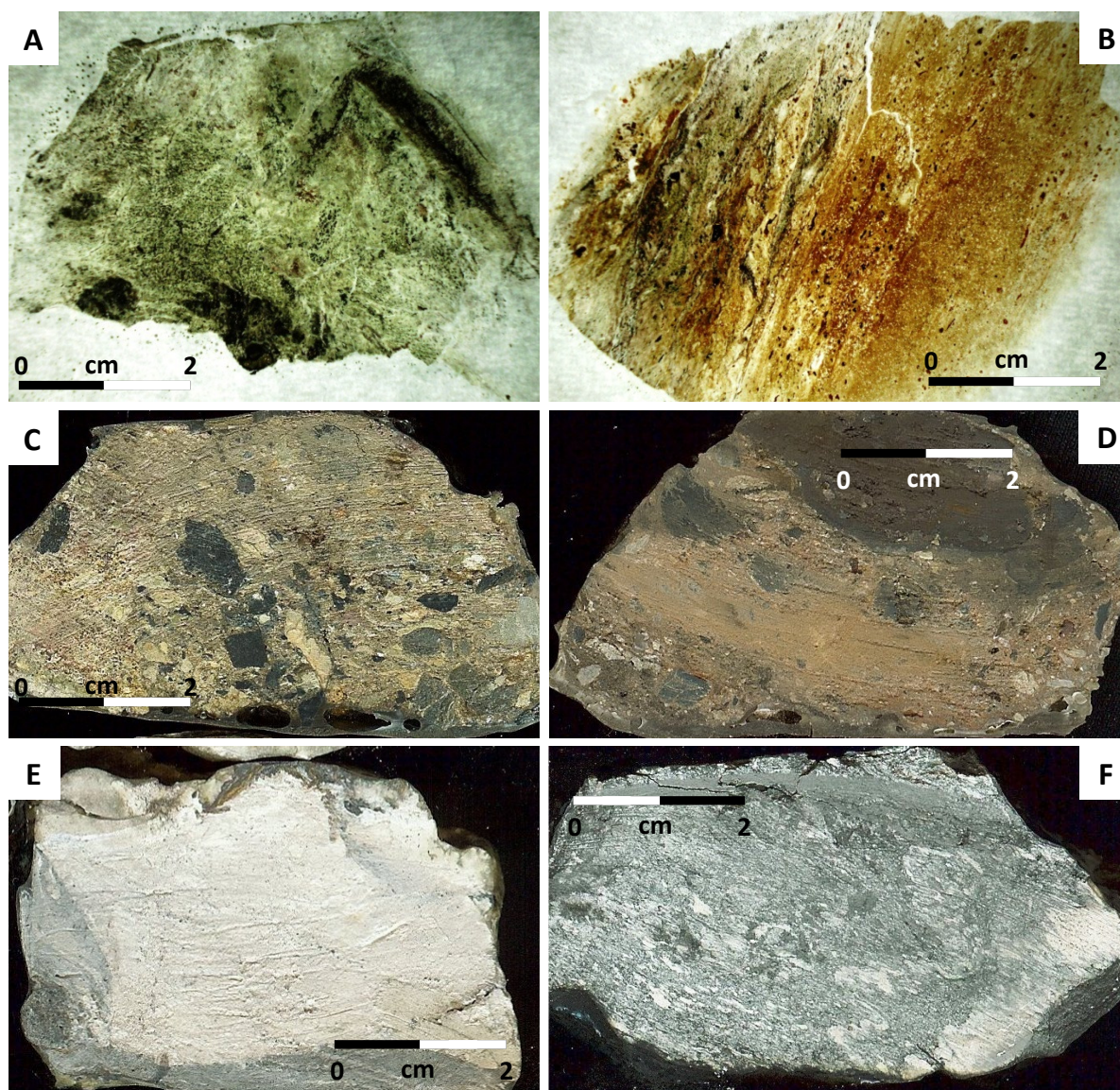


Figura 5.15 - Aspectos macroscópicos da zona da argila pobre em óxidos de ferro. (A) Alteração com associação de clorita. (B) Porção mais rica em óxidos de ferro com bandamento composicional preservado. (C, D) Zonas de brecha argílica. (E, F) Zonas de argila ricas em caulinita.

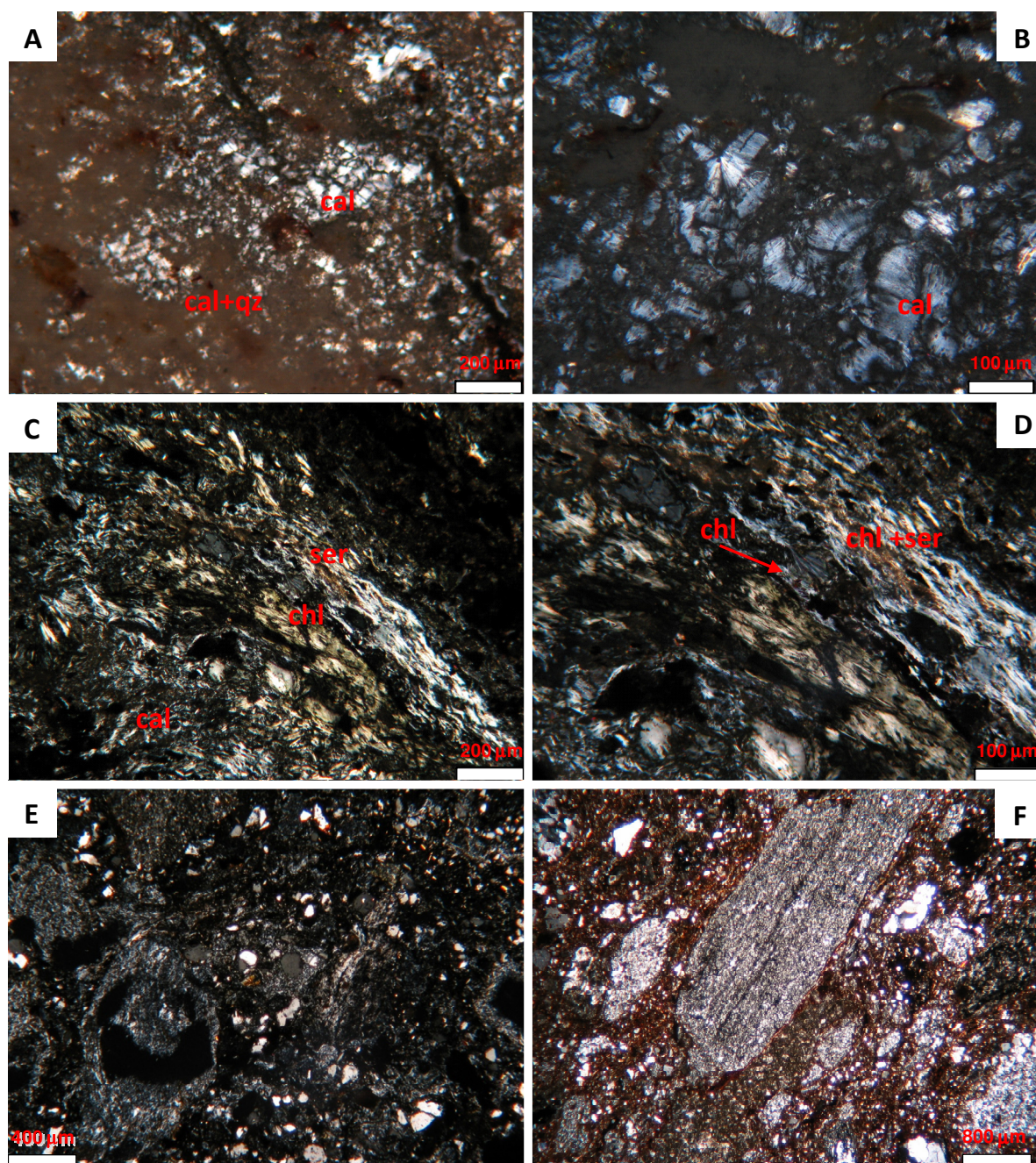


Figura 5.16 - Fotomicrografias da zona da argila pobre em óxidos de ferro (LT, NC). (A) Finos agregados de caulinita com óxidos de ferro (goethita associada). (B) Cristais fibro-radiais de caulinita. (C) Zona de alteração com associação clorita-caulinita. (D) Detalhe em cristal de clorita fibro-radial. (E) Zona de brecha com matriz caulínica. (F) Zona de brecha com matriz de goethita-caulinita.

*ser*: sericita; *qz*: quartzo; *cal*: caulinita; *car*: matéria carbonosa; *chl*: clorita

### 5.3.2 - Mineralogia e composição do Au-Pt-Pd

A zona da argila também constitui importante porção mineralizada do depósito, porém com mineralogia e relações entre Au e PGE um pouco distinta da zona do carbono.

A mineralogia essencial é composta por caulinita, sericita, hematita e quartzo. Os principais minerais com Au-PGE são monazita (e outros fosfatos), selenetos de Ag e Pb, barita e rutilo.

Um total de 437 grãos de metais preciosos foram analisados e imageados por MEV (Colossus 2009<sup>2</sup>). Os grãos de ouro ocorrem associados principalmente a quartzo, goethita, fosfatos e clorita.

As dimensões dos grãos de ouro mais grossos, obtidos a partir da concentração hidráulica é menor do que é observado nas zonas do carbono não estruturado (Tab. 5.3).

Um importante aspecto a ser observado é que apesar da maioria das partículas serem de dimensões pequenas (77% <50 $\mu$ m), estas representam menos que 10% em peso do total de ouro obtido do concentrado (Fig. 5.17), mostrando que maior porcentagem em peso de metal (Au) está nas partículas de granulometria maior 50  $\mu$ m.

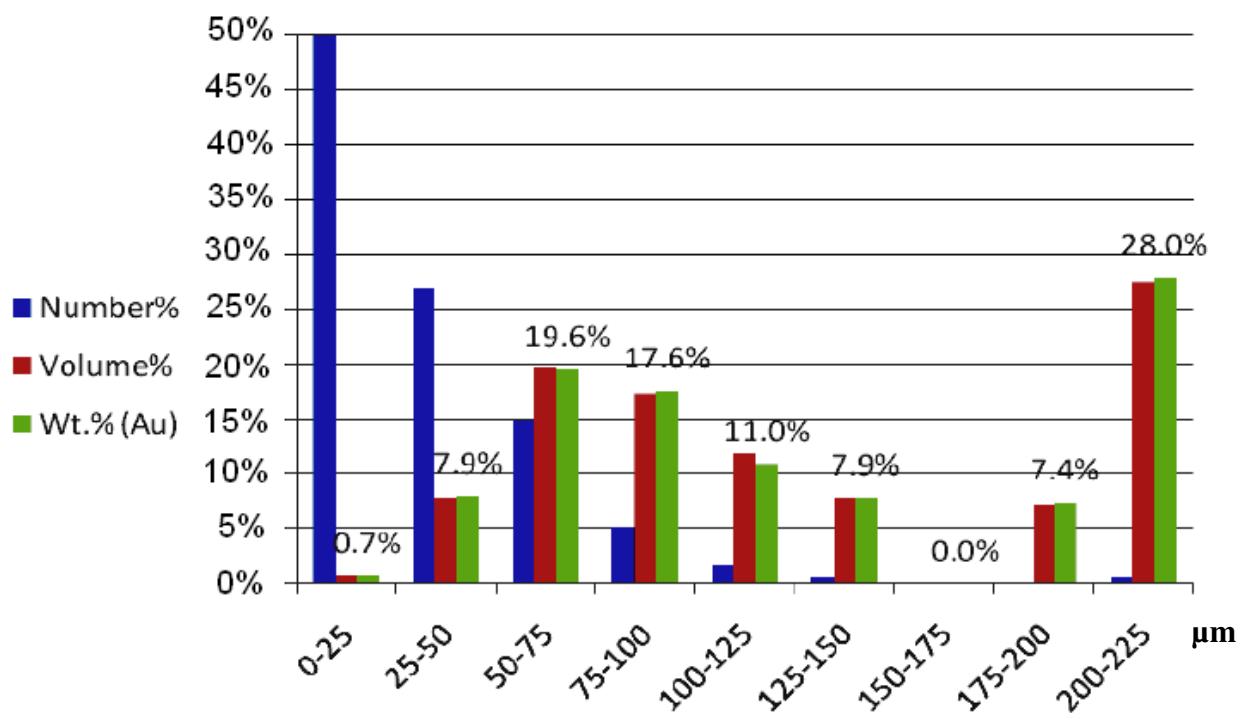


Figura 5.17 - Gráfico da distribuição entre número de grãos, volume e porcentagem em peso. Fonte: Colossus 2009<sup>2</sup>.

Duas fases de Au-PGE foram identificadas (Tab. 5.2):

1 - Ligas ricas em Au: Compostas essencialmente por ouro (<94% Au) com contribuição de prata (2-3%) e paládio (1-5%) (Fig. 5.18).

2 - Ligas ricas em Pd: São compostas predominantemente por paládio (>75%) com proporções variadas de ouro (1.8-7.5%), platina (2-4%), cobre (1-2%) e ferro (1-2%).

Tabela 5.2 - Composição das Ligas de Au-PGE (microsonda eletrônica - Colossus 2009<sup>2</sup>)

Au-Ag					
Au	Ag	Fe	Pd	Total	
96.9	2.5	0	0	99.4	
97.4	3.2	0	0	100.6	
97.3	2.4	0	0	99.7	
96.1	2.3	0	1.2	99.6	
96.5	2.5	0	0	99	
96.5	2.6	0	0	99.1	
96.8	2.6	0	0	99.4	
95.5	3.1	0.8	0	99.4	
97.2	2.5	0	0	99.7	
97.4	2.5	0	0	99.9	
96.6	3.2	0	0	99.8	
96.9	2.2	0	0	99.1	
97.2	1.9	0	0	99.1	
96.3	2.6	0	0	98.9	
95.9	2.8	0	0	98.7	
97.7	0	0	2	99.7	
94.1	0	0	5	99.1	
97	2.6	0	0	99.6	
96.8	2.9	0	0	99.7	
94.6	3.1	0	1.7	99.4	
96.4	2.9	0	0	99.3	
Pd-Cu-Fe					
Au	Cu	Fe	Pd	Pt	Total
1.8	2.10	1.60	87.10	0.00	92.60
3.3	1.80	0.80	78.60	2.50	87.00
7.5	2.00	2.40	81.30	2.90	96.10
0	2.80	1.20	89.40	4.10	97.50
0	2.80	0.00	77.10	0.00	79.90
0	1.40	0.90	78.90	0.00	81.20

Tabela 5.3 - Distribuição granulométrica dos grãos de ouro para zona da argila (Colossus 2009<sup>2</sup>)

Tamanho	n°	%	vol.%	Wt%
0-25	273	50.10%	0.70%	0.70%
25-50	147	27%	7.80%	7.90%
50-75	81	14.90%	19.70%	19.60%
75-100	28	5.10%	17.40%	17.60%
100-125	9	1.70%	11.90%	11.00%
125-150	3	0.60%	7.80%	7.90%
150-175	0	0%	0%	0.00%
175-200	1	0.20%	7.30%	7.40%
200-225	3	0.60%	27.60%	28.00%
Total	545	100%	100%	100.00%

\*Wt% = porcentagem em peso.

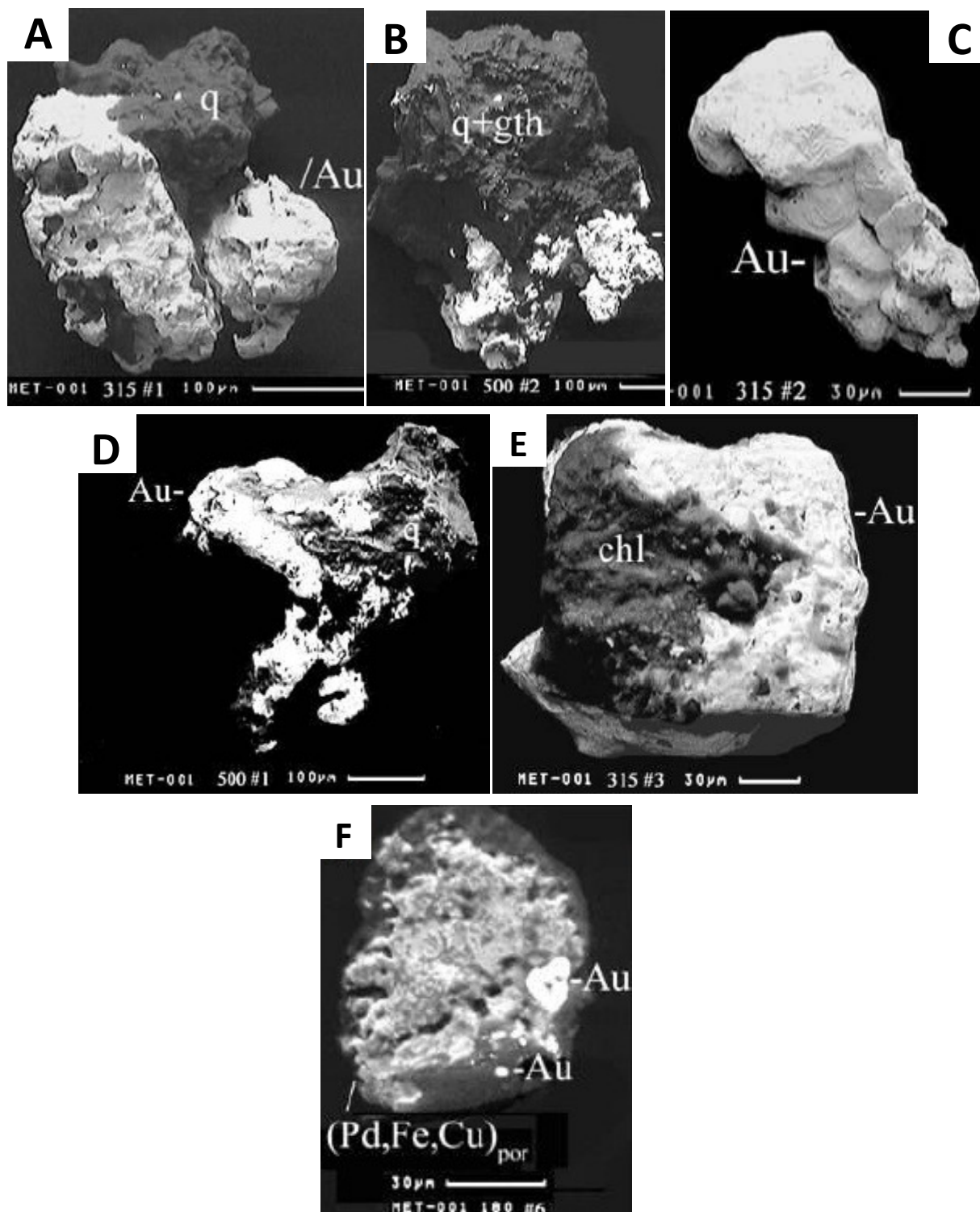


Figura 5.18 - Imagens de MEV de grãos de Au e principais minerais associados na Zona da Argila. (Colossus 2009<sup>2</sup>). (A) Au associado com quartzo. (B) Au associado com quartzo+goethita. (C) Cristal liberado de Au. (D) Au associado com quartzo. (E) Au associado com clorita. (F) Associação da liga de Pd, Fe, Cu com Au.

### Zona da argila rica em óxidos de ferro

Esta zona é definida por rochas ricas em filossilicatos, óxi-hidróxidos de ferro (<40% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) com baixas concentrações de SiO<sub>2</sub>. É caracterizada por uma argila de cor vermelha a vinho, comumente com hematita disseminada. Cristais magnéticos de hábito especular magnéticos são observados em amostras de mão. (Fig. 5.19A - D).

A rocha tem textura lepidoblástica definida pela orientação da muscovita-sericita e caulinita com bandamento composicional é definido por níveis ricos em óxidos de ferro ou níveis de caulinita com algum quartzo associado. Localmente pode apresentar textura brechada com fragmentos de hematita e de agregados de quartzo-caulinita.

A mineralogia principal é composta essencialmente por caulinita (30-50%), óxidos de ferro (50-70%), quartzo (<10%) e raramente sericita-muscovita (<1%). Como acessórios ocorrem fosfatos e barita.

A caulinita ocorre em cristais alongados, localmente fibrosos de granulação muito fina (<0,01 mm). Apresenta orientação preferencial segundo o bandamento composicional ocasionalmente ocorrendo como agregados irregulares envoltos por óxidos de ferro (Fig. 5.20A e B). Veios de caulinita tardios também ocorrem preenchendo fraturas perpendiculares ao bandamento composicional.

Os óxidos e hidróxidos de ferro são formados por hematita, goethita e limonita. A hematita ocorre substituindo o bandamento composicional em finos cristais fibrosos, euédricos a subédricos. (<0.01mm). A goethita forma finos agregados, geralmente na borda dos cristais de hematita, localmente com textura botroidal. O quartzo ocorre como finos (<0.01mm) cristais subédricos em meio às bandas caulínicas (Fig. 5.20C e D).

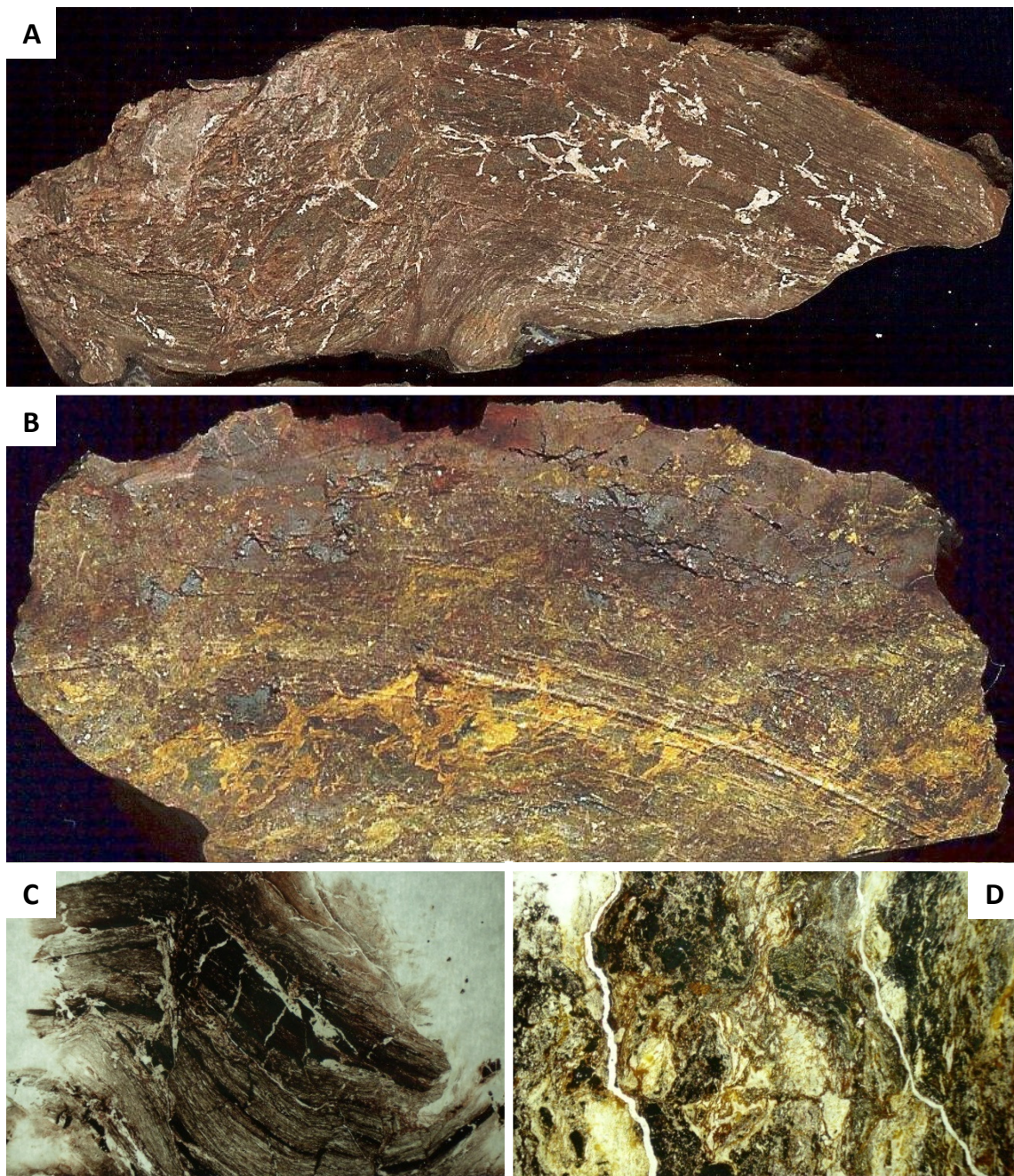


Figura 5.19 - Aspectos macroscópicos zona da argila pobre em óxidos de ferro. (A) Bandamento composicional definido por níveis quartzo-cauliníticos e ricos em óxidos de ferro. (B) Zona de brecha com cristais de hematita, detalhe em (D). (C) Detalhe na textura lepidoblástica.

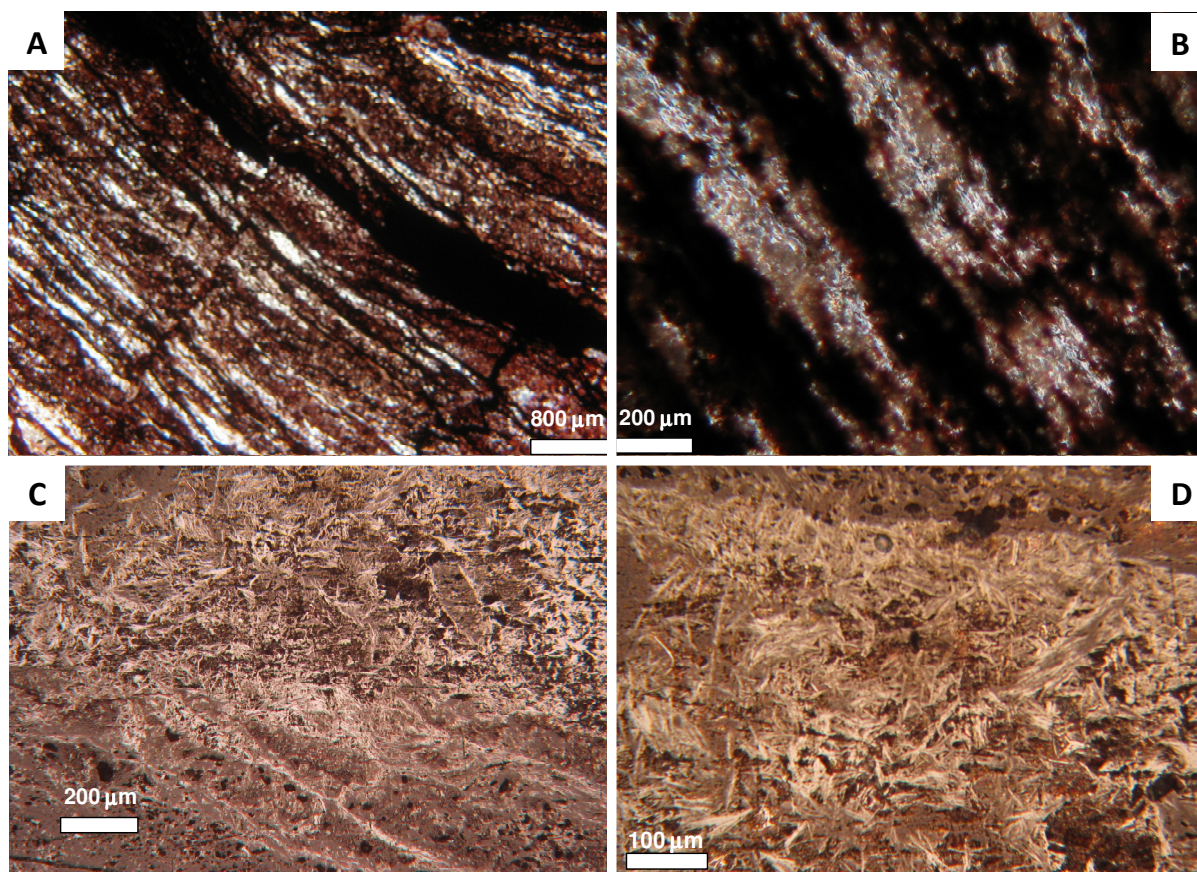


Figura 5.20 - Fotomicrografias da zona da argila rica em óxidos de ferro. (A) Bandamento composicional entre níveis caulíníticos e ricos em óxidos de ferro, detalhe em (B). (C) Agregados fibro-radiais de goethita em banda ferruginosa.

#### 5.4 - Zona da Sílica

Duas zonas de sílica podem ser individualizadas baseadas na sua distribuição espacial. Na porção interna à zona do carbono, ocorre uma zona de sílica substituindo principalmente o metarenito intraformacional e, em menor proporção, os metassiltitos. A outra ocorre no contato entre os metarenitos dolomíticos e os metassiltitos, envolvendo toda a charneira com pequena distribuição nos flancos. Estas zonas raramente apresentam elevados teores de Au+Pt+Pd.

Ambas as zonas são constituídas praticamente por quartzo de granulação variada, localmente em drusas preenchendo cavidades. Sulfetos, óxidos de ferro e argila podem ocorrer associados (Fig. 5.21A-D).

A mineralogia predominante é formada por quartzo (<98%), além de pirita, hematita e goethita como acessórios. Localmente podem ocorrer muscovita e caulinita disseminadas ou preenchendo veios e fraturas.

A rocha tem textura granoblástica. O quartzo ocorre em finos cristais euédricos a subédricos, localmente com contato poligonal entre os grãos e extinção fracamente ondulante. Cristais euédricos de pirita ocorrem disseminados. A sericita ocorre disseminada em cristais alongados inclusos nos grãos de quartzo ou no contato entre os eles (Fig. 5.21E, F). Esta zona pode apresentar textura muito fina, com bandamento composicional definido por níveis sericíticos.

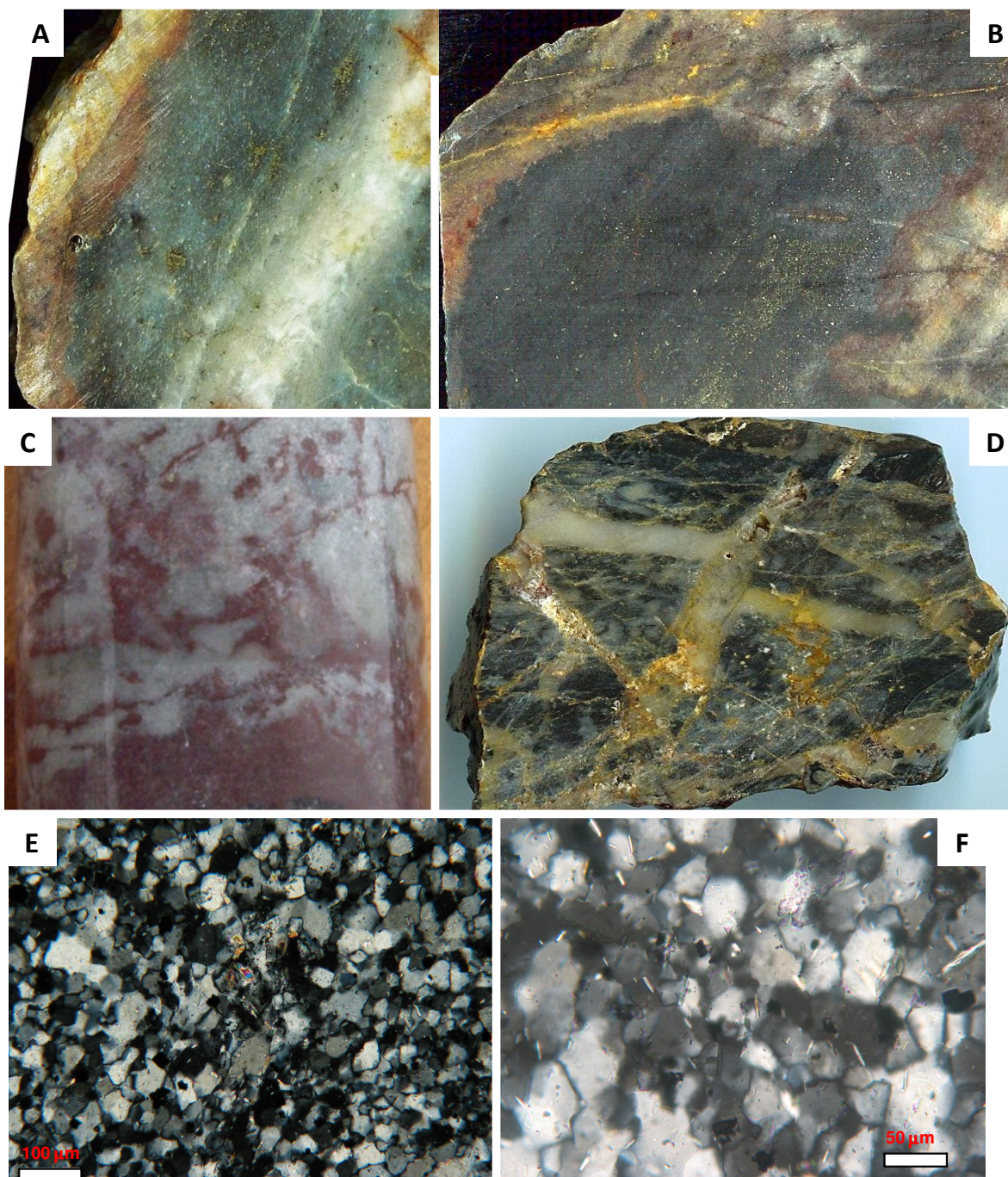


Figura 5.21 - (A e B) Disseminação de sulfetos associados à zona de sílica. (C) Zona de sílica com fina disseminação de óxi-hidróxidos de ferro. (D) Zona de silicificação veios de quartzo-caulinita associados. (E) Fotomicrografia da textura granoblástica da zona da sílica. (F) Detalhe nos finos cristais de sericita.

### 5.5 - Brechas com matriz ricas em óxidos e hidróxidos de ferro (BXFEO)

Brechas com matriz rica em óxidos-hidróxidos de ferro correspondem a uma pequena porção do depósito de Au-PGE de Serra Pelada, e localmente apresentam altíssimos teores de Pd e Pt (>500ppm) com elevadas razões de Pt+Pd/Au.

As BXFEO ocorrem no flanco inferior do sinclinal de Serra Pelada, a cerca de 150 metros da charneira. Estas brechas possuem cerca de 90 metros de comprimento por 6 metros de espessura com geometria *stratabound*, substituindo principalmente os metassiltitos no contato com os metarenitos dolomíticos (Fig. 5.22).

Uma zona de silicificação, também com geometria *stratabound*, ocorre associada à porção inferior das BXFEO, substituindo exclusivamente os metarenitos. Localmente, entre as zona de sílica e as BXFEO, zonas de alteração argílica rica em óxidos de ferro ocorrem associadas, com geometria semelhante.

As brechas possuem fragmentos de zonas silicificadas e localmente de metassiltito carbonoso. Os fragmentos são angulosos, de dimensões variando entre 0.5 a 5cm. A matriz é composta essencialmente por limonita e goethita.

Os principais minerais minérios associados a esta zona seriam Au de alta pureza com pequena contaminação de prata (Ag <5%) com raro ouro paladiado ( $Au_7Pd$ ) e isoferroplatina ( $PtFe_3$ - Grainger 2003). Apesar de existirem poucos dados de sondagem nesta porção do depósito, observa-se que os maiores teores estão relacionados diretamente a relação matriz/fragmentos.

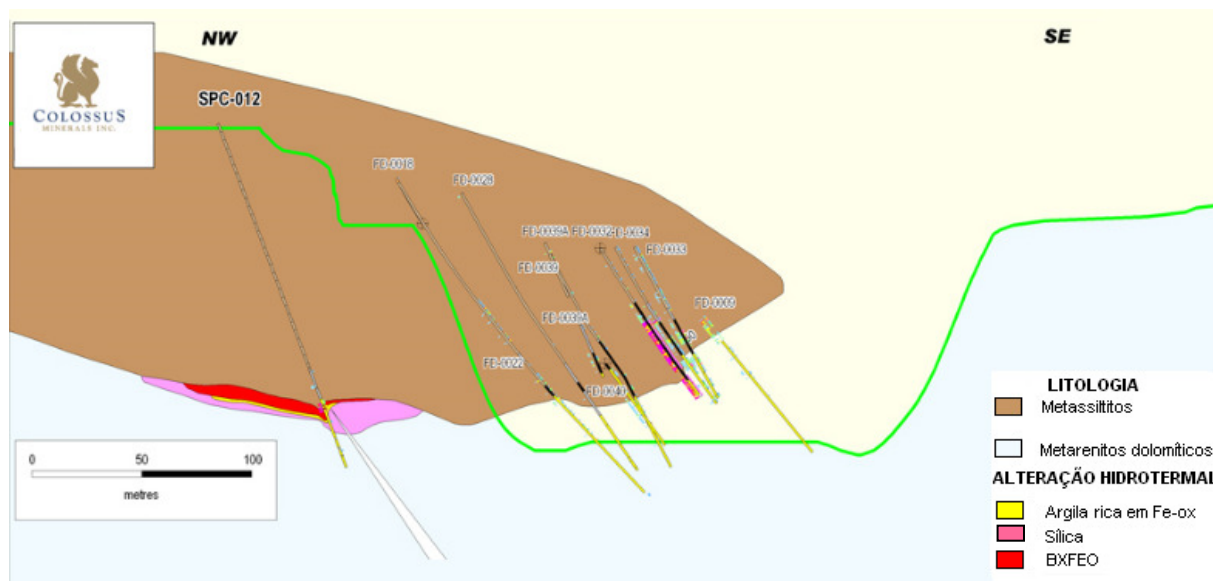


Figura 5.22 - Seção geológica vertical, mostrando relação das brechas (Fonte: Colossus 2009<sup>3</sup>).

## 5.6 - Geoquímica das Principais Zonas de Alteração Hidrotermal

Foram analisadas amostras de todos os principais tipos de alteração hidrotermal caracterizadas no item anterior deste capítulo. Todas as relações de enriquecimento e empobrecimento descritas neste item são relacionadas ao metassiltito cinza não alterado.

### 5.6.1 - Elementos Maiores

A distribuição dos elementos maiores apresenta diferentes padrões para cada zona de alteração hidrotermal, principalmente em relação às concentrações de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Na zona do carbono, a concentração de sílica apresenta diferentes padrões em relação às zonas estruturada e não estruturada. Enquanto a ZCE possui leve enriquecimento em sílica (10-15%), na ZCN tem uma redução de até 20% (em relação aos metassiltitos cinza), ou seja, até 40% menos sílica que na ZCE. As concentrações de carbono variam em torno de 4-10% em ambos os estágios de alteração, mas os valores médios de  $C_{\text{total}}$  na ZCE são mais elevados. As concentrações de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apresentam enriquecimento (30%) nas ZCN e uma diminuição na ZCE (>50%). Um forte aumento nas concentrações de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  também é observado nas ZCN (Tab. 5.4, 5.5). Ambas as zonas são enriquecidas em carbono (4-10% $C_{\text{total}}$ ) com empobrecimento em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  (Fig. 5.23).

As zonas de argila apresentam diferentes padrões de enriquecimento e empobrecimento para a maioria dos elementos maiores. As maiores variações são referentes às concentrações de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . As argilas ricas em óxi-hidróxidos de ferro possuem grande enriquecimento em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (>50%) sendo que as argilas pobres em óxi-hidróxidos de ferro apresentam pequeno enriquecimento (5-20%), localmente menores que 1 %. Estas últimas apresentam teores de  $\text{SiO}_2$  em torno de 40 %, enquanto nas outras esta concentração cai para menos de 20 % (Fig. 5.24, Tab.5.4, 5.5).

A zona da sílica é composta quase que exclusivamente por sílica (<97 %  $\text{SiO}_2$ ) com leve enriquecimento em enxofre ( $S_{\text{total}}$  0.5-1%) e pequenas concentrações de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  provavelmente relacionadas às zonas de disseminação de óxido de ferro e muscovita-sericita associados (Tab. 5.4, 5.5).

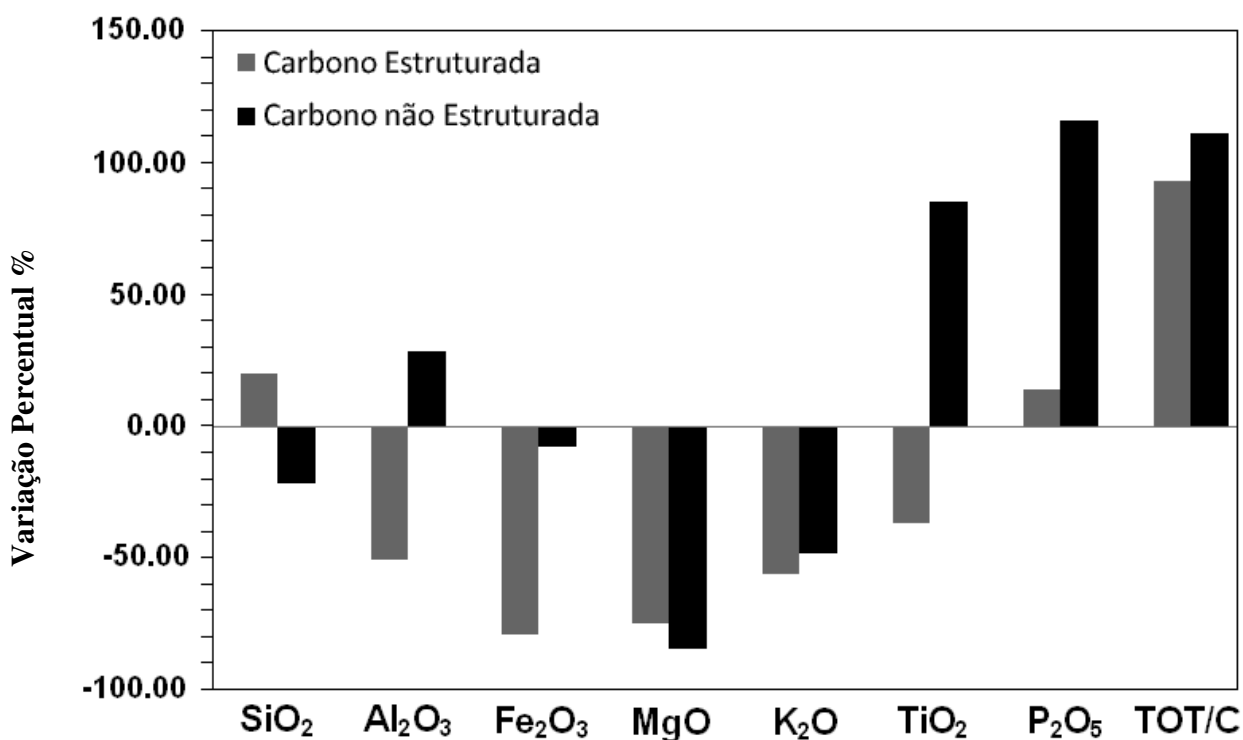


Figura 5.23 - Relações de enriquecimento e empobrecimento médios para os elementos maiores na zona do carbono (valores de C<sub>total</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> divididos por 10. Variação percentual em relação aos metassiltitos cinza).

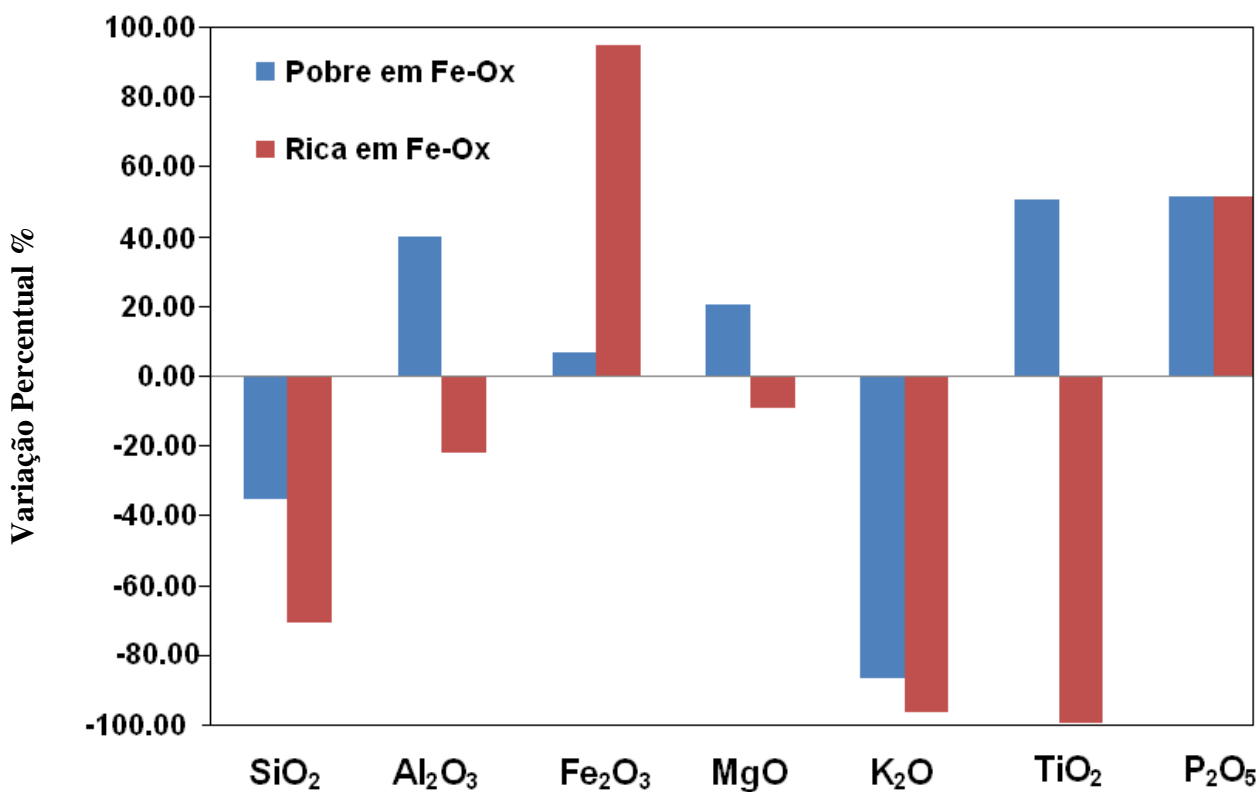


Figura 5.24 - Relações de enriquecimento e empobrecimento médios para os elementos maiores na zona da argila. Valores de C<sub>total</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MgO divididos por 10. Variação percentual em relação aos metassiltitos cinza.

De maneira geral, a geoquímica da alteração hidrotermal é caracterizada pela diminuição nas concentrações de sílica e enriquecimento nos valores de alumínio das rochas (com exceção às zonas de argila ricas em óxidos de ferro) em relação aos metassiltitos não alterados (Fig. 5.25).

As zonas do carbono e das argilas pobres em óxidos de ferro são as principais hospedeiras dos corpos mineralizados do depósito de Serra Pelada, sendo que os maiores teores registrados no depósito estão associados à zona do carbono não estruturada. As zonas de argila ricas em óxidos de ferro raramente apresentam teores econômicos.

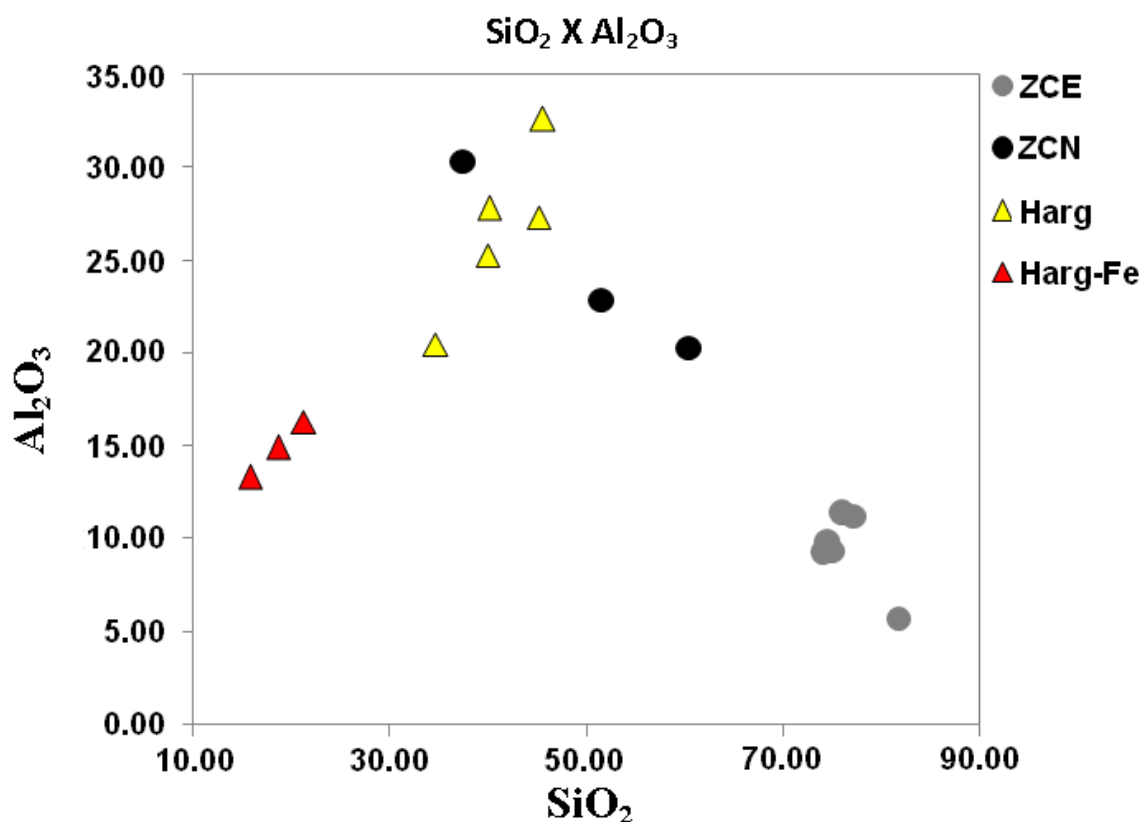


Figura 5.25 - Gráfico da distribuição dos valores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  para os principais tipos de alteração do depósito. ZCE - Zona do carbono estruturada. ZCN - Zona do carbono não estruturada. Harg - argila pobre em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Harg-Fe argila rica em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Comparando os dados geoquímicos e a caracterização petrográfica, é possível indicar que a dessilicificação e o enriquecimento em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ocorrem associados ao substituição da sericita-muscovita por caulinita.

Este fato também fica aparente a partir da análise da relação  $\text{SiO}_2 \times \text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$  também presente comportamento semelhante à relação  $\text{SiO}_2 \times \text{Al}_2\text{O}_3$  (Fig. 5.26).

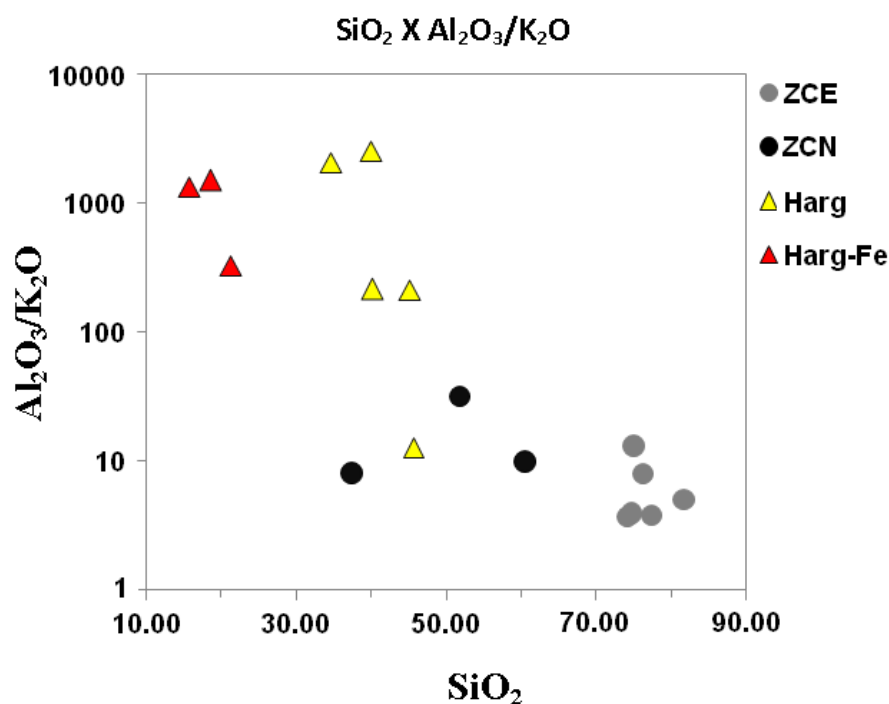


Figura 5.26 - Gráfico da distribuição dos valores de  $\text{SiO}_2$  e razão  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$  para os principais tipos de alteração do depósito. ZCE - Zona do carbono estruturada. ZCN - Zona do carbono não estruturada. Harg - argila pobre em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Harg-Fe argila rica em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Tabela 5.4 - Valores médios\* dos elementos maiores para os principais tipos de alteração do depósito

	Metassilito Cinza	Metassilito Vermelho	Zona do Carbono		Zona da Argila		Zona da Sílica
			Estruturada	Não Estruturada	Pobre em Fe- ox	Rica em Fe-Ox	
(%wt)							
<b>SiO2</b>	63.62	n.p.	76.51	49.93	41.10	18.54	97.81
<b>Al2O3</b>	19.05	12.88	9.46	24.51	26.70	14.83	0.43
<b>Fe2O3</b>	4.95	7.39	1.04	4.56	8.43	52.04	0.95
<b>MnO</b>	0.07	n.p.	0.01	0.01	0.02	0.63	0.01
<b>MgO</b>	2.43	0.24	0.61	0.37	7.37	0.26	0.01
<b>CaO</b>	0.01	<0.01	0.02	0.03	0.09	1.69	0.01
<b>Na2O</b>	0.28	0.28	0.13	0.19	0.05	0.01	0.01
<b>K2O</b>	4.28	3.60	1.87	2.23	0.57	0.02	0.01
<b>TiO2</b>	0.70	0.79	0.44	1.29	1.05	1.05	0.01
<b>P2O5</b>	0.04	0.02	0.08	0.44	0.29	1.72	0.03
<b>Cr2O3</b>	0.02	n.p.	0.02	0.03	0.03	0.03	0.00
<b>TOT/C</b>	0.07	n.p.	6.59	7.78	0.69	0.07	0.04
<b>TOT/S</b>	0.08	n.p.	0.03	0.05	0.05	0.02	0.03
<b>LOI</b>	4.45	n.p.	9.67	15.87	13.86	8.87	0.83

\*Média do total de análises realizadas para cada tipo de alteração, vide tabela 5.5. Valores de metassilito vermelho de Cabral 2006. n.p - valores não publicados/não analisados.

Tabela 5.5 - Valores dos elementos maiores para os principais tipos de alteração do depósito

	MESTASSILTITO NÃO ALTERADO	CARBONO										
		ESTRUTURADA								NÃO ESTRUTURADA		
	MDL	38 - Q	39 - Q	1 - Q	2 - Q	3 - Q	4 - Q	8 - Q	24 - Q	5 - Q	6 - Q	7 - Q
SiO <sub>2</sub>	0.01	63.32	63.91	81.77	77.34	74.67	74.04	75.11	76.13	60.56	37.54	51.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	19.26	18.84	5.71	11.21	9.88	9.21	9.35	11.38	20.29	30.36	22.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	4.81	5.09	0.70	0.57	1.00	0.73	2.38	0.85	2.34	5.87	5.46
MnO	0.01	0.06	0.07	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
MgO	0.01	2.53	2.32	0.19	0.39	0.37	0.38	2.09	0.24	0.38	0.54	0.20
CaO	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	0.03	<0.01	0.04	0.01	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.28	0.27	0.09	0.20	0.15	0.17	0.08	0.11	0.20	0.29	0.08
K <sub>2</sub> O	0.01	4.35	4.21	1.13	2.93	2.56	2.47	0.73	1.42	2.10	3.86	0.72
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.70	0.69	0.26	0.51	0.46	0.43	0.44	0.55	1.11	1.56	1.19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.04	0.03	0.09	0.05	0.06	0.07	0.10	0.13	0.50	0.30	0.53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.002	0.017	0.018	0.012	0.012	0.017	0.018	0.017	0.015	0.024	0.040	0.028
TOT/C	0.02	0.06	0.08	7.47	2.29	9.09	10.46	4.60	5.64	4.96	10.50	7.89
TOT/S	0.02	0.13	<0.02	0.05	<0.02	0.04	0.02	<0.02	<0.02	0.06	0.04	0.05
LOI		4.5	4.4	9.9	6.7	10.7	12.2	9.5	9.0	11.8	19.2	16.6
Sum	0.01	99.83	99.83	99.90	99.90	99.89	99.77	99.85	99.88	99.35	99.59	99.44

	ARGILA									SÍLICA		
	POBRE EM FE-OX					RICA EM FE-OX						
	9 - Q	10 - Q	12 - Q	13 - Q	19 - Q	15 - Q	16 - Q	17 - Q	20 - Q	21 - Q	22 - Q	
SiO <sub>2</sub>	45.17	40.15	45.58	34.65	39.94	18.62	21.26	15.73	98.65	98.47	96.32	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.33	27.79	32.62	20.48	25.27	14.89	16.31	13.30	0.14	0.17	0.97	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.84	2.38	4.71	13.24	19.96	57.19	38.60	60.34	0.62	0.93	1.30	
MnO	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.05	1.46	0.39	0.02	0.01	0.01	
MgO	8.08	12.39	0.38	15.80	0.21	0.07	0.71	0.01	<0.01	<0.01	0.02	
CaO	0.01	0.04	0.03	0.37	0.02	0.01	5.03	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	
Na <sub>2</sub> O	<0.01	0.03	0.18	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
K <sub>2</sub> O	0.13	0.13	2.58	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	
TiO <sub>2</sub>	0.34	1.15	1.65	0.90	1.20	0.72	1.94	0.50	<0.01	<0.01	<0.01	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.42	0.28	0.18	0.46	0.28	4.19	0.69	0.02	0.03	0.04	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.025	0.029	0.059	0.031	0.029	0.013	0.028	0.041	0.002	0.002	0.003	
TOT/C	3.12	0.08	0.18	0.05	0.03	0.14	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	
TOT/S	0.05	<0.02	0.03	0.02	0.13	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.04	
LOI	16.6	14.6	11.6	13.8	12.7	8.0	10.0	8.6	0.7	0.5	1.3	
Sum	99.74	99.24	99.65	99.64	99.84	99.88	99.72	99.72	100.07	100.04	100.03	

\*Valores em porcentagem em peso (wt%).

### 5.6.2 - Elementos Menores e Traços

De maneira geral, todas as zonas de alteração apresentam enriquecimento nos elementos As, Bi, Cu, Pb, Se, Sc, Sn, Sr, Th, U, V, W e Zr em relação aos metassiltitos cinza (Tab. 5.6, 5.7). Analisando individualmente cada zona de alteração hidrotermal, observam-se diferentes *trends* composicionais para as mesmas.

Na zona do carbono os maiores enriquecimentos estão relacionados aos elementos Ag, As, Bi, Hg e Pb, com valores mais elevados nas ZCE. Enriquecimentos de menor proporção ocorrem para os elementos Cu, Sr, Mo, Se, Sb, U, V, e W (Fig. 5.27).

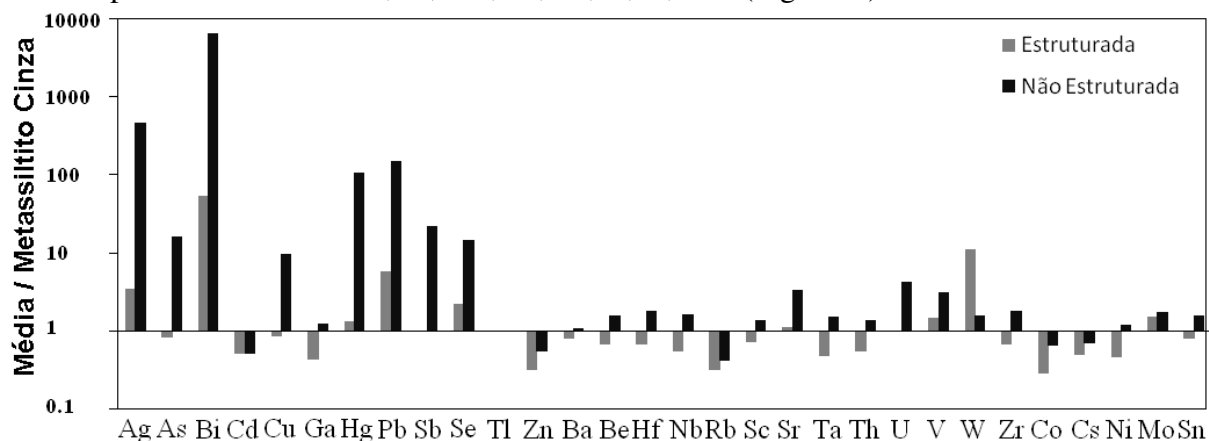


Figura 5.27 - Relações de enriquecimento e empobrecimento para os elementos menores e traços para a zona do carbono.

As zonas de argila, assim como a zona do carbono, possuem os maiores enriquecimentos relacionados à Ag, As, Bi, Hg, Pb e Cu. Estas, diferentemente da zona do carbono, também apresentam enriquecimentos de Ni, Mo e Co. Enriquecimento nos elementos Ga, Hf, Zn, Nb, Se, Sc, Sb, Sn, Th, U, V e W, também ocorrem em menor proporção (Fig. 5.28).

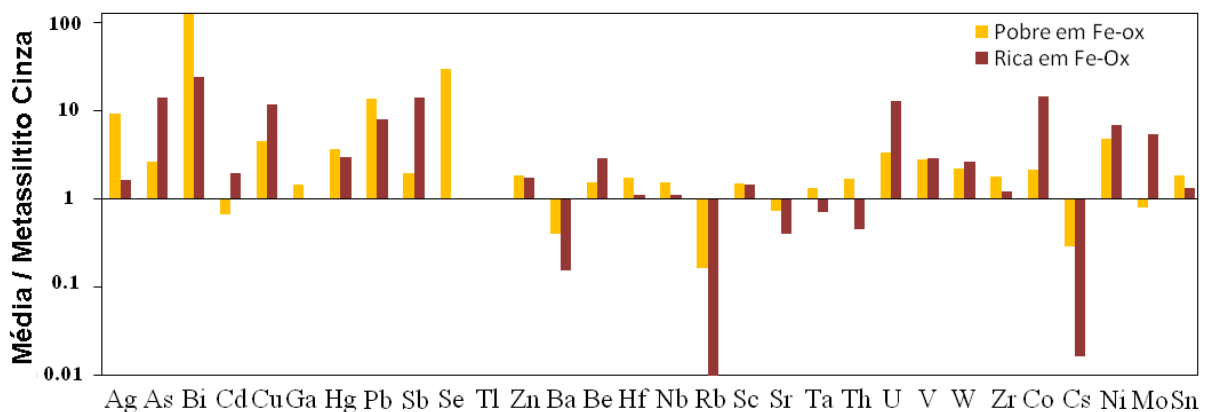


Figura 5.28 - Relações de enriquecimento e empobrecimento para os elementos menores e traços para a zona da argila.

As zonas de silicificação apresentam enriquecimento apenas nos elementos Bi, Pb e Mo com valores entre 10 e 15 vezes maior em relação aos metassiltitos alterados (Fig. 5.29).

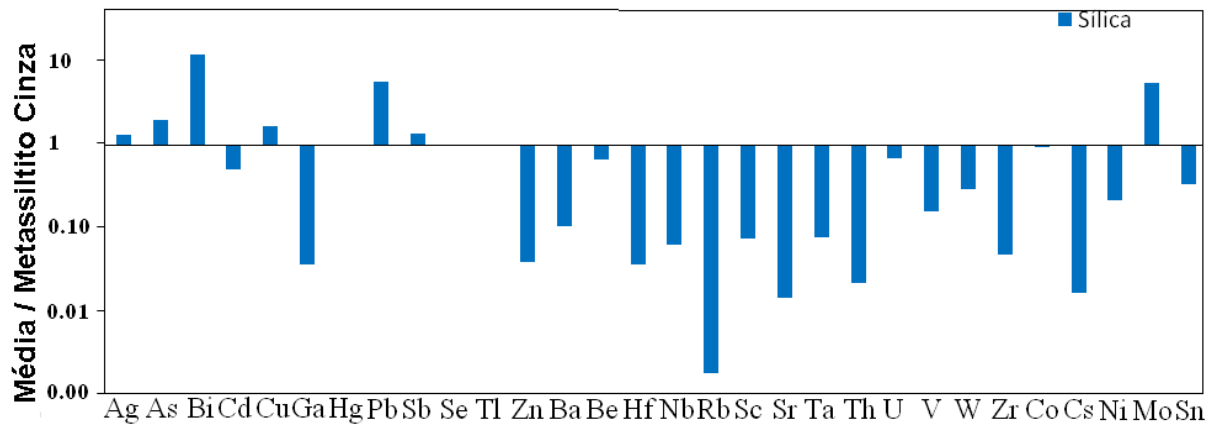


Figura 5.29 - Relações de enriquecimento e empobrecimento para os elementos menores e traços para a zona da sílica.

Tabela 5.6 - Valores médios\* dos elementos menores e traços para os principais tipos de alteração do depósito

	Metassilito Cinza	Metassilito Vermelho	Zona do Carbono		Zona da Argila		Zona da Sílica
			Estruturada	Não Estruturada	Pobre em Fe- ox	Rica em Fe- Ox	
(ppm)							
<b>Ag</b>	0.1	<0.3	0.35	46.33	0.93	0.17	0.13
<b>As</b>	1.4	3.9	1.15	22.3	3.77	19.8	2.77
<b>Bi</b>	0.1	2	5.42	660.5	13	2.47	1.2
<b>Cd</b>	0.2	0.2	0.1	0.1	0.13	0.4	0.1
<b>Cu</b>	24.7	4	20.6	241.97	114.87	292.67	40.4
<b>Ga</b>	23.95	n.p.	10.13	29.63	35.4	24.27	0.87
<b>Hg</b>	0.01	22	0.01	1.06	0.04	0.03	0.01
<b>Pb</b>	3.05	8	17.87	458.1	42.23	24.93	17.57
<b>Sb</b>	0.1	1.2	0.1	2.23	0.2	1.43	0.13
<b>Se</b>	0.5	<3	1.12	7.2	14.93	0.5	0.5
<b>Tl</b>	0.1	n.p.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Zn</b>	87	16	27.17	46.67	161.67	152.33	3.33
<b>Ba</b>	731.5	850	576.67	794.67	295.67	115.33	75
<b>Be</b>	1.5	3	1	2.33	2.33	4.33	<1
<b>Hf</b>	3.75	5	2.47	6.77	6.53	4.23	0.13
<b>Nb</b>	14.25	n.p.	7.65	23.37	22.27	16.23	0.9
<b>Rb</b>	184.1	171	57.52	75.03	30.03	0.67	0.33
<b>Sc</b>	18	19.2	12.67	24.67	27.67	26.33	1.33
<b>Sr</b>	55.9	40	62.38	188.1	41.37	22.6	0.8
<b>Ta</b>	1.3	<0.5	0.6	1.97	1.77	0.93	0.1
<b>Th</b>	18.6	21.2	9.87	24.97	32.13	8.57	0.4
<b>U</b>	5.55	3	5.57	23.73	19.13	72.07	3.83
<b>V</b>	88	101	130.17	269.33	250	258.67	13.67
<b>W</b>	3	<1	32.83	4.63	6.7	8.13	0.87
<b>Zr</b>	124.7	n.p.	82.58	227.37	225.47	151.13	5.83
<b>Co</b>	26.2	3	7.28	16.5	57.43	386.13	28
<b>Cs</b>	6	6	2.95	4.1	1.77	0.1	0.1
<b>Ni</b>	65.65	75	29.87	76.8	315.3	460.67	14
<b>Mo</b>	0.25	11	0.38	0.43	0.2	1.37	1.37
<b>Sn</b>	3	<100	2.33	4.67	5.67	4	1

\*Média do total de análises realizadas para cada tipo de alteração, vide tabela 5.7. Valores de metassilito vermelho de Cabral 2006.

Tabela 5.7 - Valores dos elementos menores e traços para os metassiltitos não alterados e zona do carbono (parte 1)

Analyte	MESTASSILTITO NÃO ALTERADO		CARBONO								
	38 - Q	39 - Q	ESTRUTURADA					NÃO ESTRUTURADA			
			2 - Q	4 - Q	3 - Q	24 - Q	1 - Q	8 - Q	5 - Q	6 - Q	7 - Q
<b>Au+Pt+Pd</b>	<0.001	<0.001	10.37	0.42	0.63	0.55	7.57	1.68	872.00	66.40	238.58
<b>Ag</b>	<0.1	<0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	1.0	92.0	1.3	45.7
<b>As</b>	1.1	1.7	0.6	<0.5	1.3	0.6	<0.5	3.4	22.7	31.1	13.1
<b>Bi</b>	<0.1	0.1	1.4	3.5	2.9	13.4	1.6	9.7	1299.5	56.2	625.8
<b>Cd</b>	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Cu</b>	25.2	24.2	13.4	10.4	15.6	14.6	7.9	61.7	433.9	25.3	266.7
<b>Ga</b>	23.4	24.5	13.6	10.6	9.6	10.3	6.5	10.2	25.2	37.3	26.4
<b>Hg</b>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	2.04	0.06	1.08
<b>Pb</b>	3.0	3.1	4.1	10.1	5.8	24.5	5.8	56.9	842.6	137.1	394.6
<b>Sb</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.2	4.5	1.0
<b>Se</b>	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	4.2	12.3	4.0	5.3
<b>Tl</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Zn</b>	85	89	2	2	2	4	3	150	13	42	85
<b>Ba</b>	782	681	657	1171	666	382	373	211	786	1249	349
<b>Be</b>	1	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	2	3
<b>Hf</b>	3.5	4.0	2.2	2.2	2.7	3.3	1.5	2.9	6.6	7.1	6.6
<b>Nb</b>	13.8	14.7	8.1	6.8	7.9	10.6	4.3	8.2	22.0	26.1	22.0
<b>Rb</b>	185.9	182.3	97.8	69.8	73.4	46.6	36.9	20.6	72.5	128.4	24.2
<b>Sc</b>	18	18	18	13	15	11	8	11	17	39	18
<b>Sr</b>	58.3	53.5	48.2	79.2	50.5	102.3	54.2	39.9	249.9	131.0	183.4
<b>Ta</b>	1.3	1.3	0.7	0.5	0.7	0.8	0.3	0.6	1.9	2.1	1.9
<b>Th</b>	17.7	19.5	12.1	8.5	8.7	8.9	7.9	13.1	23.7	28.7	22.5
<b>U</b>	4.9	6.2	4.0	6.2	3.4	6.7	8.4	4.7	22.4	23.4	25.4
<b>V</b>	83	93	110	186	184	99	77	125	250	355	203
<b>W</b>	3.2	2.8	1.2	2.2	2.1	1.6	0.7	189.2	3.7	6.0	4.2
<b>Zr</b>	116.8	132.6	82.8	70.8	81.5	107.3	73.6	79.5	214.9	247.5	219.7
<b>Co</b>	24.3	28.1	0.9	1.1	0.8	2.8	1.8	36.3	13.9	16.0	19.6
<b>Cs</b>	6.2	5.8	4.1	4.2	3.9	2.4	2.0	1.1	4.2	6.7	1.4
<b>Ni</b>	63.0	68.3	4.1	5.2	4.7	7.3	3.0	154.9	16.1	87.0	127.3
<b>Mo</b>	0.2	0.3	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.6	0.4	0.3
<b>Sn</b>	3	3	2	2	3	3	1	3	4	6	4

Valores de elementos menores e traços para as Zona do Carbono. \*Obs. Valores de Au +Pt+Pd obtidos por *Fire-Assay 50g*. Valores em ppm.

Tabela 5.7 - Valores dos elementos menores e traços para as zonas da argila e sílica (parte 2)

Analyte	ARGILA								SÍLICA		
	POBRE EM FE-OX					RICA EM FE-OX			20 - Q	21 - Q	22 - Q
	9 - Q	10 - Q	12 - Q	13 - Q	19 - Q	15 - Q	16 - Q	17 - Q			
<b>Au+Pt+Pd</b>	7.57	43.66	79.50	0.04	0.03	0.27	1.313	1.03	0.54	13.80	0.39
<b>Ag</b>	0.1	2.8	2.6	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.1	<0.1	0.2	0.1
<b>As</b>	3.9	11.1	6.9	1.2	3.2	18.6	16.0	24.8	0.5	0.8	7.0
<b>Bi</b>	4.9	53.9	36.0	1.5	1.5	1.7	3.8	1.9	0.2	2.7	0.7
<b>Cd</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.2	0.9	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Cu</b>	18.4	16.1	113.6	66.4	164.6	13.5	64.7	799.8	7.1	17.1	97.0
<b>Ga</b>	16.0	29.4	38.6	31.4	36.2	21.6	24.3	26.9	<0.5	0.5	1.6
<b>Hg</b>	0.03	0.01	0.07	<0.01	0.03	0.03	0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Pb</b>	38.4	673.3	116.4	5.0	5.3	25.9	28.4	20.5	0.5	2.7	49.5
<b>Sb</b>	<0.1	0.7	0.3	0.2	<0.1	0.7	1.7	1.9	0.1	0.2	0.1
<b>Se</b>	0.5	4.3	1.3	43.0	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5
<b>Tl</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Zn</b>	230	501	19	315	151	70	288	99	2	3	5
<b>Ba</b>	49	318	812	4	71	18	231	97	41	144	40
<b>Be</b>	3	3	2	1	4	3	3	7	<1	<1	<1
<b>Hf</b>	2.4	8.0	7.7	4.7	7.2	4.2	5.6	2.9	<0.1	<0.1	0.2
<b>Nb</b>	5.9	25.7	27.7	14.6	24.5	11.7	21.9	15.1	0.8	0.9	1.0
<b>Rb</b>	4.1	4.1	89.4	0.3	0.4	0.3	1.4	0.3	<0.1	0.1	0.8
<b>Sc</b>	5	19	39	24	20	30	22	27	<1	<1	2
<b>Sr</b>	73.9	163.0	111.7	2.1	10.3	5.9	48.0	13.9	0.9	0.5	1.0
<b>Ta</b>	0.6	1.7	2.3	1.3	1.7	1.0	1.3	0.5	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Th</b>	8.6	35.2	47.5	16.5	32.4	13.7	6.2	5.8	<0.2	<0.2	0.8
<b>U</b>	9.8	17.6	38.8	6.5	12.1	22.0	12.3	181.9	0.5	1.2	9.8
<b>V</b>	145	229	369	216	165	178	250	348	<8	<8	25
<b>W</b>	1.6	10.9	9.3	5.1	5.7	3.8	11.8	8.8	0.9	1.2	<0.5
<b>Zr</b>	71.3	300.9	270.3	153.2	252.9	141.9	199.2	112.3	3.5	4.1	9.9
<b>Co</b>	114.8	183.2	17.0	122.5	32.8	166.6	908.2	83.6	3.3	14.0	66.7
<b>Cs</b>	0.1	0.5	5.0	0.2	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Ni</b>	688.2	957.1	32.1	671.2	242.6	175.8	878.1	328.1	4.6	9.8	27.6
<b>Mo</b>	0.3	<0.1	0.3	<0.1	0.2	1.0	1.2	1.9	0.8	1.0	2.3
<b>Sn</b>	3	7	7	4	6	4	4	4	<1	<1	<1

Valores de elementos menores e traços para as Zona do Carbono. \*Obs. Valores de Au +Pt+Pd obtidos por *Fire-Assay 50g*. Valores em ppm.

### 5.6.3 - Relação da distribuição dos Elementos Maiores, Menores e traços com Au+Pt+Pd

O enriquecimento em Au-Pt-Pd está associado ao enriquecimento em alguns dos elementos maiores, menores e traços. As principais zonas mineralizadas do depósito estão associadas principalmente a zona do carbono e da argila pobre em óxidos de ferro, e em menor proporção nas zonas de sílica.

A figura 5.30 mostra os gráficos dos teores de Au+Pt+Pd em relação aos principais elementos maiores com enriquecimento associado à mineralização. Uma correlação positiva com os teores de  $Al_2O_3$  existe para as principais porções mineralizadas do depósito. Os teores de sílica mostram relações inversas as de  $Al_2O_3$ . Apesar de não existirem *trends* contínuos, as porções mineralizadas variam entre 80-40% de  $SiO_2$  e 8-30% de  $Al_2O_3$ . As zonas de alto teor, possuem menores concentrações de  $SiO_2$  (60-40%) e maiores concentrações de  $Al_2O_3$  (20-30%). Os teores de  $P_2O_5$  também possuem correlação positiva com os teores de Au+Pt+Pd, sendo as porções mais enriquecidas variando entre 0.3 e 0.7%.

A correlação dos teores de Au com  $C_{total}$  não é direta. Apesar de ser a principal hospedeira da mineralizações do depósito, na zona do carbono (>4%  $C_{total}$ ) os teores de  $C_{total}$  não apresentam nenhuma relação com os valores de Au+Pt+Pd.

Os principais elementos menores e traços com enriquecimento associado às zonas mineralizadas são Pb, U, As e Bi (Fig. 5.31). As zonas da argila mineralizadas também apresentam enriquecimento em Co e Ni. Assim como nos elementos menores, não existe um *trend* composicional para todas as zonas de alteração do depósito. Apesar das porções mineralizadas em baixo teor (~1ppm) possuírem ampla variação nos elementos menores em questão, as porções mineralizadas de alto teor sempre apresentam valores mais elevados nestes elementos.

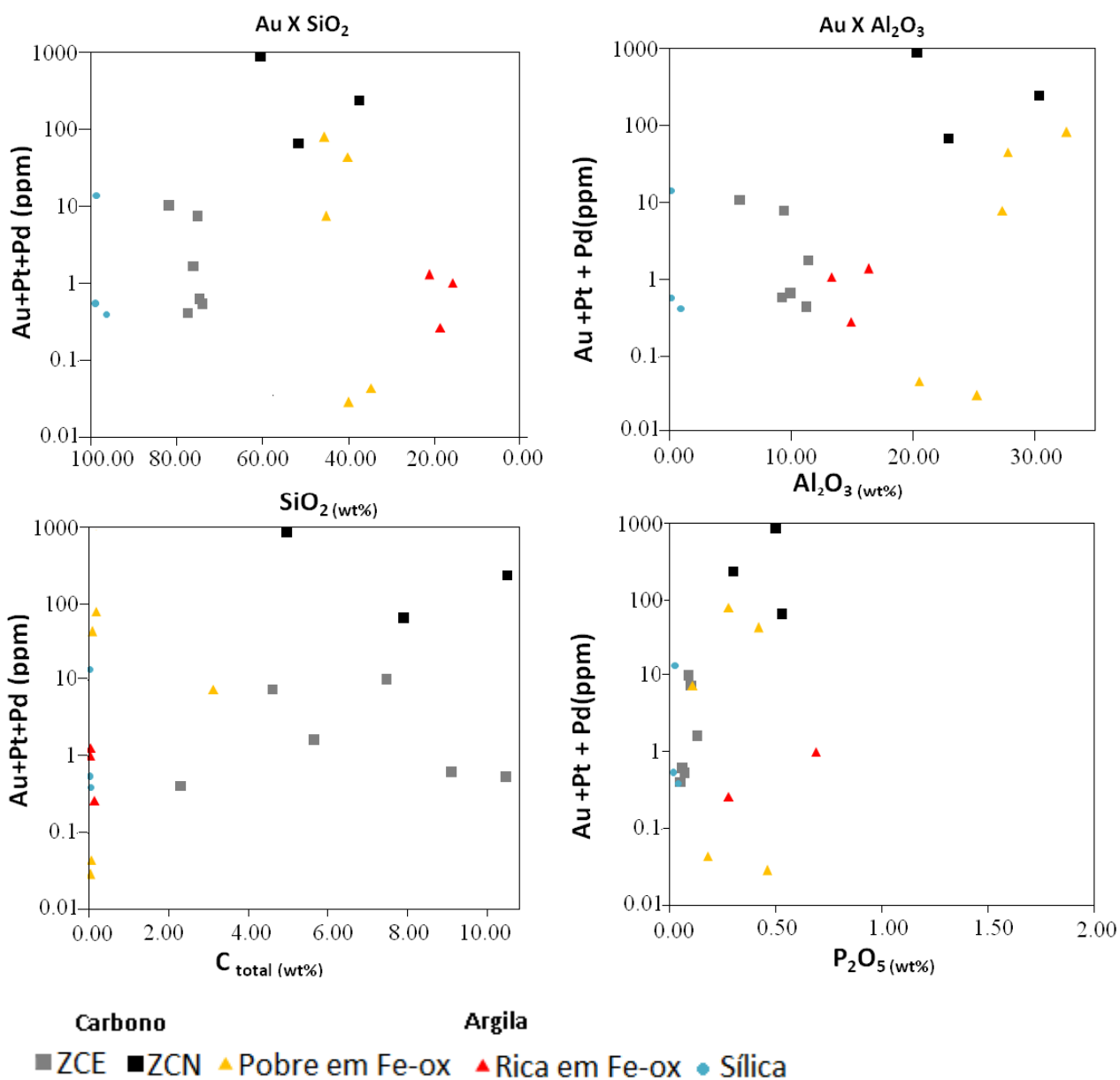


Figura 5.30 - Correlações de Au+Pt+Pd elementos maiores selecionados.

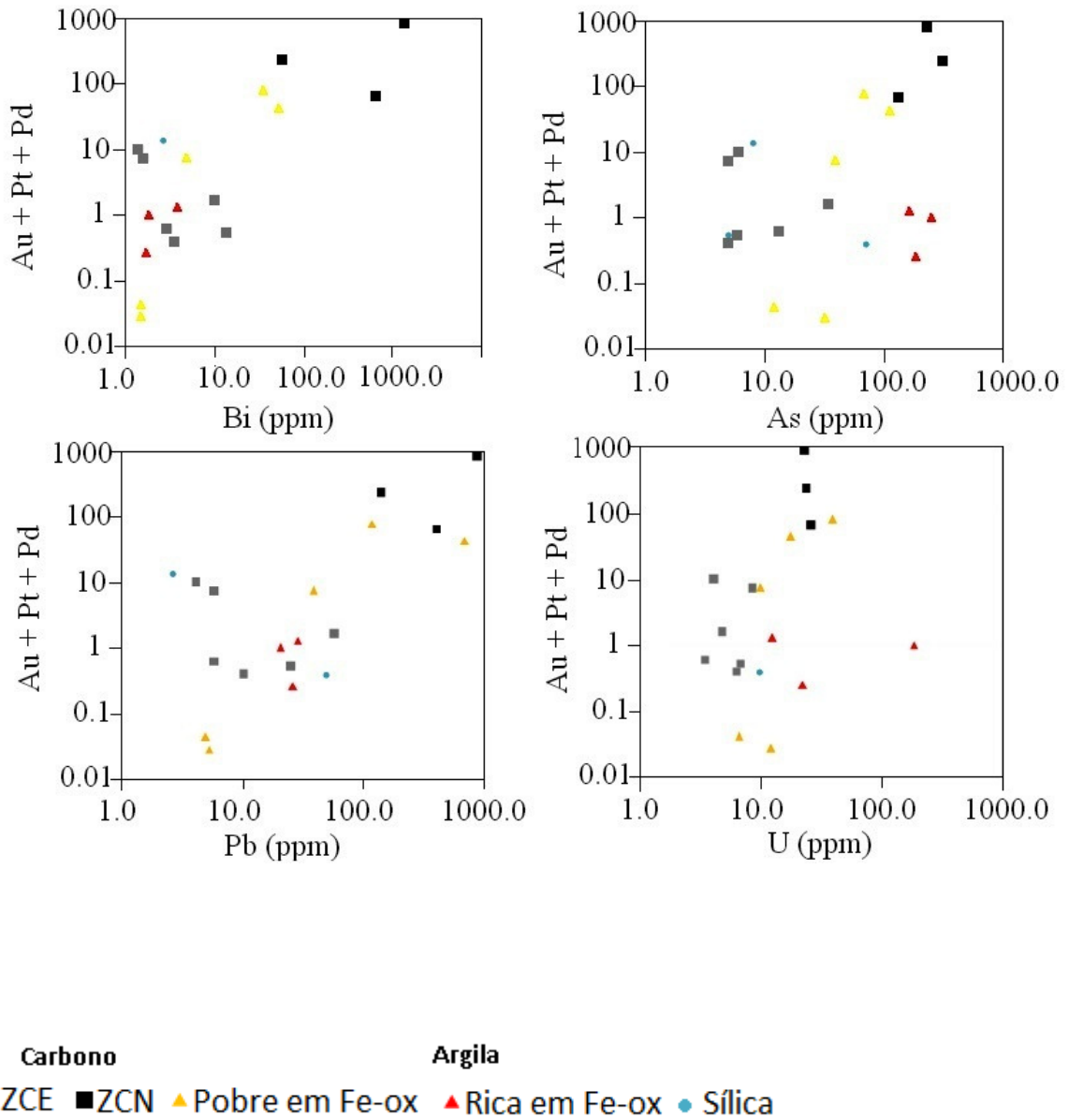


Figura 5.31 - Correlações de Au+Pt+Pd elementos menores selecionados.

#### 5.6.4 - Relação Au-Pt-Pd

A distribuição dos teores de ouro, platina e paládio possuem diferentes comportamentos para cada zona de mineralizada. Foram analisados os dados das duas principais zonas mineralizadas do depósito além das zonas de silicificação interna e mineralizações no arenito. A relação entre os teores de Au e a soma de Pt+Pd tem distribuição característica para cada zona de alteração.

A zona do carbono possui a melhor correlação entre Au e Pt+Pd (coeficiente de correlação  $\sim 0.98$ ). Os teores de Pt+Pd aumentam nas mesmas proporções que os teores de Au. (Fig. 5.32). A relação entre Pt e Pd apresenta enriquecimento de Pd em relação a Pt. ( $Pt = 0.62Pd$  - Fig. 5.33).

A zona da argila apresenta maior grau de dispersão na porção superior esquerda do gráfico (Fig. 5.32). Isto sugere uma tendência geral das amostras em conter menores razões de Au/Pt+Pd. Já a relação entre Pt e Pd possui forte correlação. A reta de regressão linear das distribuições dos teores sugere maior proximidade entre os teores de Pt e Pd do que nas outras zonas de alteração. ( $Pt = 0.74Pd$  - Fig. 5.33).

A zona de sílica interna e as zonas mineralizadas no arenito têm menor enriquecimento em Pd+Pt do que as outras zonas de alteração. A nuvem de dispersão dos valores de Au e Pt+Pd tem aspecto mais achatado e maior densidade de pontos na porção inferior do gráfico (Fig. 5.32), conformando esta relação. Apesar dos valores de Pt+Pd serem relativamente mais baixos que nas outras zonas de alteração, a zona de sílica interna tende a apresentar relação entre Pt e Pd (Fig. 5.33) próxima a da zona do carbono ( $Pt \sim 0.62Pd$ ) enquanto que as zonas de mineralização nos arenitos apresentam maior enriquecimento de Pd em relação a Pt ( $Pt \sim 0.3Pd$ ) do que a zona de sílica.

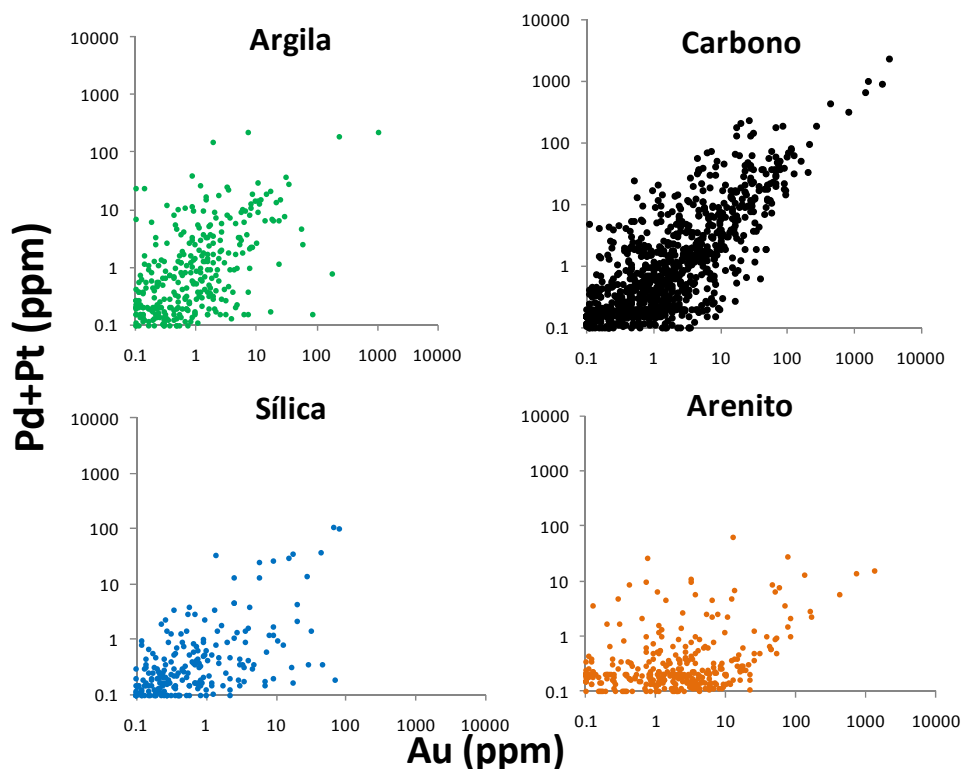


Figura 5.32 - Relação dos teores de Au e Pt+Pd para os principais tipos de alteração hidrotermal no depósito. Dados de Au, Pt e Pd relativos ao banco de dados de sondagem incluindo furos históricos e recentes.

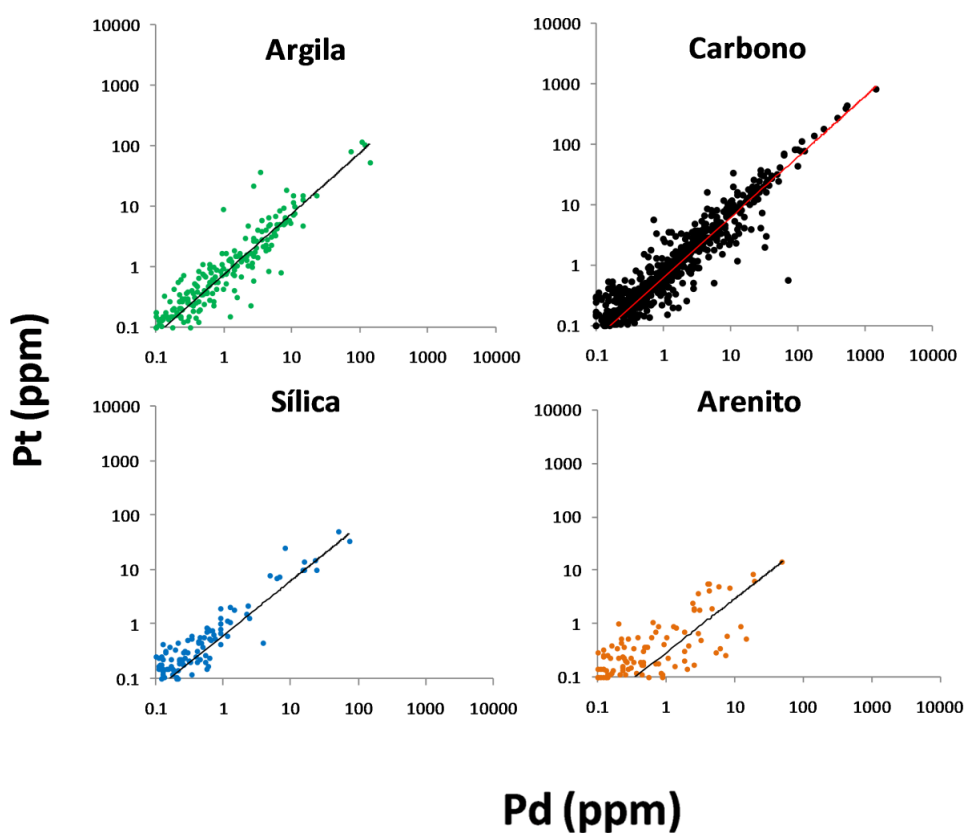


Figura 5.33 - Relação dos teores Pt e Pd para os principais tipos de alteração hidrotermal no depósito. Retas pretas simbolizam a reta de melhor ajuste. Dados de Au, Pt e Pd relativos ao banco de dados de sondagem incluindo furos históricos e recentes.

### 5.6.5 - Elementos Terras Raras

Para a normalização dos ETR foram utilizados valores de referência do condrito (Taylor & McLennan 1985) e para o *Post Archean Australian Shale* (PAAS - Taylor & McLennan, 1989), que estão listados na tabela abaixo:

Tabela 5.8 - Valores normativos para Condrito e PAAS

	CONDrito (Taylor e McLennan, 1985)	PAAS (McLennan, 1989)
<b>(ppm)</b>		
<b>La</b>	0.367	38.2
<b>Ce</b>	0.957	79.6
<b>Pr</b>	0.137	8.83
<b>Nd</b>	0.711	33.9
<b>Sm</b>	0.231	5.55
<b>Eu</b>	0.087	1.08
<b>Gd</b>	0.306	4.66
<b>Tb</b>	0.058	0.774
<b>Dy</b>	0.381	4.68
<b>Y</b>	2.1	27
<b>Ho</b>	0.0851	0.991
<b>Er</b>	0.249	2.85
<b>Tm</b>	0.0356	0.405
<b>Yb</b>	0.248	2.82
<b>Lu</b>	0.0381	0.433

Os valores normalizados segundo o PAAS, que apresenta grande proximidade com os valores do metassiltito cinza não alterado. (Tab.5.9 e Tab. 5.10). O metassiltito cinza apresenta leve anomalia positiva de Y, que ainda permanece para as rochas alteradas (com exceção a zona de alteração distal).

As zonas do carbono estruturada e não estruturada apresentam padrão semelhante de distribuição dos ETR, com grande enriquecimento nos ETR leves (5-20x > PAAS). A ZCE tem pequena diminuição nos ETR médios e pesados, enquanto que a ZCN é levemente enriquecida (1-3x > PAAS) nestes elementos (Fig. 5.34).

As zonas de argila apresentam grande contraste em relação ao padrão de distribuição dos ETR. As zonas de argila pobre em óxidos de ferro apresentam padrão semelhante às zonas do carbono, com forte enriquecimento em ETR leves (4-7x > PAAS) e leve enriquecimento nos ETR médios e pesados (1,1 a 1,5x > PAAS). Já as zonas de argila rica em óxidos de ferro apresentam um padrão completamente na distribuição destes elementos, com

pequena depleção nos ETR leves e um maior enriquecimento ( $2-3x > \text{PASA}$ ) nos ETR médios e pesados (Fig. 5.34).

As zonas de sílica apresentam grande diminuição em todos os ETR ( $5x < \text{PASA}$ ).

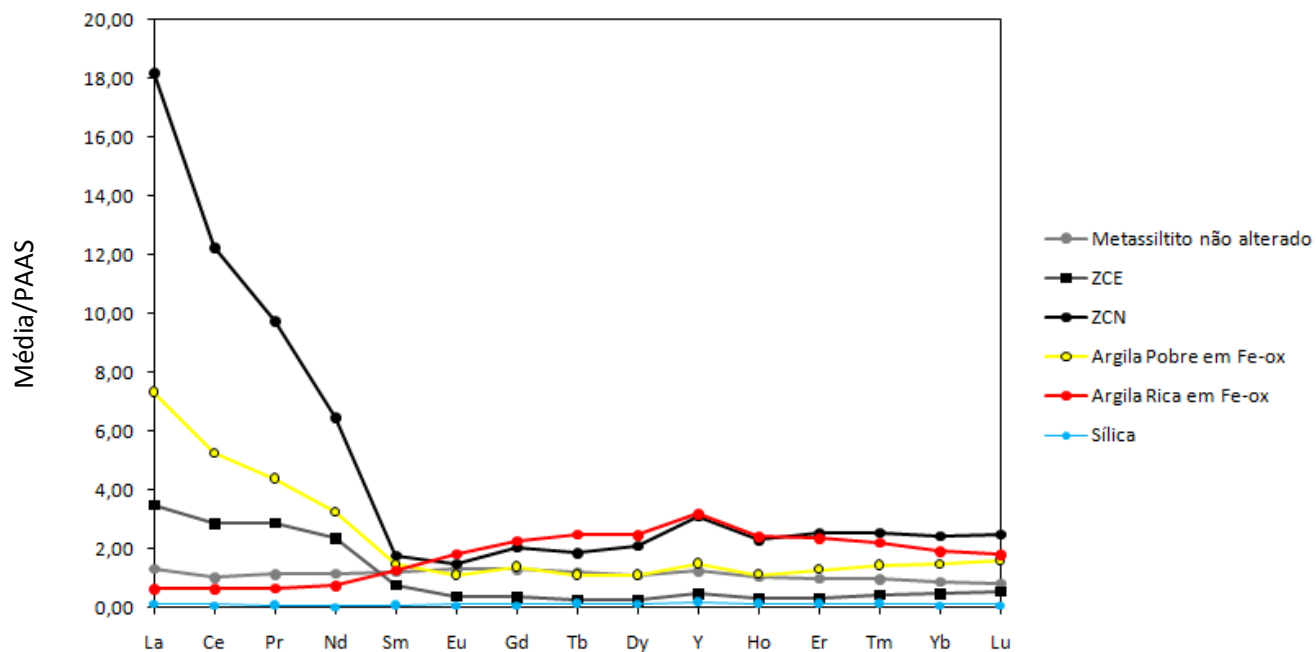


Figura 5.34 - Distribuição dos valores médios de ETR (normalizados - PAAS - Taylor & McLennan, 1989) para o metassiltito cinza e os principais tipos de alteração do depósito.

Tabela 5.9 – Valores médios\* normalizados (PAAS) de ETR para os principais tipos de alteração do depósito

	Metassilito		Zona do Carbono		Zona da Argila		Zona da Sílica
	Cinza	Vermelho	Estruturada	Não Estruturada	Pobre em Fe-ox	Rica em Fe-Ox	
(ppm)							
<b>La</b>	1.34	0.39	3.5	18.2	7.32	0.64	0.14
<b>Ce</b>	1.01	0.35	2.8	12.24	5.25	0.66	0.11
<b>Pr</b>	1.16		2.9	9.74	4.38	0.66	0.07
<b>Nd</b>	1.17	0.15	2.4	6.46	3.26	0.76	0.06
<b>Sm</b>	1.22	0.38	0.8	1.77	1.47	1.28	0.07
<b>Eu</b>	1.29	0.65	0.5	1.51	1.11	1.84	0.1
<b>Gd</b>	1.32		0.5	2.06	1.38	2.27	0.11
<b>Tb</b>	1.2		0.3	1.87	1.11	2.5	0.13
<b>Dy</b>	1.12		0.3	2.12	1.11	2.49	0.14
<b>Y</b>	1.24		0.5	3.12	1.49	3.21	0.18
<b>Ho</b>	1.05		0.3	2.3	1.12	2.43	0.13
<b>Er</b>	1		0.4	2.54	1.28	2.35	0.13
<b>Tm</b>	0.98		0.5	2.56	1.44	2.22	0.13
<b>Yb</b>	0.9	0.85	0.5	2.44	1.48	1.91	0.11
<b>Lu</b>	0.84	0.83	0.6	2.5	1.61	1.82	0.1

\*Média do total de análises realizadas para cada tipo de alteração, vide tabela 5.10

Tabela 5.10 – Valores de ETR para os principais tipos de alteração do depósito

Analyte	METASSILTITO NÃO ALTERADO		CARBONO								
			ESTRUTURADA						NÃO ESTRUTURADA		
			38 - Q	39 - Q	1 - Q	2 - Q	3 - Q	4 - Q	8 - Q	24 - Q	5 - Q
La	50.2	52.3	196.9	55.8	91.0	127.3	140.4	191.9	769.8	339.3	976.2
Ce	77.4	83.8	321.3	109.9	151.9	258.0	200.0	319.8	1024.5	511.9	1387.1
Pr	9.84	10.61	29.96	14.45	20.92	26.03	20.46	41.38	85.40	49.97	122.64
Nd	37.5	42.0	78.5	49.5	69.0	79.3	52.5	149.8	220.1	136.1	301.1
Sm	6.63	6.95	4.12	3.52	2.82	5.10	1.89	8.28	9.39	7.17	12.97
Eu	1.37	1.42	0.49	0.47	0.30	0.69	0.25	0.75	1.25	1.26	2.37
Gd	5.79	6.55	2.38	2.49	1.44	2.35	1.44	2.73	6.87	8.61	13.29
Tb	0.86	0.99	0.24	0.51	0.10	0.14	0.13	0.14	0.94	1.72	1.68
Dy	4.77	5.70	1.53	3.69	1.04	0.71	1.03	0.69	6.87	12.79	10.13
Y	28.9	37.9	11.3	32.7	9.4	6.1	10.4	6.0	57.9	113.4	81.6
Ho	0.89	1.19	0.33	0.85	0.27	0.14	0.29	0.15	1.48	3.13	2.22
Er	2.40	3.28	1.00	2.87	0.74	0.39	0.95	0.75	4.90	9.91	6.88
Tm	0.34	0.45	0.16	0.42	0.14	0.09	0.15	0.14	0.67	1.47	0.97
Yb	2.19	2.88	1.15	2.60	1.12	0.61	1.25	1.20	4.45	9.93	6.30
Lu	0.32	0.41	0.20	0.44	0.23	0.14	0.22	0.22	0.73	1.52	1.00

Analyte	ARGILA								SÍLICA		
	POBRE EM FE-OX					RICA EM FE-OX					
	9 - Q	10 - Q	12 - Q	13 - Q	19 - Q	15 - Q	16 - Q	18 - Q	20 - Q	21 - Q	22 - Q
La	130.9	808.3	338.2	34.6	86.4	41.5	10.8	20.8	2.1	0.4	13.6
Ce	228.6	1151	493.3	59	158.4	78.3	26.8	51.6	4.6	1.0	20.1
Pr	24.52	100.2	42.97	6.63	19.25	8.85	3.15	5.46	0.44	0.04	1.41
Nd	82.6	254.8	116.9	22.3	75.7	33.3	16.8	27.1	2.0	0.5	3.8
Sm	6.54	13.58	5.07	3.36	12.11	8.37	6.09	6.80	0.37	0.22	0.59
Eu	0.66	1.98	0.84	0.55	1.95	2.26	1.92	1.79	0.07	0.07	0.18
Gd	2.18	12.16	5.31	2.78	9.64	13.91	8.74	9.13	0.32	0.32	0.93
Tb	0.15	1.65	0.87	0.41	1.21	2.68	1.57	1.55	0.04	0.07	0.19
Dy	0.7	10.75	6.15	2.29	5.97	16.88	8.68	9.44	0.20	0.53	1.29
Y	5.2	76.2	59.7	18	41.4	121.8	65.1	73.2	1.5	3.2	10.2
Ho	0.12	2.2	1.52	0.56	1.14	3.44	1.78	2.00	0.05	0.10	0.25
Er	0.51	6.91	5.05	1.96	3.88	9.60	4.98	5.49	0.12	0.27	0.68
Tm	0.09	1	0.81	0.36	0.65	1.25	0.68	0.77	0.01	0.04	0.11
Yb	0.75	6.82	5.76	2.75	4.79	7.39	4.06	4.74	0.09	0.22	0.59
Lu	0.13	1.11	1	0.46	0.79	1.08	0.59	0.70	0.01	0.03	0.09

## 6.0 - DISTRIBUIÇÃO DA ALTERAÇÃO HIDROTERMAL E CONTROLE ESTRUTURAL DAS ZONAS MINERALIZADAS

A mineralização de Au-PGE possui seu controle relacionado à combinação de fatores litológicos e estruturais. As principais zonas mineralizadas estão encaixadas na charneira do sinclinal de Serra Pelada com leve distribuição nos flancos. Falhas de orientação ENE-WSW e NE-SW também controlam a distribuição dos teores de Au-PGE sendo consideradas os principais condutos dos fluidos mineralizantes. Uma lente de metarenito intraformacional aos metassiltitos, ocorre na porção central da charneira, exercendo também importante controle na mineralização.

### 6.1 - Distribuição da Alteração Hidrotermal

A distribuição tridimensional das zonas de alteração hidrotermal do depósito de Serra Pelada nos permite subdividi-lo em três zonas baseadas na distribuição dos teores e alteração hidrotermal (Fig. 6.1 – 6.3).

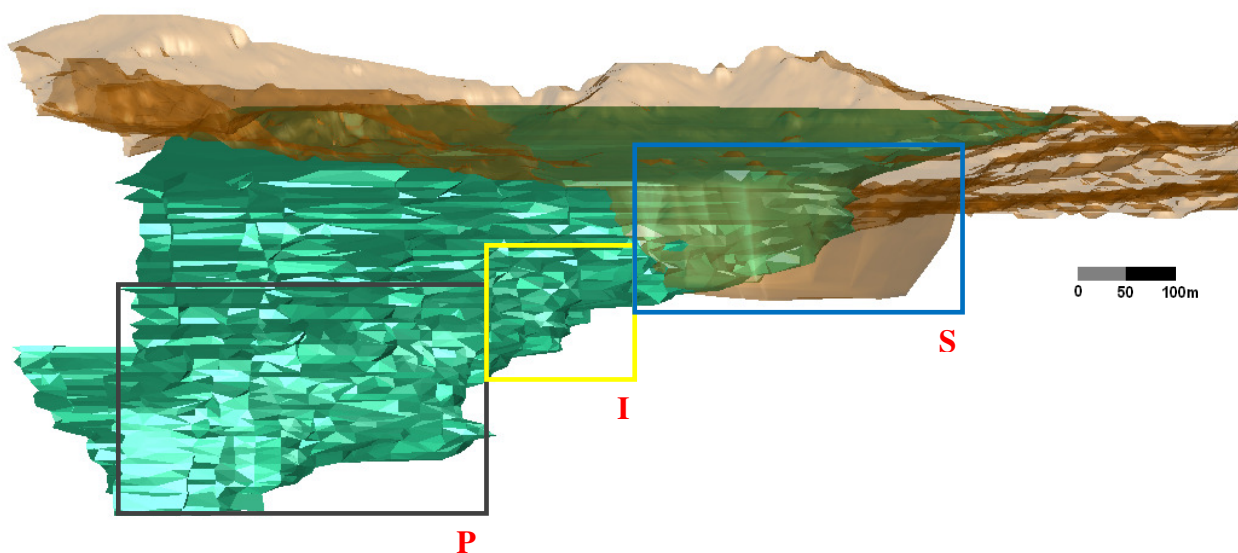


Figura 6.1 - Seção Longitudinal (Visada NNW). (A) Subdivisão do depósito de Au-PGE de Serra Pelada. S: superior; I: intermediária; P: principal.

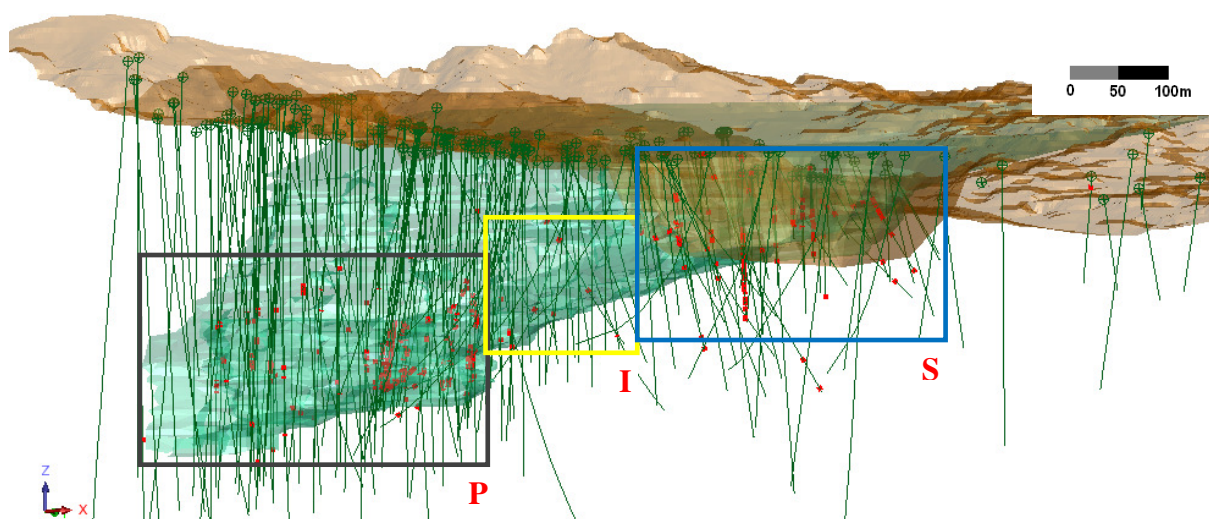


Figura 6.2 - Distribuição dos teores de Au (>10ppm) em relação às zonas do depósito.

As zonas hidrotermalmente alteradas do depósito de Serra Pelada possuem geometria subvertical, com zoneamento da alteração hidrotermal bem definido.

Na porção externa aos metassiltitos, a zona de sílica ocorre envolvendo toda a charneira, substituindo essencialmente os metarenitos. A zona de sílica interna ocorre substituindo principalmente o metarenito interno, na porção central da zona do carbono. É contínua ao longo da charneira do sinclinal com maior intensidade na zona intermediária, onde chega a substituir os metassiltitos (Fig. 6.3, 6.4).

A zona de argila está localizada na porção interna ao contato entre os metassiltitos e os metarenitos dolomíticos, com espessura variável entre 5 a 20 metros, sendo que as argilas ricas em óxidos de ferro tendem a ocupar uma posição externa em relação às argilas pobres em óxidos de ferro. Sua distribuição tridimensional, porém, não é contínua ao longo da charneira da dobra, não ocorrendo na porção intermediária do depósito (Fig. 6.3, 6.4).

A zona do carbono possui espessura de até 40 m, sendo a principal em volume e hospedeira das principais zonas mineralizadas no depósito. Ocorre internamente à zona de argila pobre em óxidos de ferro e com distribuição contínua ao longo de toda a charneira do sinclinal, ocupando a posição central da mesma, e pequena distribuição no flanco inferior na porção SW do depósito (Fig. 6.3, 6.4).

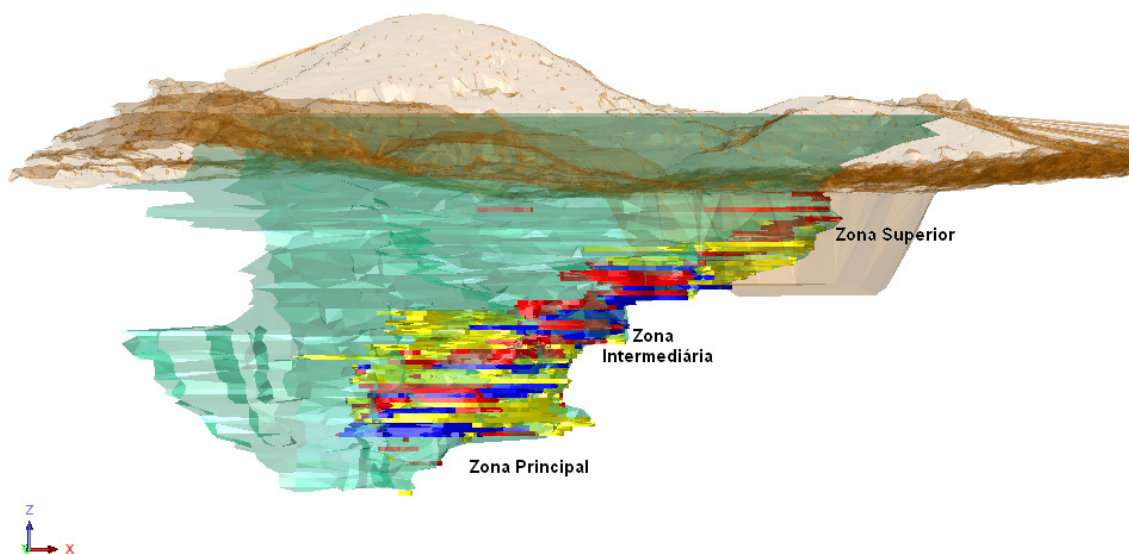


Figura 6.3 - Distribuição tridimensional das zonas de alteração hidrotermal no depósito de Au-PGE de Serra Pelada (Visada para NNW). Carbono (vermelho), Argila (amarelo) e Sílica (Azul).

## 6.2 - Controle Estrutural

A distribuição dos corpos mineralizados no depósito de Serra Pelada é resultado da combinação entre fatores litológicos e estruturais.

O sinclinal de Serra Pelada foi certamente a estrutura responsável pelo aprisionamento do fluido e as falhas de direção ENE e NW seus prováveis principais condutos. Assim como as zonas de alteração, a distribuição do teor também ocorre concentrada ao longo da charneira da dobra com pequena distribuição nos flancos inferior e superior.

Apesar da distribuição dos teores ser aparentemente contínua ao longo dos planos de acamamento, ela está diretamente relacionada à ocorrência do metarenito intraformacional. Esta unidade ocupa a porção central da charneira, subdividindo a zona do carbono (interna e externa aos metarenitos). Quando observamos a distribuição tridimensional dos altos teores, percebe-se que apesar de concordantes com o acamamento a mesma é restrita a porção externa da zona do carbono, com ocorrências locais na sua porção interna.

A zona intermediária constitui a porção onde se registra a menor concentração de altos teores (<10ppm) no depósito (Fig. 6.2). A distribuição dos teores ao longo da charneira do

A zona intermediária constitui a porção onde se registra a menor concentração de altos teores (<10ppm) no depósito (Fig. 6.2). A distribuição dos teores ao longo da charneira do depósito é contínua na zona principal, onde os dados de sondagem permitem uma boa definição do metarenito intraformacional. Nas zonas intermediária e superior os dados de sondagem existentes não permitem associação com a distribuição dos teores em relação ao metarenito interno.

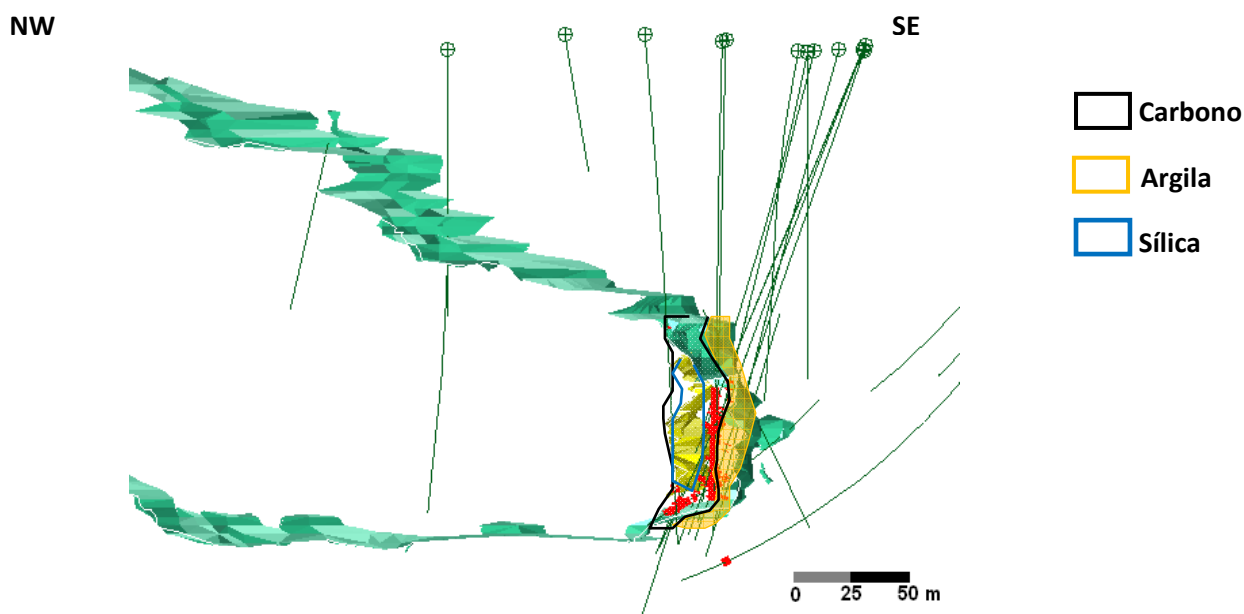


Figura 6.4 - Seção geológica vertical ao longo da zona principal (influência 25m). Distribuição dos teores de Au (>10ppm - vermelho) e relação com a lente de metarenito intraformacional (amarelo), geometria do sinclinal e principais zonas alteração hidrotermal.

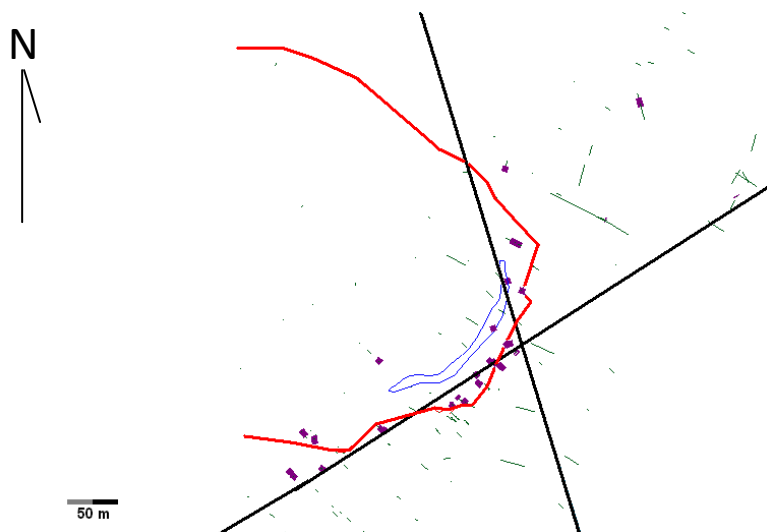


Figura 6.5 - Seção Horizontal no depósito de Serra Pelada (cota 100), mostrando a distribuição dos teores de Au (10ppm) geometria do sinclinal (linha vermelha), metarenito intraformacional (linha azul) e falhas associadas (linha preta).

## 7.0 - GEOCROLOGIA

Os trabalhos de geocronologia foram realizados em duas amostras, sendo uma composta por metaconglomerados polimíticos da Unidade 1 e a outra pelo diorito intrusivo nos metarenitos dolomíticos da mesma.

A amostra do conglomerado polimítico foi coletada em campo, e a amostra do diorito foi coletada do furo SPD-009.

### 7.1 - Diorito (647234, 9243465, 310. UTM-SAD69)

Os zircões analisados apresentam valores de U e Th que variam entre 98-1020 (média de 374) e 83-382 ppm (média de 177), respectivamente (Tab. 8.1). As razões Th/U dos zircões variam de 0.2 a 1.86 (média de 0.75).

Dois conjuntos de idades foram identificados. Há uma fonte dominante com idade média em 2763 +- 4.2Ma (U-Pb-SHRIMP). O outro conjunto de idade determinada possui média em 2021+- 13 Ma (Tab. 8.1). Apenas um zircão de idade 1679+-8 Ma foi encontrado.

Estes dados preliminares permitem concluir que o diorito possui contribuição dos zircões herdados das encaixantes (~2700Ma), com idade máxima em 1978+-5Ma (U-Pb-SHRIMP). Mais informações geológicas são necessárias para o estabelecimento de uma idade mínima para o mesmo (Tab. 7.1).

Tabela 7.1 - Dados composicionais U e Th e idades obtidas pelo método U-Pb SHRIMP para zircões magmáticos (n=7) dos dioritos intrusivos na Unidade 1.

Zircão	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Idade (Ma) $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	Erro (Ma)
<b>0924c.6-1</b>	328.81	136.08	0.41	2763	5
<b>0924c.4-1</b>	114.53	212.96	1.86	2761	9
<b>0924c.7-1</b>	98.72	119.65	1.21	2765	10
<b>0924c.9-1</b>	418.94	103.64	0.25	1988	8
<b>0924c.3-1</b>	1020.84	206.50	0.20	1978	5
<b>0924c.3-2</b>	156.97	83.57	0.53	2099	13
<b>0924C.12-1</b>	480.00	382.00	0.82	1679	8

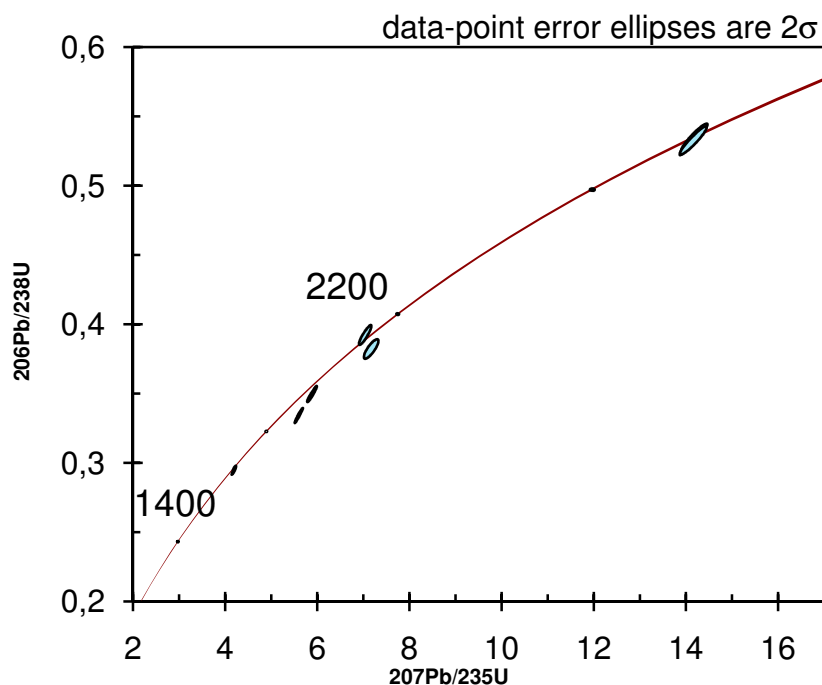


Figura 7.1 - Diagrama concordia mostrando dados de U/Pb (SHRIMP) para zircões do Diorito.

## 7.2 - Metaconglomerado Polimítico (641445, 9339078, 280. UTM-SAD69)

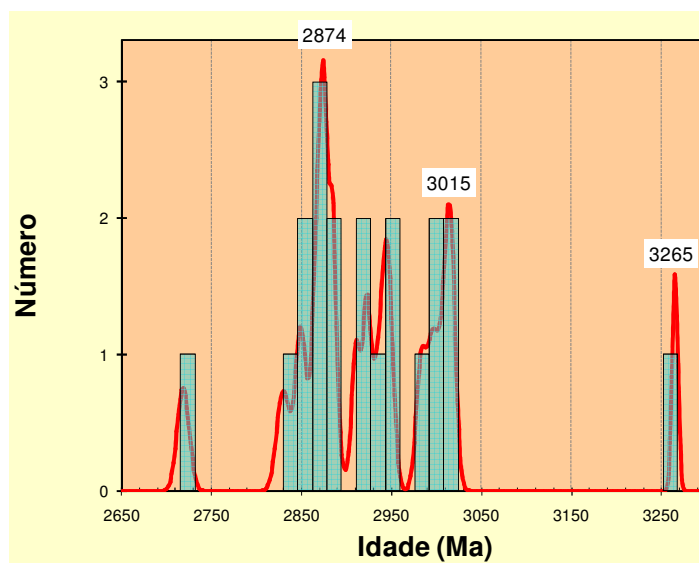
Os zircões analisados apresentam valores de U e Th que variam entre 6-226 (média de 95) e 6-226 ppm (média de 62), respectivamente (Tab. 8.2). As razões Th/U dos zircões variam de 0.03 a 2.55 (média de 0.69).

Foram analisados 27 zircões detríticos do metaconglomerado polimítico. Cerca de 98% das idades obtidas correspondem a idades meso a paleoarqueanas com apenas um zircão de idade Neoarqueana (Tab. 7.2, Fig. 7.2).

Os zircões detríticos apresentam duas fontes distintas. Um conjunto de zircões de idade entre 2700 e 2850Ma, além de outro conjunto de idade mais antiga, superiores a 3000Ma.

Tabela 7.2 - Dados composicionais U e Th e idades obtidas pelo método U-Pb SHRIMP para zircões detríticos (n=27) dos conglomerados basais da Unidade 1.

Zircão	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Idade (Ma) $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Erro (Ma)
0924A.1-1	36.63	27.36	0.75	2860	25
0924A.1-2	62.66	25.32	0.40	2882	19
0924A.1-3	36.30	10.27	0.28	3007	16
0924A.1-4	56.29	32.38	0.58	2718	13
0924A.1-5	77.58	27.30	0.35	3016	10
0924A.1-6	69.61	34.55	0.50	2988	12
0924a.2-1	48.63	19.12	0.39	3013	14
0924a.2-2	146.88	47.89	0.33	2922	9
0924a.2-3	212.83	225.90	1.06	2885	7
0924a.2-4	71.06	61.40	0.86	2983	11
0924a.2-5	67.70	28.91	0.43	2995	12
0924A.2-6	70.69	77.98	1.10	2863	15
0924a.3-1	53.80	32.38	0.60	2829	14
0924a.3-2	70.09	25.32	0.36	2946	12
0924a.3-3	149.72	187.79	1.25	2866	9
0924A.4-1	48.48	26.05	0.54	2933	14
0924A.4-2	176.75	5.70	0.03	2873	8
0924A.4-3	225.56	186.26	0.83	2984	7
0924A.5-1	94.38	22.51	0.24	2911	10
0924A.5-2	106.61	119.59	1.12	2869	11
0924A.5-3	5.95	14.70	2.47	3396	72
0924A.7-1	133.21	88.25	0.66	2877	8
0924A.8-1	75.05	36.11	0.48	2849	11
0924A.8-2	78.37	31.93	0.41	2945	12
0924A.9-1	153.74	108.31	0.70	2862	9
0924A.10-1	152.98	100.00	0.65	3265	6
0924A.11-1	92.87	69.43	0.75	3076	10

Figura 7.2 - Diagrama cumulativo de idades ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) de 27 zircões detríticos, mostrando os grupos principais de fontes sedimentares.

## 8.0 - DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 8.1 - Geologia Regional

A sequência metassedimentar da região de Serra Pelada foi individualizada em três unidades informais. A unidade 1 é composta por metarenitos (localmente dolomíticos) com metaconglomerados mono e polímiticos associados. Os metaconglomerados polímiticos estão intercalados em meio à porção basal dos metarenitos. Estes possuem fragmentos de formação ferrífera bandada, definindo a discordância erosiva com as rochas do grupo Rio Novo. A unidade 2 é formada essencialmente por metassiltitos vermelhos (*red beds*) e carbonosos. A unidade 3 ocorre na porção superior da sequência composta por metarenitos e metaconglomerados mono e polímiticos, sendo os últimos com fragmentos de metassiltito vermelho. A sequência metassedimentar está em contato tectônico com as rochas metavulcanossedimentares do grupo Rio Novo na sua porção sul e com sericita-quartzo xistos indivisos na sua porção norte, sendo caracterizados por rampas frontais de falhas de cavalgamento.

Foram definidas duas fases de deformação que afetaram a sequência metassedimentar. A primeira (D1) é caracterizada por dobras de plano axial (E-W), eixo com caimento suave para SW e foliação plano axial pouco desenvolvida. Estas são truncadas por falhas de cavalgamento regionais paralelos a foliação, como na porção sul, com o sinclinal Elefante cavalgado sobre o sinclinal Serra Pelada. As dobras da segunda fase de deformação são de menor amplitude, possuem plano axial subvertical de orientação N-S e eixo com caimento subhorizontal também de orientação N-S.

### 8.2 - Depósito de Au-PGE de Serra Pelada

#### 8.2.1 - Estratigrafia

Alguns aspectos no contexto local acrescentam informações à estratigrafia proposta nos trabalhos anteriores (e.g Meirelles, 1988, Moroni et al 1999, 2000, Tallarico et al 2000, Grainger et al 2003).

O sinclinal de Serra Pelada é formado da base para o topo por metarenitos com matriz dolomítica, seguidos por uma fina camada de metassiltito carbonoso e por metassiltitos

vermelhos no núcleo da dobra. Interdigitado na porção basal dos metassiltitos, ocorre uma lente de metarenito, se estendendo por pelo menos 350m ao longo eixo do sinclinal.

Os metassiltitos cinza esverdeados que ocorrem no flanco inferior da dobra adquirem esta cor devido à substituição da muscovita-sericita por clorita (principalmente nos metassiltitos vermelhos). Esta substituição ocorre com geometria discordante das zonas de alteração e aparentemente tem uma relação de superposição com as mesmas. Nas porções mais próximas a intrusão diorítica (porção SE do depósito), esta substituição ocorre com maior intensidade, alterando até mesmo rochas da zona do carbono. Tallarico *et al.* 2000, descreve reações de metamorfismo de contato a temperaturas de 550°C nos metarenitos dolomíticos, sendo que os metassiltitos aparentemente não registram nenhuma característica deste evento termal. Pode-se então, sugerir que esta zona de substituição por clorita esteja relacionada ao metamorfismo de contato relacionado à intrusão diorítica.

### 8.2.2 - Geologia Estrutural

O depósito de Au-PGE de Serra Pelada está estruturalmente encaixado na charneira de um sinclinal, hospedados por metassiltitos vermelhos e carbonosos hidrotermalmente alterados no contato com metarenito dolomíticos.

O sinclinal é invertido, com flanco normal de orientação ENE-WSW e mergulho de 20° para SSE com flanco invertido de orientação E-W e mergulho de 30° para S. O eixo tem caimento suave em torno de 20-15° para SW.

A zona de alteração hidrotermal possui zoneamento bem definido, com geometria *stratabound* e zonas de alteração subverticais orientadas de acordo com a distribuição do acamamento sedimentar na charneira do sinclinal.

O controle da distribuição dos teores no depósito está relacionado à combinação de fatores estratigráficos e estruturais. A maior concentração dos altos teores ocorre nos metassiltitos situados entre o metarenito intraformacional e os metarenitos dolomíticos. Uma falha de orientação E-W e movimento normal ocorre próxima ao contato basal entre os metarenitos intraformacionais e os metassiltitos, podendo ter atuado como principal conduto dos fluidos mineralizantes. A relação dos teores com os metarenitos intraformacionais pode ser explicada por fatores reológicos. Durante a deformação, estes metarenitos teriam apresentado maior resistência aos dobramentos, tendendo a se fraturar, resultando em uma porosidade secundária maior que a dos metassiltitos. Com sua proximidade em relação às

zonas de falha, esta unidade poderia representar um *trap* estrutural, aprisionando os fluidos que interagiram por mais tempo com os metassiltitos, aumentando a razão fluido-rocha.

Nas zonas superior e principal, a distribuição dos altos teores ocorre de maneira contínua enquanto na zona intermediária, a continuidade da última não é bem definida, com poucas interseções de altos teores.

A mineralização é posterior ao evento D<sub>1</sub>, sendo as estruturas relacionadas a este evento responsáveis pelos condutos e aprisionamento dos fluidos mineralizantes. O evento D2 aparentemente é posterior a mineralização que provavelmente ocorreu entre estes eventos compressivos. Estas são representadas no depósito por uma fraca crenulação, localmente matéria carbonosa associada.

### 8.2.3 - Alteração Hidrotermal

O depósito de Au-PGE de Serra Pelada possui zoneamento hidrotermal bem definido, caracterizado pela distribuição das zonas do carbono, argila e sílica. Dois aspectos relacionados às mesmas merecem destaque.

1) A alteração hidrotermal é caracterizada pela dessilicificação e argilização dos metassiltitos carbonosos na charneira do sinclinal de Serra Pelada. Ela é definida pela diminuição da sericita/muscovita e aumento da quantidade de caulinita.

2) As principais zonas de alteração mineralizadas são a do carbono e da argila pobre em óxidos de ferro, sendo os de teores mais elevados encontrados na zona do carbono não estruturado.

#### 8.2.3.1 - Zona do Carbono

A geometria da zona do carbono (>4% C<sub>total</sub>) possui forte controle estrutural, encaixada na charneira do sinclinal de Serra Pelada, com pequena distribuição nos flancos. É caracterizada pelo enriquecimento em carbono (4-10% C<sub>total</sub>), e subdividida em duas subzonas: Zona do carbono estruturada não estruturada, sendo a primeira com maiores concentrações de sílica, e menores concentrações de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, além de possuir estrutura primária preservada. Caso a gênese destas fosse exclusivamente relacionada ao ambiente sedimentar, seria de se esperar porções ricas em carbono também distribuídas nos flancos da dobra, fato que não ocorre.

Outro fator importante é a geometria do sinclinal de Serra Pelada. A análise de dobras parasíticas e a interpretação de seções geológicas caracterizam que a dobra apesar de muito apertada, possui fechamento em arco, sem nenhum espessamento apical. A zona do carbono pode atingir até 50m de espessura, sendo esta, duas vezes maior que a dos metassiltitos cinza da unidade 2. Portanto pode se afirmar que a zona do carbono substitui parcialmente os metassiltitos vermelhos na porção interna da charneira. Localmente ocorrem finas laminais de matéria carbonosa nos metarenitos dolomíticos discordantes do acamamento principal, sugerindo que o carbono pode ter sido remobilizado durante o processo de alteração hidrotermal.

Estudos de isótopos de carbono realizados por Bettencourt *et al.* (2007) descrevem rochas denominadas “hidrotermalito” com forte depleção em  $C_{13}$ . Fluidos hidrotermais ricos em carbono podem se originar pela decarbonização ou lixiviação de carbonatos, ou ainda pela oxidação, ou hidrólise do carbono reduzido em rochas sedimentares e metamórficas (Ohomoto & Rye, 1979). Estes fatores sugerem que o carbono pode ter sido remobilizado também durante o processo de alteração hidrotermal.

A concentração do Au-Pt-Pd não possui relação direta com os teores de carbono. Tanto as rochas da zona do carbono estruturado quanto às da zona do carbono não estruturado possuem entre 4% e 10%  $C_{total}$  apresentando teores de Au+Pt+Pd bastante variáveis.

Estes fatores permitem concluir que esta zona rica em carbono não possui sua gênese relacionada ao ambiente sedimentar. Como a concentração do carbono não possui relação direta com os teores de Au-PGE observados, pode-se apenas sugerir que seja pré/sin-mineralização.

#### 8.2.3.2 - Zona da Argila

As zonas da argila são caracterizadas pela substituição quase completa da sericita/muscovita por caulinita, além da ausência de matéria carbonosa. Elas estão distribuídas na porção externa de toda charneira do sinclinal com exceção da zona intermediária. Localmente pode ocorrer na porção central da charneira substituindo zonas de carbono. Os teores de sílica são baixos e os de  $Fe_2O_3$  são altos em relação aos metassiltitos não alterados. A distribuição entre os teores de  $Fe_2O_3$ , permitem sua subdivisão em duas subzonas:

Uma rica em óxi-hidróxidos de ferro (>40 %<sub>wt</sub>) e baixos teores de SiO<sub>2</sub> (<20%<sub>wt</sub>) que raramente encontra-se mineralizada e outra pobre em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (>20%) e concentração de SiO<sub>2</sub> relativamente mais elevada (~40%<sub>wt</sub>), constituindo importante porção mineralizada do depósito.

Sua relação com a zona do carbono é de sobreposição. Ambas as zonas de argila ocorrem brechadas, com fragmentos de metassilito carbonoso, confirmando esta relação.

#### 8.2.3.3 - Zona da Sílica

As zonas de sílica são produtos da substituição dos metarenitos dolomíticos e em menor proporção dos metassilitos resultando em uma rocha constituída essencialmente por quartzo fino a microcristalino, localmente com sericita/muscovita associada. Possui enriquecimento em Bi, Pb e Mo.

Ocorrem no contato entre os metassilitos e os metarenitos dolomíticos envolvendo a charneira do sinclinal. Na porção central da charneira, esta porção silicificada ocorre principalmente hospedada pelos metarenitos intraformacionais.

A relação temporal da zona da sílica é claramente sincrônica às zonas do carbono e argila, havendo se desenvolvido durante todo o processo de alteração hidrotermal. Pode se observar porções silicificadas que se sobrepuseram ou foram sobrepostas por zonas de argila e carbono.

#### 8.2.4 - Afinidade do Au-Pt-Pd

Os corpos de minério no depósito de Serra Pelada estão associados principalmente a zona do carbono (principal em volume e Au contido) e em menor proporção às zonas de argila pobres em óxidos de ferro. A zona da sílica localmente apresenta concentração de teores economicamente viáveis.

Três tipos de ligas de Au-Pt-Pd foram identificadas na zona do carbono, sendo uma essencialmente composta por Au de alta pureza com pequenas contaminações de prata (Ag<2%), outra rica em platina (52-23%) e paládio (26-41%) com pequena contribuição de Au (5-10%) Cu e Fe. O terceiro tipo é constituído essencialmente por paládio (>65%) com pequenas contribuições de Cu e Fe. Maiores estudos ainda são necessários para a definição exata das fases minerais. Na zona da argila pobre em óxidos de ferro a liga rica em platina não foi observada nas análises realizadas, sendo que as ligas ricas em paládio chegam a 75 %.

As principais zonas mineralizadas possuem associação positiva com os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e relação inversa com os teores de  $\text{SiO}_2$ . Esta relação é comprovada pelo aumento da caulinita e redução da sericita/muscovita nas zonas mais alteradas. Estas possuem os principais enriquecimentos (em relação ao metassilito não alterado) relacionados à elementos crustais como Bi, Pb, Cu e U e ETRL.

As zonas de argila ricas em óxidos de ferro, apesar de não mineralizadas, frequentemente apresenta enriquecimento nos mesmos elementos. Ambas as zonas da argila ainda apresentam enriquecimentos em Co, Ni, não observado na zona do carbono.

### 8.2.5 - Modelo Genético

Os principais modelos genéticos para o depósito de Au-PGE de Serra Pelada são:

1 - Hospedado por zonas de cisalhamento (Moroni *et al.* 1999). Estes propõem que a mineralização tenha ocorrido em vários processos de concentração de Au-PGE durante a evolução de uma zona de cisalhamento, relacionada a zona de cisalhamento do Cinzento. O processo de concentração supergênica teria importante contribuição na concentração dos teores. Os autores sugerem que a origem dos PGE poderia estar relacionada ao complexo máfico-ultramáfico do Luanga.

2 - Hospedado por rochas metassedimentares relacionado a intrusões dioríticas (Tallarico *et al.* 2000). Estes autores associam a mineralização e a alteração hidrotermal ao resfriamento das intrusões dioríticas. As solubilidades do Au e PGE como complexos a cloro são da mesma magnitude e caem rapidamente com o aumento do pH ou redução da  $f\text{O}_2$  (Montain & Wood, 1998). Os autores propõem que os metassilitos carbonosos atuaram como uma barreira redutora, diminuindo o grau de oxidação do fluido e precipitando os metais. O processo seria acompanhado pela dissolução dos carbonatos contidos nos metarenitos, gerando processos tipo *open-space-filling* desenvolvendo uma envoltória externa de jasperóide (sílica) e causando um aumento de pH. Sugerem um fluido salino, oxidante, e possivelmente ácido.

3 - Relacionado à alteração distal dos depósitos do tipo IOCG (Grainger 2003, Grainger *et al.* 2007). Os autores destacam similaridades entre o depósito de Serra Pelada e os depósitos IOCG da região de Carajás (Águas Claras, Igarapé Bahia-Alemão, Salobo e Sossego). Essas incluiriam associação geoquímica semelhante (ETR-L, Co, Ni, U). Este modelo, apresenta como principal fundamento a associação geoquímica com ETRL, Co, Cu,

Ni, Pb, Zn, As, Bi, W e U, observada em outros depósitos desse tipo em Carajás e também confirmada neste trabalho.

Os dados obtidos neste trabalho corroboram com o modelo genético proposto por Grainger 2003 e Grainger *et al.* 2007, principalmente em relação a associação geoquímica. Apesar de ser um depósito claramente relacionado a alteração hidrotermal, informações diretas sobre a composição dos fluidos mineralizantes ainda são necessárias para a determinação da origem dos mesmos e a definição de um modelo genético apropriado.

## 9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F.F.M.de, Hasui Y., Brito Neves B.B.de, Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Science Reviews*, **17**: 1-29.
- Araújo O.J.B., Maia R.G.N., João X.S.J., Costa J.B.S. 1988. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. *In: SBG, Congresso Latino-Americano de Geologia, 7, Anais*, p.: 324-338.
- Araújo O.J.B. & Maia R.G. 1991. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás: Serra dos Carajás, Folha SB.22-Z-A. Brasília: DNPM/CPRM, 164 pp.
- Barbosa et al. 1966. Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do "Projeto Araguaia". Rio de Janeiro, Monografia da Div. Geol. Min., **19**: 1-94.
- Barros C.E.deM., Dall'Agnoll R., Barbey P., Boullier A.M. 1997. Geochemistry of the Estrela Granite Complex, Carajás region, Brazil: an example of an Archaean A-type granitoid. *Journal of South American Earth Sciences*, **10**: 321-330.
- Barros C.E.M. & Barbey P. 2000. Significance of garnet-bearing metamorphic rocks in the Archean supracrustal series of the Carajás mining province, northern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**: 367-370.
- Beisiegel V.R., Bernardelli A.L., Drummond N.F., Ruff A.W., Tremaine J.W. 1973. Geologia e Recursos Minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, **3**:215-242
- Beisiegel V.R. 1982. Distrito ferrífero da Serra dos Carajás. *In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Anais*, p.: 21-46.
- Brito-Neves B.B.de & Cordani U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Research*, **53**: 23-40.
- Bettencourt J.S., Girardi V.A.V., Moroni M. 2007. Metasandstone-hosted Au-PGE mineralization of the Serra Pelada deposit, Serra dos Carajás (Pará State, Brazil): A Stable Isotope Reconnaissance Study. *Simpósio de Geologia da Amazônia, 10, Belém. Anais*, p.: 143-146.

- Cabral A.R., Lehmann B., Kwitko-Ribeiro R., Cravo Costa C.H. 2002. Palladium and platinum minerals from the Serra Pelada Au-Pd-Pt deposit, Carajás mineral province, northern Brazil. *The Canadian Mineralogist*, **40**: 1451-1463.
- Compston W., Williams I.S., Kirschvink J.L., Zang Zichao, Guogan M.A. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian timescale. *Journal of Geological Society*, **149**: 171-184.
- Cordani U.G., Tassinari C.C.G., Teixeira W., Basei M.A.S., Kawashita K. 1979. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *In: Congresso Geológico Chileno*, 2, *Actas*, p.: 137-148.
- Costa L.P. 2007. Caracterização das seqüências metavulcanossedimentares da porção leste da Província Mineral Carajás, Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 113 p.
- Colossus Minerals Inc. 2008. Colossus Minerals Assays Confirm Spectacular Grades of Gold-Palladium Mineralization Remaining At Serra Pelada, Brazil. News Release. [www.colossusminerals.com](http://www.colossusminerals.com).
- Colossus Minerals 2009<sup>1</sup>. Serra Pelada Spectral Report. Relatório interno, 28p.
- Colossus Minerals 2009<sup>2</sup>. Characterization of 2 composite samples at Serra Pelada Deposit. Relatório interno, 60p.
- Colossus Minerals 2009<sup>3</sup>. Drill Section 450NE. [www.colossusminerals.com](http://www.colossusminerals.com)
- Dall'Agnol R., Althoff F.J., Souza Z.S., Leite A.A.S. 1998. Associações granitóides Arqueanos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 40, *Anais*, p. 53.
- De Laeter J.R. & Kennedy A.K. 1998. A double focusing mass spectrometer for geochronology. *International Journal of Mass Spectrometry*, **178**: 43-50.
- Diella V., Ferrario A., Girardi V.A.V. 1995. PGE and PGM in the Luanga mafic-ultramafic intrusion in Serra dos Carajás (Pará State, Brazil). *Ore Geology Reviews*, **9**: 445-453.
- DOCEGEO 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 35, *Anais*, p. 11-54.

- Figueiras A.J.M. & Villas R.N.N. 1984. Estudo Petrológico e sedimentológico da seqüência clástica (Pós-Grupo-Grão-Pará) da Serra dos Carajás, estado do Pará. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Anais, p.: 832-841.*
- Gibbs A.K., Wirth K.R., Hirata W.K., Olszewski W.J. 1986. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências, 16: 201-211.*
- Grainger C.J. 2003. The Epigenetic Sediment-Hosted Serra Pelada Au-PGE Deposit and its Potential Genetic Association with Varying Styles of Cu-Au Mineralisation within the Carajás Mineral Province, Amazon Craton, Brazil. Tese de doutorado. University of Western Austrália, 236p.
- Grainger C.J., Groves D.I., Tallarico F.H.B., Fletcher I.R. 2007. Metallogenesis of the Carajás Mineral Province, Southern Amazon Craton, Brazil: Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base- and precious-metal mineralisation. *Ore Geology Reviews.2007. 39p*
- Hirata W.K., Rigon J.C., Kadkaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Anais, p.: 100-110.*
- Ludwig K.R. 1999. Using Isoplot/Ex, Version 2.01: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1a: 47 pp.*
- Macambira M.J.B. & Lancelot J.R. 1991. Em busca do embasamento arqueano da região de Rio Maria, sudeste do estado do Pará. *In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Anais, p.: 49-58.*
- Machado N., Lindenmayer Z., Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U-P geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research, 49: 329-354.*
- Meireles E.M. & Silva A.R.B. 1988. Depósito de ouro de Serra Pelada, Marabá, Pará. *In: C. Schobbenhaus & C.E.S. Coelho (eds.) Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília, DNPM/CVRD, 3: 547-557.*

- Moroni, M.; Girard, V.A.V. 1999. Towards a Model for the Serra Pelada Au-Pd-Pt deposit, Serra dos Carajás, Brazil. *Mineral Deposits: Process to Processing*. 759-762.
- Moroni, M.; Girard, V.A.V.; Ferrario A. 2001. The Serra Pelada Au-PGE deposit, Serra dos Carajás (Pará State, Brazil). Geological and Geochemical indications for a composite mineralising process. *Mineralium Deposita*. **36**: 768-785.
- Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescricao e redefinição litoestratigráfica. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 7:177-197.
- Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.-M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, **166**: 159-171.
- Pinheiro R.V.L. & Holdsworth R.E. 2000. Evolução tectonoestratigráfica dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**: 597-606.
- Rosière C.A., Baars F.J., Seoane J.C.S, Lobato. L.M., Silva L.L.da, Souza S.R.C.de, Mendes G.E. 2005. Structure and iron mineralisation of the Carajás Province. *Applied Earth Science: IMM Transactions section B*, **115**: 126-133.
- Tallarico F.H.B., Coimbra C.R., Costa, C.H.C. 2000. The Serra Leste Sediment Hosted Au-(Pt-Pd) Mineralization, Carajás Province. *Revista Brasileira de Geociências* **30**(2): 226-229.
- Tallarico, F.H.B.; Mcnaughton, N.J. ; Groves, D.I.; Fletcher, I.R.; Figueiredo, B.R.; Carvalho, J.B.; Rego, J.L.; Nunes, A.R. 2004. Geological and SHRIMP II U-Pb constraints on the age and origin of the Breves Cu-Au-(W-Bi-Sn) deposit, Carajás, Brazil. *Mineralium Deposita*. **39**: 68-86.
- Tassinari C.C.G.& Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**(3): 174-182.

- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do cráton amazônico. *In*: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B.de Brito Neves (eds.) *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. p.: 471-485.
- Trendall A.F., Basei M.A.S., De Laeter J.R., Nelson D.R. 1998. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás Formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **11**: 265-277.
- Villas R.N. & Santos M.D. 2001. Gold deposits of the Carajás mineral province: deposit types and metallogenesis. *Mineralium Deposita*, **36**: 300-331.

**ANEXO 1 - BOLETINS DE ANÁLISES QUÍMICAS**



ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

**Client:** Colossus Geologia e Participações Ltda  
Avenida Getulio Vargas Nº 124 Sala 1303  
Bairro Funcionarios  
Belo Horizonte MG Brasil

Submitted By: Gabriel Berni  
Receiving Lab: Brazil-Goiania  
Received: February 17, 2009  
Report Date: March 04, 2009  
Page: 1 of 2

## CERTIFICATE OF ANALYSIS

GOI09000085.1

### CLIENT JOB INFORMATION

Project: UFMG - SP  
Shipment ID: 654  
P.O. Number: GABRIEL  
Number of Samples: 27

### SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES

Method Code	Number of Samples	Code Description	Test Wgt (g)	Report Status
R200	27	Crush, split and pulverize rock to 200 mesh		Completed
4A&4B	27	Whole Rock Analysis Majors and Trace Elements	0.2	Completed
Ship	27	Shipping charges for collect packages		
VAN Split Pulp	27	Analysis sample split/packet		

### SAMPLE DISPOSAL

STOR-PLP Store After 90 days Invoice for Storage

### ADDITIONAL COMMENTS

Acme does not accept responsibility for samples left at the laboratory after 90 days without prior written instructions for sample storage or return.

Invoice To: Colossus Geologia e Participações Ltda  
Avenida Getulio Vargas Nº 124 Sala 1303  
Bairro Funcionarios  
Belo Horizonte MG  
Brasil

CC:



This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.  
All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of analysis only.  
\*\* asterisk indicates that an analytical result could not be provided due to unusually high levels of interference from other elements.



ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.  
1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Colossus Geologia e Participações Ltda**  
Avenida Getulio Vargas Nº 124 Sala 1303  
Bairro Funcionarios  
Belo Horizonte MG Brasil

Project: UFMG - SP  
Report Date: March 04, 2009

Page: 2 of 2 Part 1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

GOI09000085.1

	Method Analyte Unit MDL	WGHT																			4A-4B	
		Wgt	Al2O3	Ba	Be	CaO	Ce	Co	Cr2O3	Cs	Dy	Er	Eu	Fe2O3	Ga	Gd	Hf	Ho	K2O	La	LOI	
		kg	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	
1 - Q	Drill Core	0.20	5.71	373	<1	<0.01	321.3	1.8	0.012	2.0	1.53	1.00	0.49	0.70	6.5	2.38	1.5	0.33	1.13	196.9	9.9	
2 - Q	Drill Core	0.18	11.21	657	<1	<0.01	109.9	0.9	0.012	4.1	3.69	2.87	0.47	0.57	13.6	2.49	2.2	0.85	2.93	55.8	6.7	
3 - Q	Drill Core	0.20	9.88	666	<1	0.03	151.9	0.8	0.017	3.9	1.04	0.74	0.30	1.00	9.6	1.44	2.7	0.27	2.56	91.0	10.7	
4 - Q	Drill Core	0.22	9.21	1171	<1	<0.01	258.0	1.1	0.018	4.2	0.71	0.39	0.69	0.73	10.6	2.35	2.2	0.14	2.47	127.3	12.2	
5 - Q	Drill Core	0.08	20.29	786	2	0.04	1025	13.9	0.024	4.2	6.87	4.90	1.25	2.34	25.2	6.87	6.6	1.48	2.10	769.8	11.8	
6 - Q	Drill Core	0.16	30.36	1249	2	0.01	511.9	16.0	0.040	6.7	12.79	9.91	1.26	5.87	37.3	8.61	7.1	3.13	3.86	339.3	19.2	
7 - Q	Drill Core	0.22	22.88	349	3	0.04	1387	19.6	0.028	1.4	10.13	6.88	2.37	5.46	26.4	13.29	6.6	2.22	0.72	976.2	16.6	
8 - Q	Drill Core	0.10	9.35	211	<1	0.03	200.0	36.3	0.017	1.1	1.03	0.95	0.25	2.38	10.2	1.44	2.9	0.29	0.73	140.4	9.5	
9 - Q	Drill Core	0.04	27.33	49	3	0.01	228.6	114.8	0.025	0.1	0.70	0.51	0.66	1.84	16.0	2.18	2.4	0.12	0.13	130.9	16.6	
10 - Q	Drill Core	0.08	27.79	318	3	0.04	1151	183.2	0.029	0.5	10.75	6.91	1.98	2.38	29.4	12.16	8.0	2.20	0.13	808.3	14.6	
12 - Q	Drill Core	0.08	32.62	812	2	0.03	493.3	17.0	0.059	5.0	6.15	5.05	0.84	4.71	38.6	5.31	7.7	1.52	2.58	338.2	11.6	
13 - Q	Drill Core	0.12	20.48	4	1	0.37	59.0	122.5	0.031	0.2	2.29	1.96	0.55	13.24	31.4	2.78	4.7	0.56	<0.01	34.6	13.8	
14 - Q	Drill Core	0.16	7.19	109	<1	0.01	248.7	3.0	0.008	0.4	5.64	4.32	0.55	1.20	7.3	3.74	2.5	1.34	0.32	191.9	3.2	
15 - Q	Drill Core	0.16	14.89	18	3	0.01	78.3	166.6	0.013	0.1	16.88	9.60	2.26	57.19	21.6	13.91	4.2	3.44	<0.01	41.5	8.0	
16 - Q	Drill Core	0.28	16.31	231	3	5.03	26.8	908.2	0.028	0.1	8.68	4.98	1.92	38.60	24.3	8.74	5.6	1.78	0.05	10.8	10.0	
17 - Q	Drill Core	0.22	13.30	97	7	0.03	51.6	83.6	0.041	<0.1	9.44	5.49	1.79	60.34	26.9	9.13	2.9	2.00	<0.01	20.8	8.6	
18 - Q	Drill Core	0.10	11.35	118	2	0.01	92.3	45.0	0.015	0.5	9.37	6.52	1.00	5.85	14.8	6.22	2.9	2.15	0.43	53.4	6.0	
19 - Q	Drill Core	0.08	25.27	71	4	0.02	158.4	32.8	0.029	<0.1	5.97	3.88	1.95	19.96	36.2	9.64	7.2	1.14	<0.01	86.4	12.7	
20 - Q	Drill Core	0.28	0.14	41	<1	<0.01	4.6	3.3	0.002	<0.1	0.20	0.12	0.07	0.62	<0.5	0.32	<0.1	0.05	<0.01	2.1	0.7	
21 - Q	Drill Core	0.24	0.17	144	<1	<0.01	1.0	14.0	0.002	<0.1	0.53	0.27	0.07	0.93	0.5	0.32	<0.1	0.10	<0.01	0.4	0.5	
22 - Q	Drill Core	0.16	0.97	40	<1	<0.01	20.1	66.7	0.003	<0.1	1.29	0.68	0.18	1.30	1.6	0.93	0.2	0.25	0.02	13.6	1.3	
23 - Q	Drill Core	0.16	1.30	110	4	0.01	21.0	65.9	0.005	<0.1	2.30	1.48	0.38	29.32	3.5	1.80	0.9	0.51	0.02	12.7	3.8	
24 - Q	Drill Core	0.12	11.38	382	<1	<0.01	319.8	2.8	0.015	2.4	0.69	0.75	0.75	0.85	10.3	2.73	3.3	0.15	1.42	191.9	9.0	
25 - Q	Drill Core	0.46	18.06	618	2	<0.01	88.2	189.3	0.019	5.0	4.01	2.09	1.07	6.94	23.2	4.75	4.9	0.75	3.69	42.3	5.5	
26 - Q	Drill Core	0.18	16.81	673	2	<0.01	69.2	665.4	0.017	5.6	3.88	2.31	0.83	7.30	22.2	4.01	4.6	0.83	4.05	32.5	4.7	
38 - Q	Drill Core	0.18	19.26	782	1	<0.01	77.4	24.3	0.017	6.2	4.77	2.40	1.37	4.81	23.4	5.79	3.5	0.89	4.35	50.2	4.5	
39 - Q	Drill Core	0.30	18.84	681	2	<0.01	83.8	28.1	0.018	5.8	5.70	3.28	1.42	5.09	24.5	6.55	4.0	1.19	4.21	52.3	4.4	



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

www.acmelab.com

**Client:** Colossus Geologia e Participações Ltda  
Avenida Getulio Vargas Nº 124 Sala 1303  
Bairro Funcionarios  
Belo Horizonte MG Brasil

**Project:** UFMG - SP  
**Report Date:** March 04, 2009

**Page:** 2 of 2 Part 2

CERTIFICATE OF ANALYSIS

GOI09000085.1

	Method Analyte Unit MDL	Lu	MgO	MnO	Na2O	Nb	Nd	Ni	P2O5	Pr	Rb	Sc	SiO2	Sm	Sn	Sr	Sum	Ta	Tb	Th	4A-4B TiO2
		ppm	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%
1 - Q	Drill Core	0.20	0.19	<0.01	0.09	4.3	78.5	<20	0.09	29.96	36.9	8	81.77	4.12	1	54.2	99.90	0.3	0.24	7.9	0.26
2 - Q	Drill Core	0.44	0.39	<0.01	0.20	8.1	49.5	<20	0.05	14.45	97.8	18	77.34	3.52	2	48.2	99.90	0.7	0.51	12.1	0.51
3 - Q	Drill Core	0.23	0.37	0.01	0.15	7.9	69.0	<20	0.06	20.92	73.4	15	74.67	2.82	3	50.5	99.89	0.7	0.10	8.7	0.46
4 - Q	Drill Core	0.14	0.38	<0.01	0.17	6.8	79.3	<20	0.07	26.03	69.8	13	74.04	5.10	2	79.2	99.77	0.5	0.14	8.5	0.43
5 - Q	Drill Core	0.73	0.38	0.01	0.20	22.0	220.1	35	0.50	85.40	72.5	17	60.56	9.39	4	249.9	99.35	1.9	0.94	23.7	1.11
6 - Q	Drill Core	1.52	0.54	<0.01	0.29	26.1	136.1	95	0.30	49.97	128.4	39	37.54	7.17	6	131.0	99.59	2.1	1.72	28.7	1.56
7 - Q	Drill Core	1.00	0.20	<0.01	0.08	22.0	301.1	145	0.53	122.6	24.2	18	51.68	12.97	4	183.4	99.44	1.9	1.68	22.5	1.19
8 - Q	Drill Core	0.22	2.09	0.01	0.08	8.2	52.5	180	0.10	20.46	20.6	11	75.11	1.89	3	39.9	99.85	0.6	0.13	13.1	0.44
9 - Q	Drill Core	0.13	8.08	0.01	<0.01	5.9	82.6	730	0.11	24.52	4.1	5	45.17	6.54	3	73.9	99.74	0.6	0.15	8.6	0.34
10 - Q	Drill Core	1.11	12.39	0.01	0.03	25.7	254.8	980	0.42	100.2	4.1	19	40.15	13.58	7	163.0	99.24	1.7	1.65	35.2	1.15
12 - Q	Drill Core	1.00	0.38	0.01	0.18	27.7	116.9	90	0.28	42.97	89.4	39	45.58	5.07	7	111.7	99.65	2.3	0.87	47.5	1.65
13 - Q	Drill Core	0.46	15.80	0.04	<0.01	14.6	22.3	678	0.18	6.63	0.3	24	34.65	3.36	4	2.1	99.64	1.3	0.41	16.5	0.90
14 - Q	Drill Core	0.64	0.08	<0.01	0.02	6.9	44.5	32	0.10	19.04	11.6	7	87.50	2.61	1	38.1	99.95	0.6	0.75	8.7	0.28
15 - Q	Drill Core	1.08	0.07	0.05	<0.01	11.7	33.3	187	0.28	8.85	0.3	30	18.62	8.37	4	5.9	99.88	1.0	2.68	13.7	0.72
16 - Q	Drill Core	0.59	0.71	1.46	<0.01	21.9	16.8	873	4.19	3.15	1.4	22	21.26	6.09	4	48.0	99.72	1.3	1.57	6.2	1.94
17 - Q	Drill Core	0.70	0.01	0.39	<0.01	15.1	27.1	415	0.69	5.46	0.3	27	15.73	6.80	4	13.9	99.72	0.5	1.55	5.8	0.50
18 - Q	Drill Core	0.81	0.14	0.02	0.02	10.0	29.7	242	0.21	9.34	18.5	15	75.24	3.46	4	4.4	99.93	0.9	1.37	9.9	0.61
19 - Q	Drill Core	0.79	0.21	<0.01	<0.01	24.5	75.7	271	0.46	19.25	0.4	20	39.94	12.11	6	10.3	99.84	1.7	1.21	32.4	1.20
20 - Q	Drill Core	0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.8	2.0	<20	0.02	0.44	<0.1	<1	98.65	0.37	<1	0.9	100.07	<0.1	0.04	<0.2	<0.01
21 - Q	Drill Core	0.03	<0.01	0.01	<0.01	0.9	0.5	<20	0.03	0.04	0.1	<1	98.47	0.22	<1	0.5	100.04	<0.1	0.07	<0.2	<0.01
22 - Q	Drill Core	0.09	0.02	<0.01	<0.01	1.0	3.8	46	0.04	1.41	0.8	2	96.32	0.59	<1	1.0	100.03	<0.1	0.19	0.8	<0.01
23 - Q	Drill Core	0.21	<0.01	0.02	<0.01	1.8	10.6	261	0.24	2.62	0.8	9	65.18	1.92	<1	2.4	99.95	0.2	0.35	1.4	0.06
24 - Q	Drill Core	0.22	0.24	<0.01	0.11	10.6	149.8	<20	0.13	41.38	46.6	11	76.13	8.28	3	102.3	99.88	0.8	0.14	8.9	0.55
25 - Q	Drill Core	0.31	3.66	0.13	0.17	13.2	36.5	132	0.04	10.00	159.1	19	60.67	5.99	2	38.5	99.63	1.2	0.70	21.5	0.71
26 - Q	Drill Core	0.33	2.04	0.09	0.19	12.3	29.5	107	0.03	7.71	170.3	17	62.89	4.62	2	41.2	98.74	1.1	0.65	18.2	0.63
38 - Q	Drill Core	0.32	2.53	0.06	0.28	13.8	37.5	71	0.04	9.84	185.9	18	63.32	6.63	3	58.3	99.83	1.3	0.86	17.7	0.70
39 - Q	Drill Core	0.41	2.32	0.07	0.27	14.7	42.0	88	0.03	10.61	182.3	18	63.91	6.95	3	53.5	99.83	1.3	0.99	19.5	0.69



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

www.acmelab.com

**Client:** Colossus Geologia e Participações Ltda  
Avenida Getulio Vargas Nº 124 Sala 1303  
Bairro Funcionarios  
Belo Horizonte MG Brasil

**Project:** UFMG - SP  
**Report Date:** March 04, 2009

**Page:** 2 of 2 Part 3

CERTIFICATE OF ANALYSIS

GOI09000085.1

	Method Analyte Unit MDL	4A-4B							2A Leco		Ag	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	1DX
		Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr	TOT/C	TOT/S											Sb
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1 - Q	Drill Core	0.16	8.4	77	0.7	11.3	1.15	73.6	7.47	0.05	0.2	<0.5	21.1	1.6	<0.1	7.9	0.02	0.4	3.0	5.8	<0.1
2 - Q	Drill Core	0.42	4.0	110	1.2	32.7	2.60	82.8	2.29	<0.02	0.1	0.6	33.8	1.4	<0.1	13.4	<0.01	0.2	4.1	4.1	<0.1
3 - Q	Drill Core	0.14	3.4	184	2.1	9.4	1.12	81.5	9.09	0.04	0.3	1.3	28.5	2.9	<0.1	15.6	0.02	0.4	4.7	5.8	<0.1
4 - Q	Drill Core	0.09	6.2	186	2.2	6.1	0.61	70.8	10.46	0.02	0.2	<0.5	20.6	3.5	<0.1	10.4	<0.01	0.4	5.2	10.1	<0.1
5 - Q	Drill Core	0.67	22.4	250	3.7	57.9	4.45	214.9	4.96	0.06	92.0	22.7>	100000	1299	<0.1	433.9	2.04	0.6	16.1	842.6	1.2
6 - Q	Drill Core	1.47	23.4	355	6.0	113.4	9.93	247.5	10.50	0.04	1.3	31.1	19131	56.2	<0.1	25.3	0.06	0.4	87.0	137.1	4.5
7 - Q	Drill Core	0.97	25.4	203	4.2	81.6	6.30	219.7	7.89	0.05	45.7	13.1>	100000	625.8	<0.1	266.7	1.08	0.3	127.3	394.6	1.0
8 - Q	Drill Core	0.15	4.7	125	189.2	10.4	1.25	79.5	4.60	<0.02	1.0	3.4	334.5	9.7	<0.1	61.7	<0.01	0.4	154.9	56.9	<0.1
9 - Q	Drill Core	0.09	9.8	145	1.6	5.2	0.75	71.3	3.12	0.05	0.1	3.9	22.7	4.9	<0.1	18.4	0.03	0.3	688.2	38.4	<0.1
10 - Q	Drill Core	1.00	17.6	229	10.9	76.2	6.82	300.9	0.08	<0.02	2.8	11.1	39.4	53.9	<0.1	16.1	0.01	<0.1	957.1	673.3	0.7
12 - Q	Drill Core	0.81	38.8	369	9.3	59.7	5.76	270.3	0.18	0.03	2.6	6.9	48042	36.0	<0.1	113.6	0.07	0.3	32.1	116.4	0.3
13 - Q	Drill Core	0.36	6.5	216	5.1	18.0	2.75	153.2	0.05	0.02	<0.1	1.2	2.4	1.5	<0.1	66.4	<0.01	<0.1	671.2	5.0	0.2
14 - Q	Drill Core	0.62	6.9	30	1.5	46.1	4.08	93.6	0.07	<0.02	<0.1	0.7	161.2	0.4	<0.1	13.1	<0.01	0.3	25.3	2.1	<0.1
15 - Q	Drill Core	1.25	22.0	178	3.8	121.8	7.39	141.9	0.14	<0.02	<0.1	18.6	34.1	1.7	0.2	13.5	0.03	1.0	175.8	25.9	0.7
16 - Q	Drill Core	0.68	12.3	250	11.8	65.1	4.06	199.2	0.04	<0.02	0.3	16.0	16.0	3.8	0.9	64.7	0.01	1.2	878.1	28.4	1.7
17 - Q	Drill Core	0.77	181.9	348	8.8	73.2	4.74	112.3	0.03	<0.02	0.1	24.8	3.3	1.9	0.1	799.8	0.05	1.9	328.1	20.5	1.9
18 - Q	Drill Core	0.89	10.2	71	6.6	80.5	5.63	114.5	0.12	<0.02	<0.1	3.7	800.2	15.9	<0.1	117.2	0.02	0.4	213.1	51.3	<0.1
19 - Q	Drill Core	0.65	12.1	165	5.7	41.4	4.79	252.9	0.03	0.13	<0.1	3.2	13.1	1.5	0.2	164.6	0.03	0.2	242.6	5.3	<0.1
20 - Q	Drill Core	0.01	0.5	<8	0.9	1.5	0.09	3.5	0.03	<0.02	<0.1	0.5	5.1	0.2	<0.1	7.1	<0.01	0.8	4.6	0.5	0.1
21 - Q	Drill Core	0.04	1.2	<8	1.2	3.2	0.22	4.1	0.03	0.02	0.2	0.8	5697	2.7	<0.1	17.1	<0.01	1.0	9.8	2.7	0.2
22 - Q	Drill Core	0.11	9.8	25	<0.5	10.2	0.59	9.9	0.05	0.04	0.1	7.0	264.4	0.7	<0.1	97.0	<0.01	2.3	27.6	49.5	0.1
23 - Q	Drill Core	0.21	41.8	42	<0.5	14.5	1.41	38.8	0.10	<0.02	<0.1	9.3	1116	9.9	<0.1	165.6	0.06	1.5	219.0	9.9	0.5
24 - Q	Drill Core	0.14	6.7	99	1.6	6.0	1.20	107.3	5.64	<0.02	0.3	0.6	4.5	13.4	<0.1	14.6	<0.01	0.5	7.3	24.5	<0.1
25 - Q	Drill Core	0.32	15.0	104	2.3	21.3	2.11	162.2	0.53	0.07	0.1	13.6	0.6	2.2	0.7	1068	<0.01	0.7	113.1	61.0	<0.1
26 - Q	Drill Core	0.36	5.0	93	20.3	21.4	2.30	146.9	0.13	1.54	0.6	2.1	<0.5	11.0	<0.1	8047	<0.01	1.2	75.9	13.8	0.1
38 - Q	Drill Core	0.34	4.9	83	3.2	28.9	2.19	116.8	0.06	0.13	<0.1	1.1	<0.5	<0.1	0.3	25.2	<0.01	0.2	63.0	3.0	<0.1
39 - Q	Drill Core	0.45	6.2	93	2.8	37.9	2.88	132.6	0.08	<0.02	<0.1	1.7	1.4	0.1	<0.1	24.2	<0.01	0.3	68.3	3.1	<0.1



ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada

Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: Colossus Geologia e Participações Ltda

Avenida Getulio Vargas N° 124 Sala 1303

Bairro Funcionarios

Belo Horizonte MG Brasil

Project: UFMG - SP

Report Date: March 04, 2009

Page: 2 of 2 Part 4

# CERTIFICATE OF ANALYSIS

GOI09000085.1

Method	Analyte	Se	TI	1DX
		ppm	ppm	Zn
Unit		ppm	ppm	ppm
MDL		0.5	0.1	1
1 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	3
2 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	2
3 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	2
4 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	2
5 - Q	Drill Core	12.3	<0.1	13
6 - Q	Drill Core	4.0	<0.1	42
7 - Q	Drill Core	5.3	<0.1	85
8 - Q	Drill Core	4.2	<0.1	150
9 - Q	Drill Core	0.5	<0.1	230
10 - Q	Drill Core	4.3	<0.1	501
12 - Q	Drill Core	1.3	<0.1	19
13 - Q	Drill Core	43.0	<0.1	315
14 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	16
15 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	70
16 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	288
17 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	99
18 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	103
19 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	151
20 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	2
21 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	3
22 - Q	Drill Core	0.5	<0.1	5
23 - Q	Drill Core	0.5	<0.1	166
24 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	4
25 - Q	Drill Core	1.3	<0.1	158
26 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	218
38 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	85
39 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	89



ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

**Client:** Colossus Geologia e Participações Ltda  
Avenida Getulio Vargas Nº 124 Sala 1303  
Bairro Funcionarios  
Belo Horizonte MG Brasil

**Project:** UFMG - SP  
**Report Date:** March 04, 2009

**Page:** 1 of 1 **Part** 1

QUALITY CONTROL REPORT

GOI09000085.1

Method	Analyte	WGHT																				4A-4B
		Wgt	Al2O3	Ba	Be	CaO	Ce	Co	Cr2O3	Cs	Dy	Er	Eu	Fe2O3	Ga	Gd	Hf	Ho	K2O	La	LOI	
Unit	MDL	kg	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	
		0.01	0.01	1	1	0.01	0.1	0.2	0.002	0.1	0.05	0.03	0.02	0.04	0.5	0.05	0.1	0.02	0.01	0.1	-5.1	
Pulp Duplicates																						
REP QUARTZ_GO	QC		0.02	1	<1	<0.01	<0.1	<0.2	<0.002	<0.1	<0.05	<0.03	<0.02	0.62	<0.5	<0.05	<0.1	<0.02	<0.01	<0.1	0.4	
4 - Q	Drill Core	0.22	9.21	1171	<1	<0.01	258.0	1.1	0.018	4.2	0.71	0.39	0.69	0.73	10.6	2.35	2.2	0.14	2.47	127.3	12.2	
REP 4 - Q	QC		9.21	1159	<1	<0.01	254.4	1.0	0.019	3.7	0.53	0.53	0.70	0.68	10.9	2.33	1.9	0.14	2.45	124.5	12.2	
9 - Q	Drill Core	0.04	27.33	49	3	0.01	228.6	114.8	0.025	0.1	0.70	0.51	0.66	1.84	16.0	2.18	2.4	0.12	0.13	130.9	16.6	
REP 9 - Q	QC																					
Reference Materials																						
STD CSC	Standard																					
STD DS7	Standard																					
STD DS7	Standard																					
STD OREAS76A	Standard																					
STD SO-18	Standard		14.14	494	<1	6.39	26.2	25.9	0.546	6.7	2.90	1.76	0.85	7.63	17.0	2.85	9.6	0.61	2.15	11.8	1.9	
STD SO-18	Standard		14.14	491	<1	6.40	25.8	25.5	0.547	6.8	2.84	1.75	0.85	7.62	16.8	2.84	9.6	0.58	2.16	11.7	1.9	
STD SO-18	Standard		14.14	484	1	6.38	25.4	25.8	0.547	6.9	2.82	1.73	0.83	7.64	16.8	2.81	9.8	0.59	2.15	11.7	1.9	
STD SO-18	Standard		14.12	484	<1	6.39	25.5	25.5	0.546	6.7	2.87	1.75	0.84	7.64	16.9	2.82	9.4	0.59	2.15	11.7	1.9	
STD CSC Expected																						
STD OREAS76A Expected																						
STD DS7 Expected																						
STD SO-18 Expected			14.23	514		6.42	27.1	26.2	0.55	7.1	3	1.84	0.89	7.67	17.6	2.93	9.8	0.62	2.17	12.3		
BLK	Blank																					
BLK	Blank																					
BLK	Blank		<0.01	<1	<1	<0.01	<0.1	<0.2	<0.002	<0.1	<0.05	<0.03	<0.02	<0.04	<0.5	<0.05	<0.1	<0.02	<0.01	<0.1	0.0	
BLK	Blank		<0.01	<1	<1	<0.01	<0.1	<0.2	<0.002	<0.1	<0.05	<0.03	<0.02	<0.04	<0.5	<0.05	<0.1	<0.02	<0.01	<0.1	0.0	
Prep Wash																						
QUARTZ_GO	Prep Blank		0.02	<1	<1	<0.01	<0.1	<0.2	<0.002	<0.1	<0.05	<0.03	<0.02	0.60	<0.5	<0.05	<0.1	<0.02	<0.01	<0.1	0.6	
QUARTZ_GO	Prep Blank																					
QUARTZ_GO	Prep Blank		0.02	<1	<1	<0.01	<0.1	0.4	<0.002	<0.1	<0.05	<0.03	<0.02	0.60	<0.5	<0.05	<0.1	<0.02	<0.01	<0.1	0.4	



ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

**Client:** Colossus Geologia e Participações Ltda  
 Avenida Getulio Vargas Nº 124 Sala 1303  
 Bairro Funcionarios  
 Belo Horizonte MG Brasil

**Project:** UFMG - SP  
**Report Date:** March 04, 2009

Page: 1 of 1 Part 2

QUALITY CONTROL REPORT

GOI09000085.1

Method	Analyte																				4A-4B	
		Lu	MgO	MnO	Na2O	Nb	Nd	Ni	P2O5	Pr	Rb	Sc	SiO2	Sm	Sn	Sr	Sum	Ta	Tb	Th	TiO2	
Unit	Unit	ppm	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	
MDL	MDL	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	0.3	20	0.01	0.02	0.1	1	0.01	0.05	1	0.5	0.01	0.1	0.01	0.2	0.01	
Pulp Duplicates																						
REP QUARTZ_GO	QC	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.1	<0.3	<20	0.01	<0.02	0.2	<1	99.05	<0.05	<1	1.4	100.05	<0.1	<0.01	<0.2	<0.01	
4 - Q	Drill Core	0.14	0.38	<0.01	0.17	6.8	79.3	<20	0.07	26.03	69.8	13	74.04	5.10	2	79.2	99.77	0.5	0.14	8.5	0.43	
REP 4 - Q	QC	0.14	0.37	<0.01	0.17	7.1	78.5	<20	0.07	26.06	70.3	13	74.16	5.08	3	75.7	99.79	0.6	0.14	8.7	0.43	
9 - Q	Drill Core	0.13	8.08	0.01	<0.01	5.9	82.6	730	0.11	24.52	4.1	5	45.17	6.54	3	73.9	99.74	0.6	0.15	8.6	0.34	
REP 9 - Q	QC																					
Reference Materials																						
STD CSC	Standard																					
STD DS7	Standard																					
STD DS7	Standard																					
STD OREAS76A	Standard																					
STD SO-18	Standard	0.26	3.34	0.39	3.68	20.7	13.9	40	0.83	3.39	27.4	25	58.08	2.85	14	399.3	99.76	7.3	0.50	9.6	0.69	
STD SO-18	Standard	0.26	3.34	0.39	3.69	20.2	13.7	44	0.84	3.36	27.3	26	58.06	2.83	14	398.7	99.78	7.1	0.48	9.5	0.69	
STD SO-18	Standard	0.26	3.34	0.39	3.68	20.2	13.8	42	0.83	3.37	21.1	26	58.09	2.62	14	397.3	99.77	7.0	0.40	9.6	0.69	
STD SO-18	Standard	0.26	3.34	0.39	3.68	20.2	13.7	46	0.83	3.37	22.8	25	58.09	2.81	14	394.4	99.77	7.2	0.42	9.7	0.69	
STD CSC Expected																						
STD OREAS76A Expected																						
STD DS7 Expected																						
STD SO-18 Expected		0.27	3.35	0.39	3.71	20.9	14	44	0.83	3.45	28.7	25	58.47	3	15	407.4		7.4	0.53	9.9	0.69	
BLK	Blank																					
BLK	Blank																					
BLK	Blank	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.3	<20	<0.01	<0.02	<0.1	<1	<0.01	<0.05	<1	<0.5	<0.01	<0.1	<0.01	<0.2	<0.01	
BLK	Blank	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.3	<20	<0.01	<0.02	<0.1	<1	<0.01	<0.05	<1	<0.5	<0.01	<0.1	<0.01	<0.2	<0.01	
Prep Wash																						
QUARTZ_GO	Prep Blank	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.1	<0.3	<20	<0.01	<0.02	0.2	<1	98.81	<0.05	<1	1.5	100.06	<0.1	<0.01	<0.2	<0.01	
QUARTZ_GO	Prep Blank																					
QUARTZ_GO	Prep Blank	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.1	<0.3	<20	<0.01	<0.02	0.2	<1	99.09	<0.05	<1	1.8	100.07	<0.1	<0.01	<0.2	<0.01	



ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

**Client:** Colossus Geologia e Participações Ltda  
Avenida Getulio Vargas Nº 124 Sala 1303  
Bairro Funcionarios  
Belo Horizonte MG Brasil

**Project:** UFMG - SP  
**Report Date:** March 04, 2009

**Page:** 1 of 1 Part 3

QUALITY CONTROL REPORT

GOI09000085.1

Method	Analyte	1DX																				
		Tm	U	V	W	Y	Yb	4A-4B		2A Leco		Ag	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb
Unit	MDL	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	TOT/C	TOT/S	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		0.01	0.1	8	0.5	0.1	0.05	0.1	0.02	0.02	0.1	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1
Pulp Duplicates																						
REP QUARTZ_GO	QC	<0.01	<0.1	<8	<0.5	<0.1	<0.05	<0.1														
4 - Q	Drill Core	0.09	6.2	186	2.2	6.1	0.61	70.8	10.46	0.02	0.2	<0.5	20.6	3.5	<0.1	10.4	<0.01	0.4	5.2	10.1	<0.1	
REP 4 - Q	QC	0.09	5.9	183	2.4	5.9	0.59	68.6														
9 - Q	Drill Core	0.09	9.8	145	1.6	5.2	0.75	71.3	3.12	0.05	0.1	3.9	22.7	4.9	<0.1	18.4	0.03	0.3	688.2	38.4	<0.1	
REP 9 - Q	QC								3.06	0.11	<0.1	3.5	16.6	5.1	<0.1	17.5	0.03	0.3	692.5	38.4	<0.1	
Reference Materials																						
STD CSC	Standard								3.06	4.31												
STD DS7	Standard										0.8	57.0	50.4	3.6	6.2	106.2	0.20	20.1	52.0	66.0	3.7	
STD DS7	Standard										0.8	51.3	49.5	3.6	6.4	126.5	0.20	21.8	55.1	64.7	3.6	
STD OREAS76A	Standard								0.18	18.01												
STD SO-18	Standard	0.27	15.9	195	14.3	31.2	1.71	278.9														
STD SO-18	Standard	0.25	15.7	192	14.4	31.0	1.70	276.0														
STD SO-18	Standard	0.27	15.9	193	14.7	30.0	1.72	273.5														
STD SO-18	Standard	0.25	15.9	190	14.4	30.7	1.69	272.7														
STD CSC Expected									2.94	4.25												
STD OREAS76A Expected									0.16	18												
STD DS7 Expected											0.9	48.2	70	4.5	6.4	109	0.2	20.9	56	70.6	5.9	
STD SO-18 Expected		0.29	16.4	200	15.1	33	1.79	280														
BLK	Blank								<0.02	<0.02												
BLK	Blank										<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
BLK	Blank	<0.01	<0.1	<8	<0.5	<0.1	<0.05	<0.1														
BLK	Blank	<0.01	<0.1	<8	<0.5	<0.1	<0.05	<0.1														
Prep Wash																						
QUARTZ_GO	Prep Blank	<0.01	<0.1	<8	<0.5	<0.1	<0.05	<0.1	0.02	<0.02	<0.1	0.6	<0.5	<0.1	<0.1	4.2	<0.01	0.3	1.2	1.6	<0.1	
QUARTZ_GO	Prep Blank								<0.02	<0.02	<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	4.1	<0.01	0.3	1.2	0.5	<0.1	
QUARTZ_GO	Prep Blank	<0.01	<0.1	<8	<0.5	<0.1	<0.05	<0.1														



ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada

Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Colossus Geologia e Participações Ltda**

Avenida Getulio Vargas Nº 124 Sala 1303

Bairro Funcionarios

Belo Horizonte MG Brasil

Project: UFMG - SP

Report Date: March 04, 2009

Page: 1 of 1 Part 4

## QUALITY CONTROL REPORT

GOI09000085.1

Method	Analyte	Se	TI	1DX
Unit	Unit	ppm	ppm	Zn
MDL	MDL	0.5	0.1	1
Pulp Duplicates				
REP QUARTZ_GO	QC			
4 - Q	Drill Core	<0.5	<0.1	2
REP 4 - Q	QC			
9 - Q	Drill Core	0.5	<0.1	230
REP 9 - Q	QC	<0.5	<0.1	226
Reference Materials				
STD CSC	Standard			
STD DS7	Standard	3.9	3.8	389
STD DS7	Standard	3.2	3.6	410
STD OREAS76A	Standard			
STD SO-18	Standard			
STD SO-18	Standard			
STD SO-18	Standard			
STD SO-18	Standard			
STD CSC Expected				
STD OREAS76A Expected				
STD DS7 Expected		3.5	4.2	411
STD SO-18 Expected				
BLK	Blank			
BLK	Blank	<0.5	<0.1	<1
BLK	Blank			
BLK	Blank			
Prep Wash				
QUARTZ_GO	Prep Blank	<0.5	<0.1	5
QUARTZ_GO	Prep Blank	<0.5	<0.1	2
QUARTZ_GO	Prep Blank			