



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ESTUDO DA GEOMETRIA E CINEMÁTICA DAS ROCHAS  
SEDIMENTARES ARQUEANAS DA MINA DO IGARAPÉ DO AZUL –  
CARAJÁS –PA.**

**Dissertação apresentada por:**

**DANIELA CRISTINA COSTA DA SILVA**

---

**BELÉM  
2006**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

---

Silva, Daniela Cristina Costa da

S586e      Estudo da geometria e cinemática das rochas sedimentares arqueanas da mina do Igarapé do Azul – Carajás – Pa / Daniela Cristina Costa da Silva; Orientador, Roberto Vizeu Lima Pinheiro. – 2006

iv, 113 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2006.

1. Sistemas transcorrentes. 2. Inversão tectônica. 3. Transpressão. 4. Reativação de falhas. 5. Serra dos Carajás (PA). 6. Mina do Igarapé Azul (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Pinheiro, Roberto Vizeu Lima, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.: 551.872098115

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**ESTUDO DA GEOMETRIA E CINEMÁTICA DAS ROCHAS  
SEDIMENTARES ARQUEANAS DA MINA DO IGARAPÉ  
DO AZUL – CARAJÁS - PA.**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

**DANIELA CRISTINA COSTA DA SILVA**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **18/09/2006**

**Comitê de Dissertação:**

ROBERTO VIZEU LIMA PINHEIRO (Orientador)

CÉSAR ULISSES VIEIRA VERÍSSIMO

FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU

Belém

Dedico este trabalho a meus familiares e amigos

## AGRADECIMENTOS

Qualquer trabalho desenvolvido é resultado de parcerias, sejam elas entre pessoas ou entre pessoas e instituições. Nas linhas que se seguem presto os meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para realização deste trabalho:

- ✓ Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências e ao curso de Geologia e Geoquímica por torna real o meu ingresso no curso de mestrado e por todo o apóio que tive durante a realização do mesmo.
- ✓ A Companhia Vale do Rio Doce pela parceria que permitiu o desenvolvimento deste trabalho na Mina do Manganês do Azul e pelo apóio logístico, financeiro e de infraestrutura durante os trabalhos de campo.
- ✓ Ao ministério da educação/CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de nível Superior) pela concessão da bolsa de mestrado durante os 24 meses de trabalho.
- ✓ Lílian Grabellos pela oportunidade e incentivo do trabalho na área da Mina do Manganês do Azul.
- ✓ Aos funcionários da CVRD que ajudaram direta ou indiretamente neste trabalho, em especial: Cristiano Souza e Henrile Meireles pela ajuda e disposição; a Werton Santos, Barreto (Baiano), João Paulo, Jorge Nelson, Claudinha, Pontes e Cliomar o apoio e o companheirismo de vocês foi muito importante.
- ✓ A minha Família e ao alicerce dela, minha Mãe, pela confiança, incentivo e todo amor que nunca faltou durante minha criação.
- ✓ Aos meus amigos eternos: Ana (Oxi), Maryelle e Ulisses que dividiram os momentos de cobrança e acima de tudo os momentos de muita alegria antes e durante a realização deste trabalho; e a Charles (Pastor), Claudia Priscila e Leandro pela amizade construída de apóio e muito carinho.
- ✓ Aos irmãos do peito do Grupo de Geologia Estrutural (GES) Camila, Gustavo, Geane, Robertinho e Jana (xica) que de perto ou de longe ajudaram a torna real tudo que foi idealizado neste trabalho.
- ✓ E para o amigo, professor e orientador Roberto Vizeu, pela boa e divertidíssima disposição de passar conhecimentos durante a elaboração deste trabalho, seja no campo

ou na correção dos textos. Seu apóio e incentivo foi fundamental para que eu tivesse certeza que tudo iria dar certo no final.

## SUMÁRIO

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMENTOS**

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

**RESUMO**

**ABSTRACT**

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
1.1	INTRODUÇÃO	15
1.2	APRESENTAÇÃO	16
1.3	LOCALIZAÇÃO	17
1.4	OBJETIVOS	19
1.5	ATIVIDADES E MÉTODOS	19
1.6	CONCEITOS E TERMOS APLICADOS	22
<b>1.6.1</b>	<b>Cisalhamento Puro e Cisalhamento Simples</b>	22
<b>1.6.2</b>	<b>Transpressão e Transtensão</b>	23
<b>1.6.6</b>	<b>Reativação</b>	26
<b>1.6.4</b>	<b>Dobras</b>	27
<b>1.6.4.1</b>	<b>Elementos Geométricos da Dobra</b>	27
<b>1.6.4.2</b>	<b>Tipos de Dobras</b>	28
<b>2</b>	<b>ASPECTOS SOBRE A GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO</b>	
2.1	CONTEXTO GEOTECTÔNICO	32
2.2	GEOLOGIA DA REGIÃO DE CARAJÁS	34
<b>2.2.1</b>	<b>Trabalhos Anteriormente Desenvolvidos</b>	34
<b>2.2.2</b>	<b>O Quadro Geológico Regional</b>	36
2.2.2.1	Terreno Granito- <i>Greenstone</i>	39
2.2.2.2	Seqüências Vulcano-Sedimentares de Baixo Grau	39
2.3	MODELOS TECTÔNICOS PARA A REGIÃO DE CARAJÁS	41
2.4	ASPECTOS FISIOGRAFICOS	43
2.5	LITOESTRATIGRAFIA E ASPECTOS GENÉTICOS DA MINA DO IGARAPÉ AZUL	45
<b>2.5.1</b>	<b>Geologia dos Depósitos da Mina de Manganês do Azul</b>	49
<b>2.5.2</b>	<b>Geologia Estrutural da Mina do Igarapé Azul</b>	50

<b>3</b>	<b>DADOS DE SENSORES REMOTOS</b>	
3.1	INTRODUÇÃO	52
3.2	3.3 DADOS RETIRADOS DA IMAGEM DE SATÉLITE	52
3.3	3.3 DISCUSSÕES SOBRE OS DADOS DE SENSORES REMOTOS	59
<b>4</b>	<b>4 DADOS DE CAMPO DO MAPEAMENTO GEOLÓGICO</b>	
4.1	4.1 DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS ESTRUTURAS TECTÔNICAS	61
4.1.1	4.1.1 Mina 01	61
4.1.2	4.1.2 Mina 02	92
4.1.5	4.1.3 Mina 03	98
<b>5</b>	<b>5 DISCUSSÕES</b>	
5.1	5.1 SOBRE O ARRANJO GEOMÉTRICO E CINEMÁTICO	99
5.1.1	Mina 01	99
5.1.2	Mina 02	102
5.1.3	Mina 03	103
5.2	SOBRE AS INTERPRETAÇÕES TECTONICA PARA A REGIÃO	104
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	110
	<b>REFERÊNCIAS</b>	114
	<b>ANEXOS</b>	
	<b>ANEXO 01 - MAPAS DE LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES E DOS PONTOS ESTUDADOS COM DIREÇÃO DE ACAMAMENTO INDICADO</b>	
	<b>ANEXO 02 - MAPA ESTRUTURAL DA MINA DO IGARAPÉ AZUL</b>	

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01** - Região centro norte de Carajás, destacando o Sistema Transcorrente Cinzento mais a norte (A), e ao sul, o Sistema Transcorrente de Carajás (B), com a Falha Carajás. Pode-se observar a “Estrutura sigmoidal de Carajás” em “Z”, sugerindo uma cinemática dextral. O quadrado em azul localiza a área de estudo (Imagem SRTM). 17
- Figura 02** - Mapa de localização da Região de Carajás onde a Mina do Igarapé Azul esta inserida. 18
- Figura 03** - Tipos de fluxo identificados pelo padrão de velocidade angular ( $\omega$ ) e taxa de estiramento ( $\epsilon$ ) de linhas materiais mostrada. As taxas de estiramento observadas são as mesmas para cisalhamento puro (a) e simples (b), sendo a diferença entre eles caracterizada pela velocidade angular (modificada de Passier *et al.*, 1990). 23
- Figura 04:** Modelo tridimensional de transpressão, com suas componentes de cisalhamento puro e simples mostrando o espessamento vertical produzido no corpo deformado no estado finito (Sanderson & Marchini, 1984). 24
- Figura 05:** Diagrama ilustrando os dois tipos de transpressão: dominado por cisalhamento puro e dominado por transcorrência ou cisalhamento simples (Tykoff & Teyssier, 1994). 25
- Figura 06** - Modelo tridimensional de transpressão com particionamento (Teyssier *et al.*, 1995). 26
- Figura 07** - Diagrama mostrando as relações entre rochas/fabric, distribuição de deformação, estilo de rejuvenescimento tectônico e controle reológico em diferentes profundidades. Observar o limite transicional entre as reativações e o retrabalhamento (modificado a partir de Holdsworth *et al.*, 2001). 27
- Figura 08:** Elementos geométrico de uma dobra simples (modificado por Hatcher 1995). 27
- Figura 09** - vergência de dobra (modificada a partir de McClay, 1987). 28
- Figura 10** - dobras do tipo antiformal (a) e sinformal (b). 28
- Figura 11** - Dobra do tipo cilíndrica 29
- Figura 12** - Tipos de dobras quanto ao estilo e ângulo entre flancos. 29
- Figura 13** - Exemplos de *drag fold*. (A) em planos de falhas cavalgamento; e (B) em planos de falha normais. (C) e (D) *drags* ao logo de traços de falhas transcorrentes. 30
- Figura 14** -*Drag folds* com geometria em “Z” e “S” resultante da movimentação dextral e sinistral dentro de uma zona de transcorrência. 30
- Figura 15** - Dobras com padrão *Chevron* ou *kink* 31

<b>Figura 16</b> - O Cinturão Itacaiúnas e seus principais domínios tectônicos (modificado de Araújo & Maia, 1991; e Pinheiro, 1997). A área de estudo é a Mina do Igarapé Azul na região centro norte do Sistema Transcorrente de Carajás.	33
<b>Figura 17</b> – Proposta estratigráfica para a região de Carajás apresentada por Pinheiro (1997) modificada por Domingos (2004).	35
<b>Figura 18</b> – Mapa Geológico e quadro tectonoestratigráficos para a região de Carajás (PA). Modificado de Pinheiro (1997).	38
<b>Figura 19</b> - Vista de cima Rio Itacaiúnas na região de Carajás.	44
<b>Figura 20</b> - Cava da Mina principal da Mina do Manganês do Azul. Ao redor a vegetação densa e o conjunto de vales e platôs na porção mais a norte da figura.	45
<b>Figura 21</b> - Modelo Depositional para a Formação Águas Claras. Estágio I (a), Estágio II (b), Estágio III (c) segundo Nogueira (1995).	48
<b>Figura 22:</b> (A) Imagem de satélite LANDSAT 7 TM+ composição colorida (RGB-435) da região da “Estrutura Sigmoidal de Carajás” (Pinheiro,1997). Área recortada é tratada pelos métodos aplicado em Processamento Digital de Imagem (Ver Cap. I- <b>Metodologia</b> ) resultando na melhor qualidade da imagem em que a Mina do Igarapé Azul esta inserida (B).	54
<b>Figura 23</b> - Mapa de traços estruturais observados a partir da área recortada da imagem LANDSAT 7 TM+ da região centro norte de Carajás (ver Fig 22).	57
<b>Figura 24</b> - Mapa com os principais lineamentos (lineações de relevo e de drenagem) divididos segundo quatro conjuntos sugeridos para a região centro norte de Carajás.	58
<b>Figura 25:</b> Seção 01 no banco de nível 564m localizada na Mina 01 (Vide mapa Anexo 01). O acamamento desenha dobras assimétricas suaves (ver estereogramas individuais na seção) cortadas por fraturas com direções N-S e NE-SW (foto 01) e falha NW-SE com terminações em <i>splays</i> (foto 03). Dobras individuais também são localizadas na seção, na forma de um anticlinal com eixo raso para SW (foto 02).	63
<b>Figura 26</b> - Estereograma representante dos eixos das dobras de arrasto com ângulos baixo caindo para os quadrantes SE e SW.	65
<b>Figura 27</b> - Estereogramas de pólos representativo do acamamento dos conjuntos de falhas observados na seção 02. As pirâmides representam o conjunto I, os quadrados em preto representam o conjunto II e os pontos em azul o conjunto III.	66
<b>Figura 28</b> - Diagrama de roseta mostrando as principais orientações dos conjuntos de fraturas observados na seção 01. A roseta (A) representa as fraturas E-W, SW-NE e N-S. A roseta em azul representa as fraturas NE-SW, NW-SE e E-W.	67

- Figura 29 - Seção e Planta 02** realizadas no banco de nível 516m na Mina 01(Vide Mapa Anexo 01). A planta está dividida em três setores, cada um representante do comportamento do acamamento em escala de detalhe. Os estereogramas individuais representam as atitudes dos planos do acamamento, das falhas e de fraturas. As fotos mostram detalhes vistos em seção do contato entre a camada de pelito e a camada de siltito (Foto 04); o traço de falha observado na parede da bancada, marcado pelo tracejado em verde (Foto 05). 68
- Figura 30 - Seção 03** localizada no banco de nível 492m na mina 01 (ver ANEXO 01). O acamamento desenha uma série de dobras individuais do tipo dobras de arrasto (*drag fold*) em detalhe na foto 06. Uma dobra reclinada seccionada por falhas na região NE da seção também é observado. O acamamento gera uma guirlanda com  $43^{\circ}/143^{\circ}\text{Az}$  e eixo  $\pi$  de  $47^{\circ}/143^{\circ}\text{Az}$ . 70
- Figura 31 - Seção 04** localizada no banco de nível 492m na Mina 1 (ver ANEXO 01). Exibe detalhes do comportamento das feições estruturais presente no pacote de siltito. O detalhe em planta de uma dobra de arrasto (*drag fold*) que desloca a camada de Bióxido ao longo de um traço de falha normal lhe atribuindo uma movimentação direcional destal. As fotos 07 mostram detalhe em seção e planta da dobra de arrasto. A guirlanda apresenta uma atitude de  $82^{\circ}/143\text{Az}$  eixo  $\pi$  de  $6^{\circ}/132^{\circ}\text{Az}$ . 73
- Figura 32 - Seção 05** localizada no banco de nível 516 m na Mina 01 (ver ANEXO 01). Mostra a deformação presente nas camadas de siltito e as dobras métricas associadas a traço de falhas. O detalhe em planta mostra um dobra cujo eixo possui atitude de  $20^{\circ}/140^{\circ}\text{Az}$ .O diagrama com 10 pólos de acamamento mostra eixo  $\pi$  com  $4^{\circ}/118^{\circ}\text{Az}$ . 75
- Figura 33 - Seção 06** localizada no banco de nível 725m na Mina 01 (ver ANEXO 01). Mostra a deformação do acamamento nos siltitos e minérios Os pólos do acamamento se concentram no quadrante SE e a guirlanda resultante apresenta atitude  $75^{\circ}/139^{\circ}\text{Az}$  e eixo  $\pi$  de  $14^{\circ}/229^{\circ}\text{Az}$ . 77
- Figura 34 - Seção 07** do corte aparente da bancada no nível 468m na Mina 01(ver ANEXO 01). Mostra o comportamento individual através dos estereogramas de cada região. O contado observado é do tipo concordante ondulado. A guirlanda resultante dos 47 pólos de acamamento apresenta uma atitude de  $69^{\circ}/125^{\circ}$  com eixo  $\pi$  de  $20^{\circ}/30^{\circ}\text{Az}$ . 79
- Figura 35 - Seção 08** localizada no banco de nível 468 na região noroeste da Mina 01 (ver ANEXO 01). O acamamento desenha antifomes e sinformes suáveis seccionados por fraturas. 80
- Figura 36 - Seção 09** localizada no banco de nível 464m na região oeste da Mina 01 (ver ANEXO 01). O acamamento desenha uma dobra seccionada por uma falha de cavalgamento. No lado norte da seção o acamamento apresenta-se sub-vertical. 81
- Figura 37 -** Estereogramas representante dos planos de falhas observadas na seção 10. Os planos em preto indicam as falhas localizadas na região norte da seção e os planos em vermelho são falhas localizadas na região sul. 83

- Figura 38 – Seção 10** localizada no banco de nível 476m na Mina 01 (ver ANEXO 01). Detalhe do comportamento do acamamento em resposta a movimentação de falhas resultando numa série de dobras de arrastos (*drag fold*) de escalas métricas (Foto 09) a escalas centimétricas (área SE da seção). 84
- Figura 39- Seção 11** Feita do corte aparente no banco de nível 464m na região norte da Mina 01 (ver ANEXO 01). Mostra o comportamento do acamamento que desenvolve dobras associadas à falhas, localmente se observa dobra do tipo reclinada (foto 10) Os estereogramas mostram o comporta-mento individual do acamamento comum eixo  $\pi$  de  $6^\circ/284^\circ\text{Az}$  resultante do plano da guirlanda. 86
- Figura 40 -** Estereograma representante dos planos das principais falhas observadas na **seção 12**. Os planos em azul indicam atitude das falhas localizadas na parte central da seção. O plano em preto indica atitude da falha observada na parte norte da seção. 87
- Figura 41- Seção 12** localizada no banco de nível 464m na região norte da Mina 01 (ANEXO 01). O acamamento, no geral, apresenta um comportamento com planos inclinados, mostrados pelos estereogramas individuais do acamamento. Localmente esse comportamento é deformado pela presença de falhas que o rotacionam (Foto 11). 88
- Figura 42 - Seção 13** localizada no banco de nível 476m na região norte da Mina 01 (ver ANEXO 01). Neste detalhe observa-se dobras do tipo *drag fold* associadas à falhas com traços sinuosos. Detalhe da dobra do tipo *drag fold* (Foto 12). A guirlanda resultante dos 25 pólos de acamamento indica atitude do plano de acamamento com mergulho que variam de  $10^\circ$  a  $55^\circ$ . Os detalhes em bloco esquemático mostram acamamento dobrado interrompido por estreitas zonas de falhas. 90
- Figura 43 - Seção 14** localizada no banco de nível 476m na região noroeste da Mina 1 (ver ANEXO 01). Mostra um antifórme interrompido por uma zona de falha sub-vertical com cinemática de cavalgamento. O diagrama de pólos mostra que o acamamento apresenta ângulos de mergulho que variam de  $10^\circ$  a  $45^\circ$ . 91
- Figura 44 -** Diagrama representante dos das medidas de planos de acamamento coletados na seção 15. 92
- Figura 45 - Seção 15** em planta localizada no banco 508m na Mina 02 (ver ANEXO 01). O acamamento desenha um anticlinal seccionado por falhas normais de traço sinuosos. O estereograma mostra planos de acamamento com ângulos que variam de  $20^\circ$  a  $65^\circ$ . Na região nordeste o acamamento é cortado por um dique com aproximadamente 4m de extensão. 93
- Figura 46 - Seção 16** localizada no banco de nível 504m na Mina 02 (Foto 12). Deformação produzida pela movimentação de falha resulta numa série de dobra de arrasto (*drag fold*) de escalas que variam de centimétricas a métricas (foto 12 A). O eixo da dobra maior possui atitude de  $65^\circ/300^\circ\text{Az}$ . 95

<b>Figura 47- Seção 17</b> em corte aparente do banco de nível 520m na Mina 2 (ver ANEXO 01). Mostra o comportamento heterogêneo do acamamento com falhas e dobras associadas. O diagrama de pólos A mostram planos de acamamento com ângulos que variam de rasos a sub-verticais, o diagrama de contorno estatístico B mostra uma concentração máxima no quadrante N para NE e corresponde a um plano médio de acamamento $55^{\circ}/167^{\circ}Az$ .	97
<b>Figura 48</b> - Diagrama para as principais direções de fraturas presente na área da Mina do Igarapé Azul. A roseta (A) possui como principais direções N-S e SW-NE. A roseta em (B) apresenta como principal direção NW-SE.	98
<b>Figura 49-</b> Estereograma de pólos de planos do acamamento Mina 01. Observar que o espalhamento dos pólos gera duas guirlandas, uma com eixo $\pi$ de $17^{\circ}/207^{\circ}Az$ e outra com eixo $\pi$ $26^{\circ}/293^{\circ}Az$ . As cores azul e preto dos pólos representam planos de acamamento para os diferentes conjuntos de dobras.	100
<b>Figura 50</b> - Diagrama para as principais direções de fraturas presente na área da Mina do Igarapé Azul. A roseta (A) possui como principais direções N-S e SW-NE. A roseta em (B) apresenta como principal direção NW-SE.	101
<b>Figura 51-</b> Comportamento do acamamento representado no estereograma de pólos para a área da Mina 02	102
<b>Figura 52</b> - Comportamento do acamamento representado no estereograma de pólos para a área da Mina 03.	103
<b>Figura 53:</b> Figura resumando a história da cinemática para a região em que a Mina do Igarapé Azul esta inserida. (ver texto para detalhes).	106
<b>Figura 54:</b> Bloco diagrama representando a geometria das estruturas na Mina do Igarapé Azul. A falha principal com cinemática normal NW-SE divide a área da mina em dois blocos, um baixo a sul e um alto a norte. A região do bloco norte pode ser individualizada como um corredor de deformação caracterizado por dobras curvilineares e dobras individuais de arrastos e reclinadas, falhas normais e de cavalgamento e zonas de falhas normais sub-verticais (ver texto para detalhes).	109
<b>Foto 01:</b> Set de fraturas com duas direções principais	63
<b>Foto 02:</b> Falha com terminação em <i>splays</i>	63
<b>Foto 03:</b> Anticlinal (em planta)	63
<b>Foto 04:</b> contato entre o siltito (à esquerda) e o pelito tabular (à direita).	68
<b>Foto 05:</b> falha normal	68
<b>Foto 06:</b> dobra de arrasto com geometria em "S"	70

<b>Foto 07:</b> vista em seção da dobra de arrasto	73
<b>Foto 08:</b> Dobra de arrasto com geometria em “S”.	84
<b>Foto 09:</b> Detalhe da dobra Reclinada	86
<b>Foto 10:</b> comportamento do acamamento em resposta a movimentação de falhas	88
<b>Foto 11:</b> detalhe de um <i>drag</i> com geometria em “S”.	90
<b>Foto12:</b> Detalhe da Seção 16	95
<b>Foto12A:</b> detalhe das dobras de arrastos associadas aos <i>splays</i> de falhas	95

## RESUMO

---

Mina de Manganês do Igarapé Azul posiciona-se geologicamente no interior do feixe da Falha Carajás, na porção central do Sistema Transcorrente de Carajás. O depósito do Manganês do Azul relaciona-se a rochas sedimentares pelíticas do Membro Azul, na base da Formação Águas Claras (Arqueano), em contato discordante, acima do Grupo Grão Pará (Nogueira *et al.*, 1995).

Três frentes de lavra a céu aberto estão atualmente em andamento na área: (1) Mina Principal (Mina 1), (2) Mina 2 e (3) Mina 3. Nestes locais encontram-se excelentes afloramentos de siltitos intercalados com argilitos e arenitos finos, intercalados com níveis manganésíferos. Essas rochas estão organizadas em conjuntos de dobras e falhas normais e inversas sob deformação heterogênea, particionada em diferentes escalas.

As seções geológicas realizadas nas frentes de lavra mostram a predominância de siltitos intercalados com argilitos em contato com rochas pelíticas manganésíferas e minério (bióxido de Mn). Nessas rochas são comuns estruturas primárias tipo *hummocky*, estratificações cruzadas, e laminações plano-paralelas. O acamamento centimétrico a métrico (em média de 30 a 50 cm) representa a principal estrutura primária, usada como marcador de deformação, observada nas rochas.

A Mina do Igarapé Azul encontra-se dividida em dois blocos, separados por falha normal com rejeito de até dezenas de metros, com o bloco norte alto em relação ao bloco sul. O bloco sul encontra-se pouco deformado, apresentando uma regularidade no acamamento que mergulha com ângulos suaves para sul, colocando a camada de minério sucessivamente em níveis mais profundos na direção S.

No bloco norte o acamamento apresenta um comportamento heterogêneo. A deformação é mais expressiva nessa região, estando o nível de minério deformado por dobras e falhas inversas. Além da cinemática vertical, as falhas apresentam deslocamento conjugado dextral dando a essas feições um caráter oblíquo. Essa região pode ser definida como um corredor de deformação.

O corredor observado no bloco norte, de acordo com os domínios principais separados pelas falhas anteriormente descritas, possui orientação NW-SE, com aproximadamente um quilômetro de extensão, sendo caracterizado por dobras assimétricas curvilineares com eixos de mergulhos suaves ( $10^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ ) para NW e SE. Essas dobras são seccionadas por falhas normais sinuosas NW-SE e/ou E-W, com baixo ângulo de mergulho (em torno de  $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ ), subordinadas a transcorrências dextrais, gerando em escala de detalhes feições como *drag folds*. Observam-se ainda falhas inversas retas e/ou sinuosas NW-SE e zonas de falhas sub-verticalizadas WNW-ESE. As dobras individuais nesta área são estruturas do tipo reversas, flexurais e com geometria *en echelon* com orientação semelhante às dobras curvilineares: eixos com baixo ângulo de mergulho ( $10^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ ) e caimento para SE.

O conjunto de feições anteriormente descrito desenha, em escala quilométrica, um antifórme aberto, provavelmente resultante da acomodação do acamamento em resposta a deformação dessas falhas.

O paralelismo entre feições observadas na área da Mina do Igarapé Azul e os lineamentos maiores que desenharam a Falha Carajás em planta sugere uma relação com dois importantes episódios deformacionais ocorridos durante a história tectônica da Falha Carajás. As falhas

normais associadas a componente direcional destal, de maior expressividade da área da mina, estariam relacionadas ao episódio de transtensão destal responsável pela instalação da Falha Carajás anterior a 2.6 Ga (Pinheiro, 1997). As dobras, as falhas de cavalgamento e as zonas de falhas sub-verticalizadas estariam relacionados a deformações sob regime de transpressão sinistral, um segundo evento atuante na região, responsável pela reativação e inversão da maioria das estruturas próximas à zona da Falha Carajás (Pinheiro, 1997; Pinheiro & Holdsworth, 2000; Lima, 2002).

Palavra Chave: Sistemas transcorrentes, Inversão tectônica, Transpressão, Reativação de falhas, Serra dos Carajás (PA) e Mina do Igarapé Azul (PA)

## ABSTRACT

---

The Igarapé Azul Mn Mine is geologically situated along the Carajás Fault trace, in the central portion of the Carajás Strike-slip System. The Mn ore deposit is related to pelitic sedimentary rocks of the Azul Member on the basal portion of the Águas Claras Formation (Archaean). This unit overlain unconformably the Grão Pará Group (Nogueira et al., 1995).

At present day three exploitation pits are opened in the mine: (1) Main Mine (Mine 1); (2) Mine 2 and (3) Mine 3. In these locations excellent outcrops of siltstones intercalated with fine-grained mudstones, sandstones and Mn-layers are exposed. These rocks are organized in folds and normal/reverse faults sets under heterogeneous deformation, partitioned in different scales.

The geologic sections exposed in the mines show the dominance of siltstones intercalated with mudstones in contact with pelitic manganeseiferous rocks and ore (Mn bioxide). Primary structures such as *hummocky* stratification, cross stratification and parallel laminations are common in these rocks. Bedding with thickness of centimeters to a few meters (30-50 cm) represents the main primary structure, used as the main deformation marker observed in rocks.

The Igarapé Azul Mn Mine is divided into two blocks separated by normal fault with displacements of tens of meters, where the north block is up in relation to the south one. The south block is poorly deformed, with irregularities in bedding which dips at shallow angles towards south, subsequently positioning the ore layer in deeper levels at S direction.

In the north block bedding shows heterogeneous behavior. Deformation is more expressive in this region, with the ore deformed by folds and reverse faults. Faults show vertical along-dipping kinematics with dextral conjugated displacements of oblique character. This region can be defined as a major strain corridor.

The kilometer-scale corridor observed at the north block follows the NW-SE trend, in concordance with the main domains separated by the faults described above, characterized as curvilinear asymmetric folds with NW and SE shallow plunge axes ( $10^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ). These folds are sectioned by sinuous NW-SE and/or E-W normal faults with shallow dips ( $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ) associated with dextral strike-slip faults, which generate *drag folds*.

Straight or sinuous NW-SE reverse faults and sub-vertical fault zones are observed. The individual folds in this area are flexural reverse structures with *en echelon* geometry and similar orientation to the curvilinear folds: shallow SE plunging axes.

The features described above drawn a gentle kilometer-scale antiform, which results from bedding accommodation in response to the faulting deformation.

The parallelism of the features observed in the Igarapé Azul Mn Mine and the main lineaments which drawn the Carajás Fault suggest a close relation between important deformational episodes occurred during the tectonic history of the Carajás Fault. Faults with normal kinematics associated to directional dextral component of displacement are the major exposures in the area and are related to the dextral transtensional episode responsible for installation of the Carajás Fault prior to 2.6 Ga (Pinheiro, 1997). Folds, thrust faults and sub-vertical fault zones would be related to deformation under sinistral transpressional regime; a second event responsible for the reactivation and tectonic inversion of most of the primary structures near the Carajás Fault zone (Pinheiro, 1997; Pinheiro e Holdsworth, 2000; Lima, 2002).

Keyword: Strik Slip Systems, Tectonic inversion; Transpression; Fault Reactivation; Carajás Hills; Strik Slip Systems.

# Capítulo 01

---

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUÇÃO

Este trabalho é resultado da parceria entre a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) e o Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA. Sua principal finalidade foi estudar os aspectos geométricos e estruturais dos corpos do minério de manganês presentes na Mina do Igarapé do Azul, Província Mineral de Carajás.

Os poucos trabalhos relacionados à área (p.ex. Maçal 1991; Pinheiro 1997) mostraram que as rochas da Mina do Igarapé do Azul apresentam um arranjo tectônico com diferentes padrões de dobras e falhas. Essa configuração tectônica, no passado, se mostrou praticamente irrelevante no sentido do avanço da mineração.

A Mina do Manganês do Azul iniciou seu processo de exploração em 1985 pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). A área da mina apresenta excelentes afloramentos de rochas sedimentares, intercalados com níveis ricos em manganês, relacionados à Formação Águas Claras. Essas rochas estão dobradas com intensidade e penetratividade em diferentes graus (p.ex. Pinheiro, 1997).

Os dados obtidos a partir das quatro campanhas de campo de 10 a 15 dias (nos meses de dezembro de 2004, abril, maio e novembro de 2005) mostraram que a maioria das dobras, apresentam-se seccionadas por falhas que rotacionam e deformam as rochas, gerando em diferentes escalas feições como *drag folds*, dobras com padrão *en echelon* e dobras reclinadas. Sendo essas feições bem características de um importante corredor de deformação identificado e discutido ao longo deste trabalho.

O conhecimento desse corredor deformacional é relevante por permitir atualizar o mapa estrutural da mina, auxiliar nos processos de ampliação da mesma, direcionando a expansão dos trabalhos de prospecção de modo mais eficiente e otimizado, além da importância na compreensão da história das principais feições tectônicas regionais presentes na área em que a mina esta inserida.

## 1.2 APRESENTAÇÃO

A Mina do Igarapé Azul está localizada geologicamente sobre o feixe da Falha Carajás, no interior do Sistema Transcorrente Carajás (**fig. 01**).

A Falha Carajás (Silva *et al.*, 1974) representa uma das mais expressivas e intrigantes feições tectônicas presentes na região da Serra dos Carajás. Essa estrutura singular rúptil corta obliquamente, no sentido NW-SE, os lineamentos maiores do Sistema Transcorrente de Carajás, deformando as rochas que afloram no interior da Estrutura de Carajás, e as supracrustais arqueanas pertencentes ao Cinturão Itacaiúnas (e.g. DOCEGEO, 1988; Gouvêa, 1990; Araújo & Maia, 1991; Pinheiro, 1997; Pinheiro & Holdsworth, 1997).

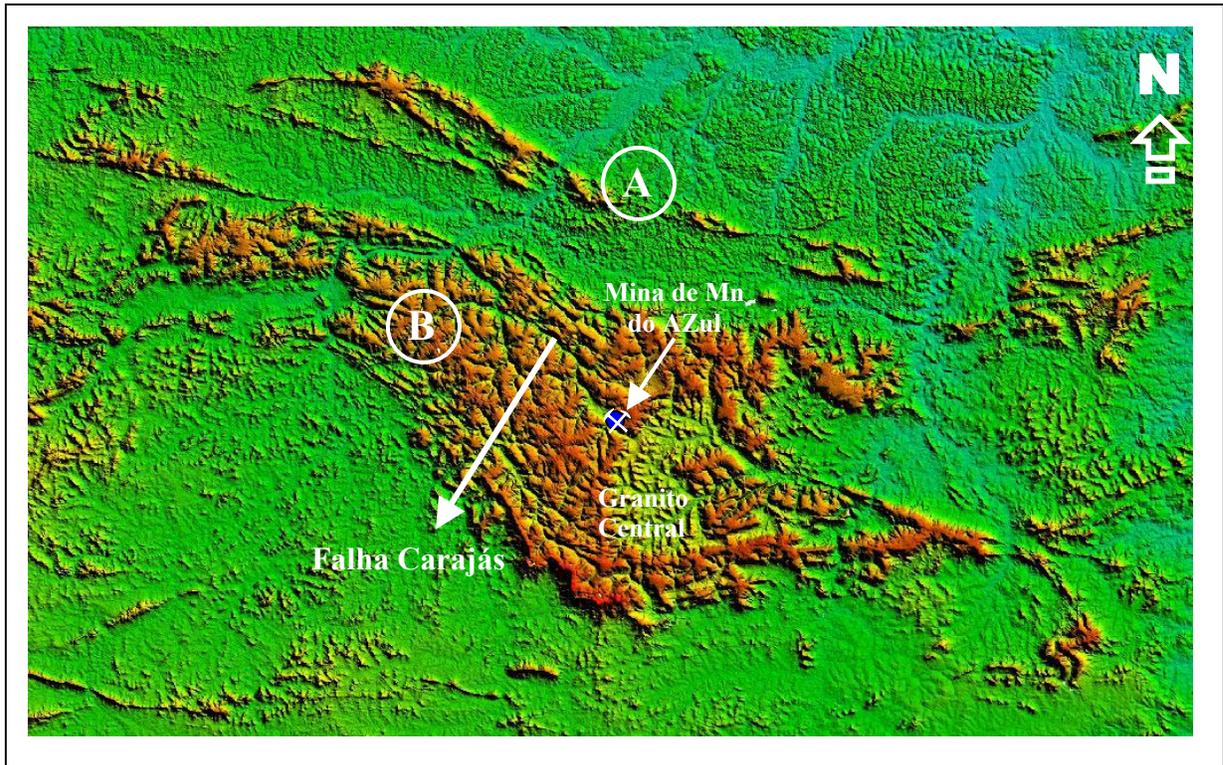
A idade de nucleação da Falha Carajás tem sido apontada como compreendida entre 2.6 Ga (Dias *et al.*, 1996), idade para os metagabros que cortam as rochas da Formação Águas Claras e 2.0-1.8 Ga, idade dos granitos que cortam os feixes da falha, no Sistema Transcorrente Carajás (Pinheiro & Holdsworth, 1997).

Dentre as rochas mais intensamente deformadas pela Falha Carajás estão as que compõem as seqüências vulcânicas e sedimentares do Grupo Grão Pará (ca.2.76 Ga; Wirth *et al.*, 1986; Machado *et al.*, 1991), e aquelas aflorantes na Mina do Igarapé Azul e adjacências, referentes à Formação Águas Claras.

O quadro estrutural responsável pela organização das rochas da mina mostra que a Falha Carajás, nesta região, é composta por um conjunto de segmentos anastomosados, de direção NW-SE e E-W, separando diversos blocos menores, isolando distintos domínios tectônicos. A mina se posiciona na margem de um desses blocos (Pinheiro, 1997).

Conforme tem sido sugerido por diferentes autores (p.ex., Bernardelli, 1982; Maçal, 1991; Pinheiro, 1997) as estruturas tectônicas presentes na Mina do Igarapé do Azul compreendem um conjunto de dobras assimétricas, cortadas por falhas direcional-inversas, de direção E-W, e por falhas normais N-S (Bernardelli, 1982).

Esses arranjos dobrados e falhados estão sendo expostos de modo complexo à medida que novas frentes de lavra são abertas, levando a necessidade do refinamento e atualização do quadro estrutural da área, no sentido de fornecer um indicativo espacial seguro em escala adequada para o avanço dos processos de lavra na mina.

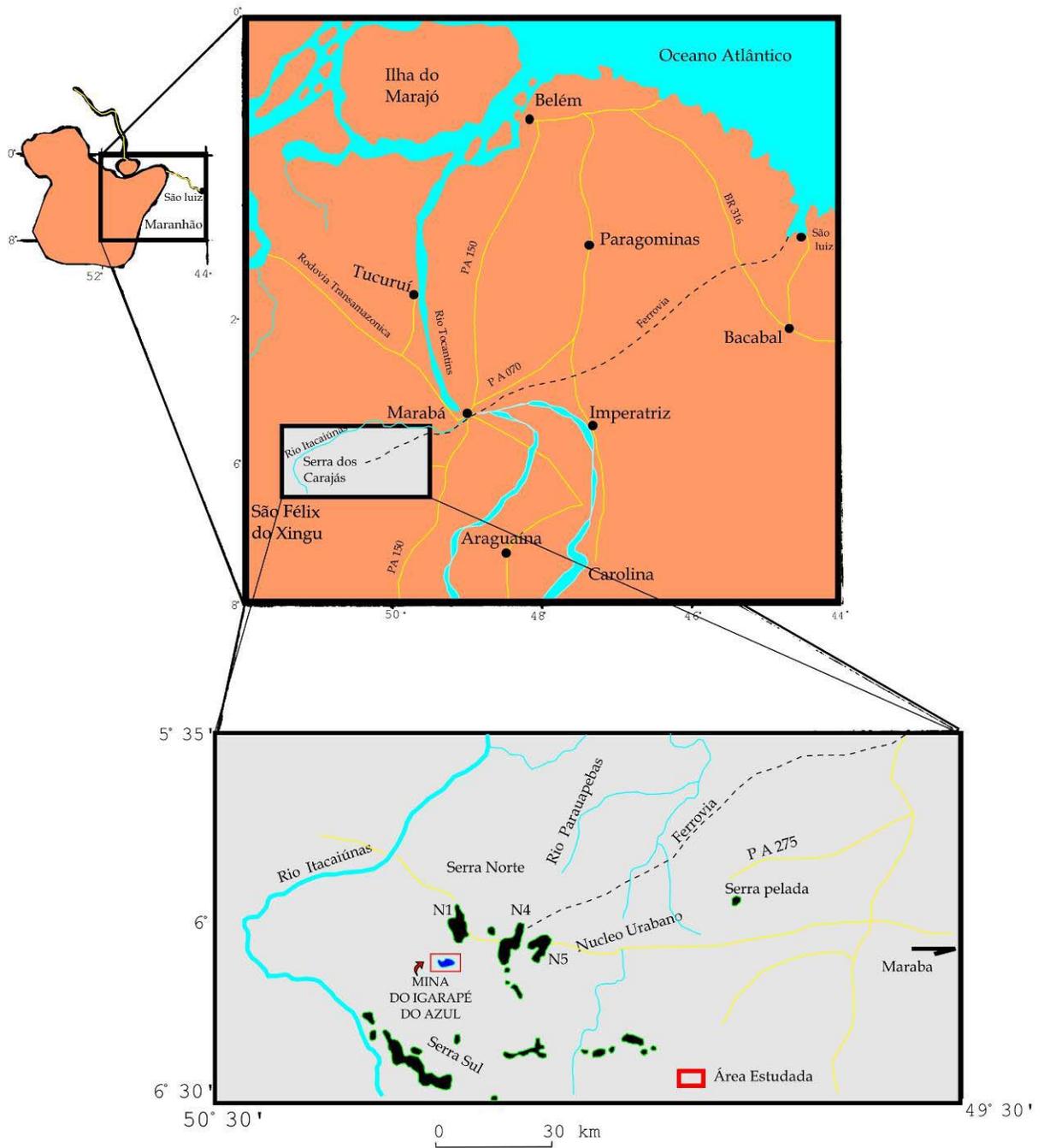


**Figura 01** - Região centro norte de Carajás, destacando o Sistema Transcorrente Cinzento mais a norte (A), e ao sul, o Sistema Transcorrente de Carajás (B), com a Falha Carajás. Pode-se observar a “Estrutura sigmoidal de Carajás” em “Z”, sugerindo uma cinemática dextral (Imagem SRTM).

### 1.3 LOCALIZAÇÃO

A Mina do Manganês do Azul está incluída na folha SB-22-X-C (Serra dos Carajás). Está localizada na Serra dos Carajás no Município de Parauapebas, na parte leste do Estado do Pará. A mina faz parte do complexo de jazida existente nos contextos das Serra Norte e Serra Sul (**Fig. 02**).

O acesso à área pode ser feito atualmente por via aérea com vôos diários (Empresa TOTAL linhas áreas) de Belém para Carajás ou de Marabá para Carajás (Empresa TAM); por via rodoviária através de estradas pavimentadas de Belém ao Município de Parauapebas, da cidade de São Luiz ao município de Parauapebas ou do município de Marabá a cidade de Parauapebas ou ainda pela estrada de Ferro Carajás-Ponta da Madeira.



**Figura 02** - Mapa de localização da Região de Carajás onde a Mina do Igarapé Azul esta inserida (modificado de Maçal, 1991).

## 1.4 OBJETIVOS

Este trabalho se desenvolveu em busca de dois objetivos principais:

- 1) Estudar, em diversas escalas, os elementos estruturais presentes nas rochas nas quais o minério de manganês está inserido e com base na *análise cinemática e geométrica*, buscar a caracterização da posição espacial e geométrica dos corpos de minério e suas encaixantes, com vista a entender os processos tectônicos responsáveis pela deformação estudada;
- 2) Fornecer subsídios para auxiliar as atividades de lavra dos depósitos e prospecção de novos depósitos.

Como objetivos subordinados têm-se

- Estudar a possível influencia da Falha Carajás na organização espacial das rochas expostas na mina e na disposição do corpo mineralizado;
- Elaborar mapas e seções estruturais integradas, abrangendo toda a área da mina ora em serviço, em escala de detalhe (1: 20000 e 1:1);
- Estudar, sob o ponto de vista tectonoestratigráfico, as relações entre os principais episódios de deformação associados à estruturação regional e a distribuição, idades e características petro-estruturais dos litotipos aflorantes;
- Encaminhar uma proposta preliminar de organização espacial dos diferentes tipos de minérios expostos, buscando auxiliar os trabalhos de lavra na mina.

## 1.5 ATIVIDADES E MÉTODOS

O levantamento do acervo bibliográfico e cartográfico a respeito da região foi realizado visando elaborar uma síntese crítica sobre os dados geológicos existentes, enfocando seu estado de arte e problemas.

Foi elaborado um mapa de lineamentos estruturais a partir da integração de dados obtidos a partir da interpretação de imagens de satélite na escala de 1: 250 000 (**Tab. 01**).

Para a construção desse mapa as imagens selecionadas foram tratadas através da técnica de Processamento Digital de Imagens (Moreira, 2003). Esta técnica foi usada para melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos. O *software* escolhido para a realização desta técnica foi o *Spring* versão 4.1.

*Características da Imagem utilizada*

Quantidade	Sensor	Características
6 bandas (1,2,3,4,5 e7)	LANDSAT 7 TM+	Ponto órbita :WRS 224/064 Data de aquisição: 09/07/2001 Tipo: BSQ

Fonte: <http://glcfapp.umiacs>

O Processamento Digital de Imagens foi realizado, usando os recursos de informática disponíveis no LAIT (DGL/UFPA), em duas etapas independentes: **(1) pré-processamento:** visualização das bandas no *software Spring* 4.1 e processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído. Nessa etapa também se fez o recorte da área em que a mina está inserida, resultado num retângulo envolvente cujos vértices são  $X_1 = 590000$   $Y_1 = 9350000$ ;  $X_2 = 530000$  e  $Y_2 = -9310000$ ; **(2) realce e classificação:** foram aplicadas as técnicas de realce de contraste, filtragem, operação aritmética, transformação IHS e componentes principais. Para a escolha do melhor tripleto de bandas foi testado o (OIF) um índice desenvolvido por Chavez Jr. *et al* (1982) que indica a composição colorida que contém a menor repetição de dados. A composição final escolhida foi **4R5G3B**. Todas essas etapas são descritas detalhadamente em Moreira (2003).

A extração e a interpretação das feições da imagem tratada foram realizadas segundo a metodologia apresentada por Veneziane & Dos Anjos (1982).

As principais observações feitas com relação a limitações desse método são: (1) em determinadas situações a não distinção de traços com mesma direção; (2) obtenção de dados cinemáticos não tão seguros; e (3) as reais organizações temporais entre os conjuntos de traços é geralmente crítica, pois nem sempre podem se estabelecer às relações de truncamento a partir desse tipo de investigação.

Os trabalhos de campo foram realizados em quatro campanhas com viagens nos meses de dezembro de 2004, abril, maio e novembro de 2005 para a região da área da mina com duração de 10 a 15 dias cada.

O método usado em campo envolveu o reconhecimento prévio da área de estudo a fim de selecionar áreas chaves de melhores exposições, representativas do estilo de deformação impresso nas rochas. Após essa seleção a coleta de dados relativos à geometria e a cinemática foi realizada segundo a técnica de integração por setores (p.ex. Glen *et al.*, 2005). Essa técnica consistiu na descrição detalhada de cortes em bancadas acessíveis da mina, já selecionadas durante o reconhecimento da área. Desenhos esquemáticos das seções estruturais foram elaborados em campo, simultaneamente à coleta dos dados estruturais, em pontos localizados com o sistema GPS e identificados por piquetes. Por esse motivo, todas as feições presentes nas seções estão cartograficamente amarradas aos pontos de atitudes de estruturas presentes no mapa.

Visando uma maior compreensão da deformação das rochas observadas em afloramentos selecionados, foram desenhados mapas de detalhes a partir da técnica de quadrículas (5x5m) que resultou em mosaicos que cobriam a maior área possível nas exposições.

Os dados coletados indicativos de cinemática das rochas foram lineações (eixos de dobras), rejeitos de falhas e dobras de arrasto. Os elementos planares foram registrados segundo a notação ângulo de mergulho/direção do mergulho; e os lineares com ângulo de caimento/ direção do caimento. Estes dados foram representados em estereogramas utilizando redes de área igual ou de Schmidt (hemisfério Sul) e tratados pelo aplicativo “Stereonet 2.0 for *Windows*”.

A etapa seguinte consistiu na preparação das seções esquemáticas do meio analógico para o digital e preparação de diagramas em 3D utilizando o aplicativo *Corel Draw* versão 12. Os dados obtidos pela interpretação dessas seções geológicas foram integrados gerando dois mapas

finais, um mapa de localização de todos os pontos estudados e seções geológicas realizadas ao longo da área da mina e um mapa do comportamento estrutural das rochas aflorantes na mina do Igarapé Azul. O aplicativo utilizado nessa técnica foi o *software* ArcView Gis 2.4.

A última etapa desse trabalho consistiu da elaboração do texto da dissertação com auxílio de computadores e periféricos, seguindo-se de divulgação dos resultados.

## 1.6 CONCEITOS E TERMOS APLICADOS

Neste tópico são abordados de maneira breve as principais definições e conceitos dos termos utilizados em Geologia Estrutural e Tectônica com o objetivo de auxiliar o leitor no entendimento do texto.

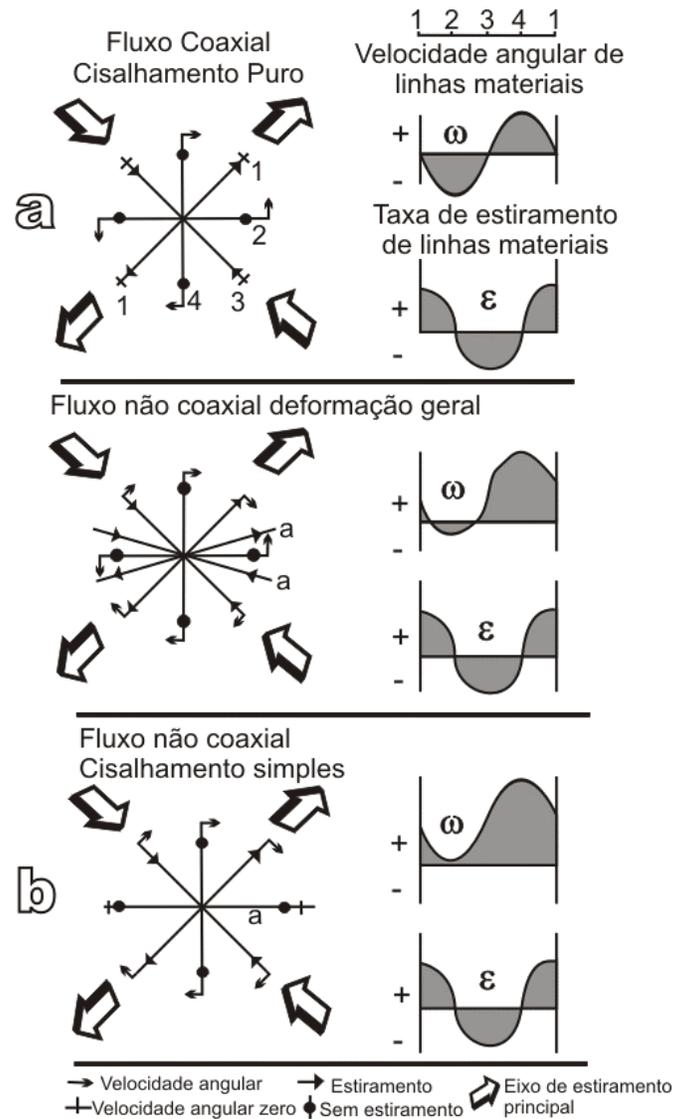
### 1.6.1 Cisalhamento Puro e Cisalhamento Simples

Esses termos foram primeiramente utilizados por Hobbs *et al* (1976), onde cisalhamento puro é um tipo de deformação homogênea, envolvendo deformação planar ou geral, onde as linhas paralelas ao eixo principal do elipsóide de deformação não mudam suas orientações após a deformação. Já o cisalhamento simples, segundo esses autores, é uma deformação homogênea que se dar com volumes constantes, envolvendo deformação plana onde uma família de planos materiais se mantém paralela a deformação.

Passhler *et al* (1990) desenvolveram um novo conceito para o termo cisalhamento puro com base no conceito de fluxo tectônico, caracterizando a deformação em dois tipos, utilizando como critérios as velocidades angulares e as taxas de estiramento das linhas materiais do corpo em estado de deformação.

O cisalhamento puro segundo Passhler *et al* (1990) ocorre quando as linhas materiais, coincidentes com os “eixos de estiramento principal” (EEP) não apresentam rotação, implicando em vorticidade igual à zero (**Fig 03**).

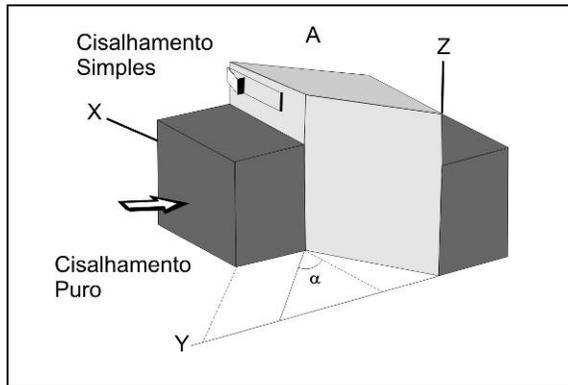
Já para o cisalhamento simples, Twiss & Moore (1992) o definem como uma deformação plana sob volume constante, no qual todas as partículas materiais seriam deslocadas de modo estritamente paralelo ao plano do cisalhamento, com rotação de todas as linhas materiais, exceto aquelas paralelas a esses planos.



**Figura 03** - Tipos de fluxo identificados pelo padrão de velocidade angular ( $\omega$ ) e taxa de estiramento ( $\epsilon$ ) de linhas materiais. As taxas de estiramento observadas são as mesmas para cisalhamento puro (a) e simples (b), sendo a diferença entre eles caracterizada pela velocidade angular (modificada de Passhier et al., 1990).

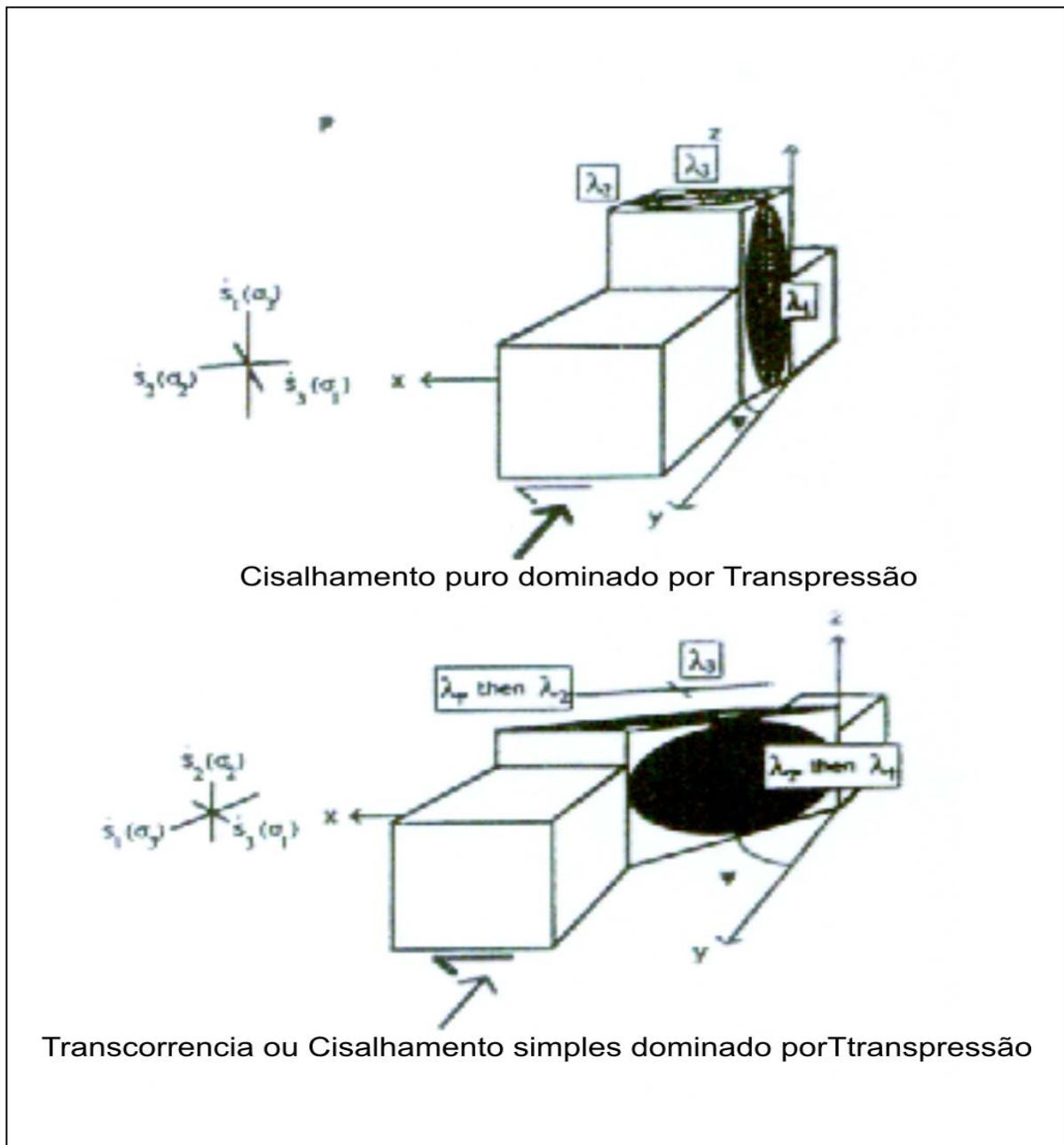
### 1.6.2 Transpressão e Transtensão

Termos utilizado por Sanderson & Marchini (1984) para se referir ao estado particular de deformação tridimensional oblíqua (**Fig 04**) dividida em duas componentes, uma por cisalhamento puro compressional (Transpressão) ou extensional (Transtensão) e outra por cisalhamento simples transcorrente (dextral ou sinistral).



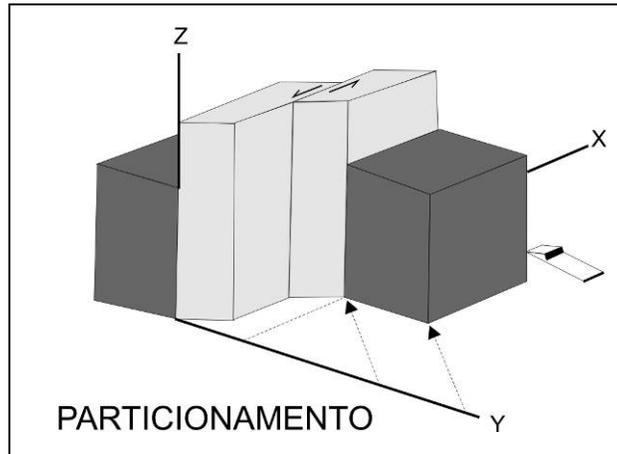
**Figura 04** - Modelo tridimensional de transpressão, com suas componentes de cisalhamento puro e simples mostrando o espessamento vertical produzido no corpo deformado no estado finito (Sanderson & Marchini, 1984)

Tikoff & Teyssier (1994) referem-se a dois tipos de transpressão: (1) dominada por cisalhamento puro muito semelhante ao modelo inicialmente proposto por Sanderson & Marchini (1984); e (2) transcorrência ou cisalhamento simples onde o eixo extensional finito do elipsóide de deformação trocava de lugar com o eixo intermediário desse elipsóide (**Fig 05**).



**Figura 05** - Diagrama ilustrando os dois tipos de transpressão: dominado por cisalhamento puro e dominado por transcorrência ou cisalhamento simples (Tykoff & Teyssier, 1994).

Alguns autores (p.ex. Teyssier *et al.*, 1995) propõem a presença importante de partição de deformação em regimes dominados por transpressão ou transtensão. O grau de partição influencia diretamente na distribuição e na natureza da deformação (**Fig 06**).



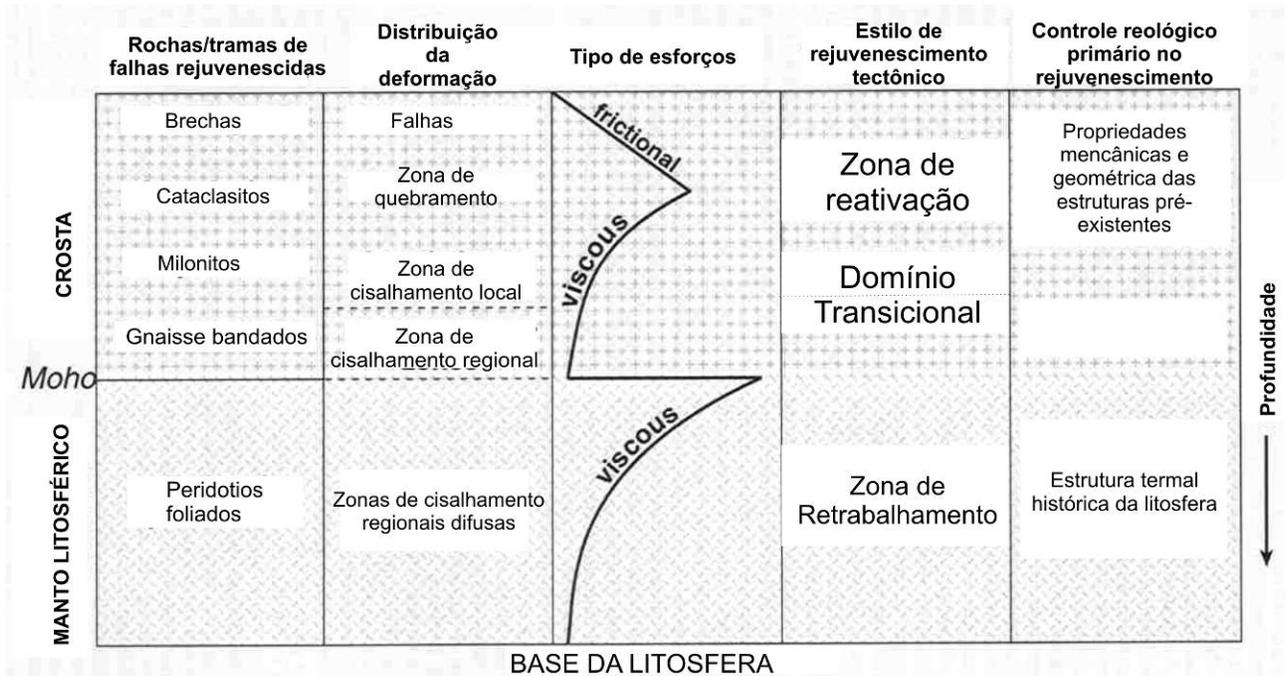
**Figura 06** - Modelo tridimensional de transpressão com partição (Teyssier *et al.*, 1995).

A mudança de posição dos eixos de deformação finita, juntamente com a partição de deformação, pode causar rápidas mudanças na orientação da lineação e no sentido do cisalhamento dentro das zonas de transpressão (Goodwin & Williams, 1996).

### 1.6.3 Reativação

Termo utilizado para designar situação onde há modificações estruturais de uma feição pré-existente, sem que haja modificações significativas no seu volume ou orientação, com rejuvenescimento de estruturas discretas (Holdsworth *et al.*, 2001). A reativação deve estar relacionada a eventos de deformação, em ambientes antigos, que estejam separados por mais de 1Ma.

Um termo muito comum de ser confundido com reativação é o termo retrabalhamento. Este termo diz respeito a processos metamórficos, estruturais e magmáticos (**Fig 07**) que modificam a litosfera continental em escalas orogênicas (Holdsworth *et al.*, 2001).

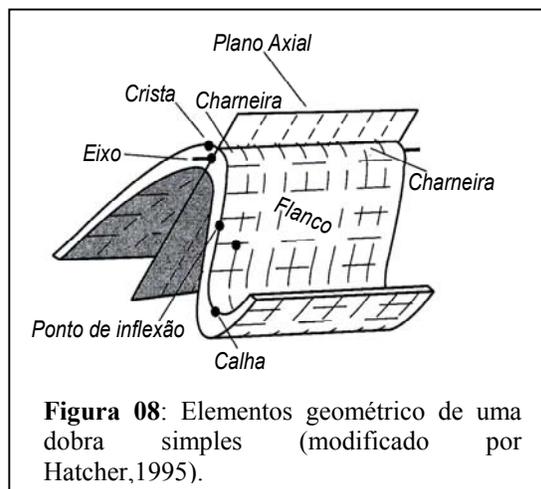


**Figura 07** - Diagrama mostrando as relações entre rochas/fabric, distribuição de deformação, estilo de rejuvenescimento tectônico e controle reológico em diferentes profundidades. Observar o limite transicional entre as reativações e o retrabalhamento (modificado a partir de Holdsworth et al., 2001).

#### 1.6.4 Dobras

Termo usado na definição de ondulações ou convexidades e concavidades de planos materiais que se desenvolvem durante a deformação das rochas (Twiss & Moores, 1992).

##### 1.6.4.1 Elementos Geométricos da Dobra

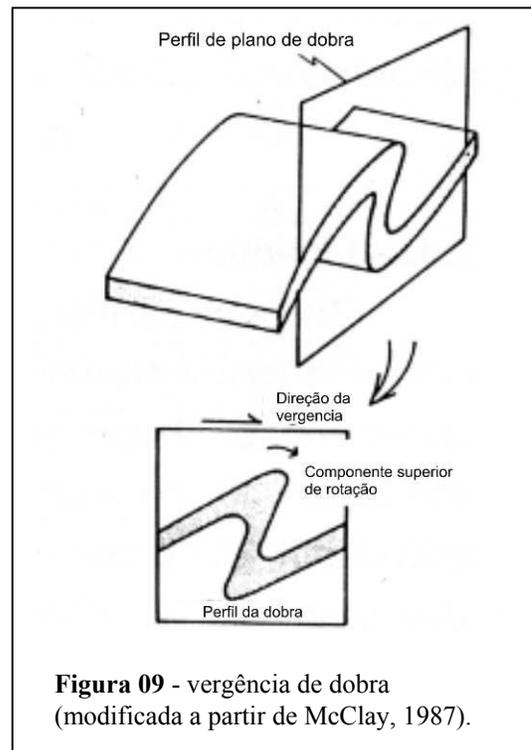


**Figura 08:** Elementos geométrico de uma dobra simples (modificado por Hatcher, 1995).

A figura 08 mostra os principais elementos de uma dobra:

- Crista e calha de uma dobra são as linhas de elevação mais alta e mais baixa, respectivamente, em uma superfície dobrada.
- Flancos: são as partes da superfície dobrada com menor curvatura, incluindo
- as linhas de inflexão.

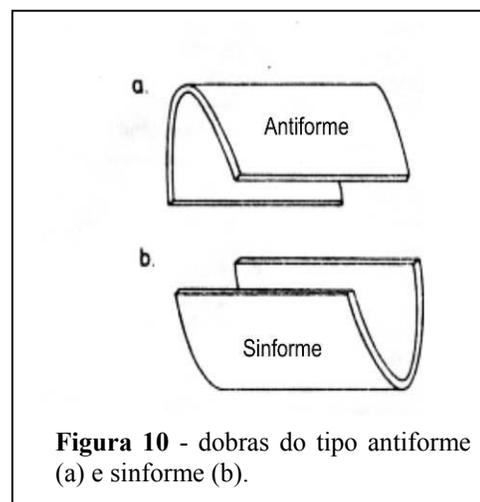
- Charneira ou linha de charneira é a linha dentro da superfície dobrada ao longo da qual a curvatura é máxima.
- Eixo de dobra: é a linha de orientação fixa que forma um ângulo de  $0^\circ$  com qualquer elemento geométrico dentro da superfície dobrada.
- Linha de charneira é a linha formada pela união dos pontos de maior curvatura em uma superfície dobrada.
- Plano ou superfície axial é resultado da união entre várias linhas de charneira em sucessivas superfícies dobradas de uma mesma dobra.
- Comprimento de onda é a distância entre duas cristas consecutivas entre sinclinais ou anticlinais adjacentes.
- Amplitude corresponde à metade da distância entre duas cristas consecutivas, medida paralelamente ao plano axial. Juntamente com o comprimento de onda, fornecem as relações de escala das dobras.
- Vergência corresponde à direção para onde se inclina a superfície axial de uma dobra, não aparecendo, portanto em dobras simétricas (Fig 09).



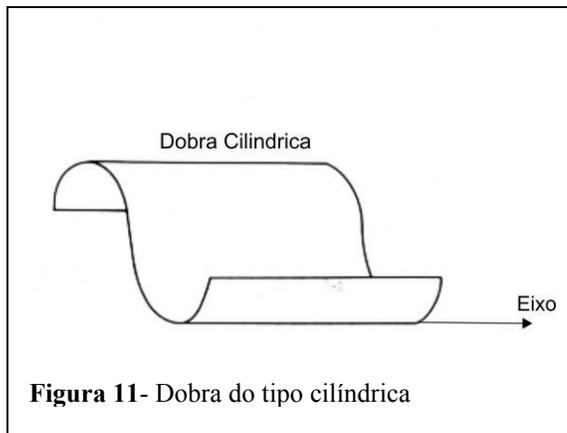
#### 1.6.4.2 Tipos de Dobras

- Anticlinal é uma dobra que mostra fechamento para cima, apresentando as rochas mais antigas em seu núcleo.

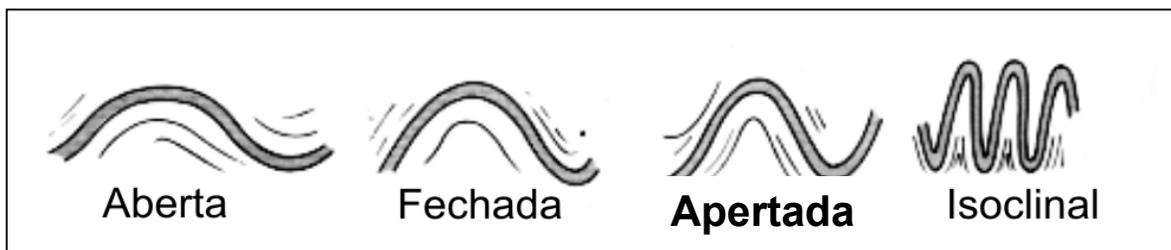
Antiforme é a dobra cuja concavidade está voltada para baixo, sendo desconhecidas às relações estratigráficas de suas rochas (**fig 10**).



- Sinclinal é uma dobra que se fecha para baixo, mostrando as rochas mais novas em seu núcleo.
- Sinforme é uma dobra onde o acamamento apresenta concavidade para cima, porém, as relações estratigráficas entre suas rochas são desconhecidas (**Fig 10**).
- Dobra cilíndrica (**Fig 11**) é uma dobra em que uma linha com orientação constante chamada eixo de dobra pode ser movida ao longo da superfície dobrada sem perda de contato com a mesma em qualquer ponto. Dobras que não possuem essa propriedade são chamadas de dobras não cilíndricas.



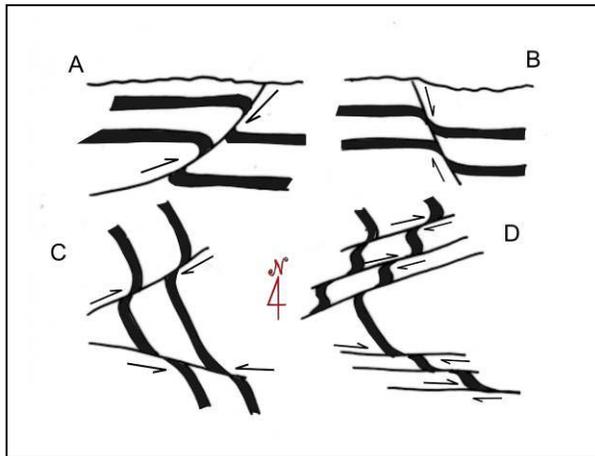
- Dobra aberta: os flancos mergulham suavemente em direções opostas e possuem valores de ângulo  $\theta$  entre os flancos  $120 \geq \theta > 70$  (**Fig 12**).
- Dobra apertada: os flancos mergulham para uma mesma direção ou para direções opostas, o ângulo  $\theta$  entre os flancos é de  $30 \geq \theta > 0$  (**Fig 12**).
- Dobra isoclinal: são dobras apertadas em que há paralelismo entre os flancos e a superfície axial e o ângulo entre os flancos é igual a zero. São comuns em rochas deformadas sob regime dúctil (**Fig 12**).



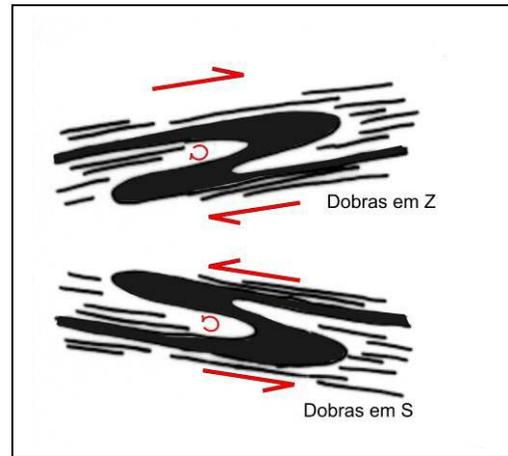
**Figura 12** - Tipos de dobras quanto ao estilo e ângulo entre flancos.

- Dobras paralelas: mostram espessura constante das camadas ao longo da superfície dobrada.
- Dobras concêntricas: são dobras paralelas em que às superfícies dobradas definem arcos circulares e mantêm o mesmo centro de curvatura.

- Drag Folds: dobras que se formam ao longo do plano de falha normal ou de cavalgamento, gerando *drags* na forma de antiforme e sinforme (**Fig 13**). Esse *drags* quando associados aos planos de falhas transcorrentes de movimentação dextral ou sinistral assumem geometria em “S” ou “Z” (**Fig 14**).



**Figura 13** - Exemplos de *drag fold*. (A) em planos de falhas cavalgamento; e (B) em planos de falha normais. (C) e (D) *drags* ao logo de traços de falhas transcorrentes.



**Figura 14** - *Drags folds* com geometria em “Z” e “S” resultante da movimentação dextral e sinistral dentro de uma zona de transcorrência.

- Dobras chevron ou kink folds: são dobras com flancos retos e charneiras agudas, se simétricas são dobras chevron, se assimétricas são dobras *kink* (**Fig 15**). Essas dobras se desenvolvem em seqüências francamente laminadas que apresentam forte anisotropia mecânica planar e acomodam um componente de encurtamento paralelo ao acamamento. São formadas em condições de temperatura e pressão baixas.



**Figura 15** - Dobras com padrão *Chevron* ou *kink*

## Capítulo 02

---

### 2 ASPECTOS SOBRE A GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

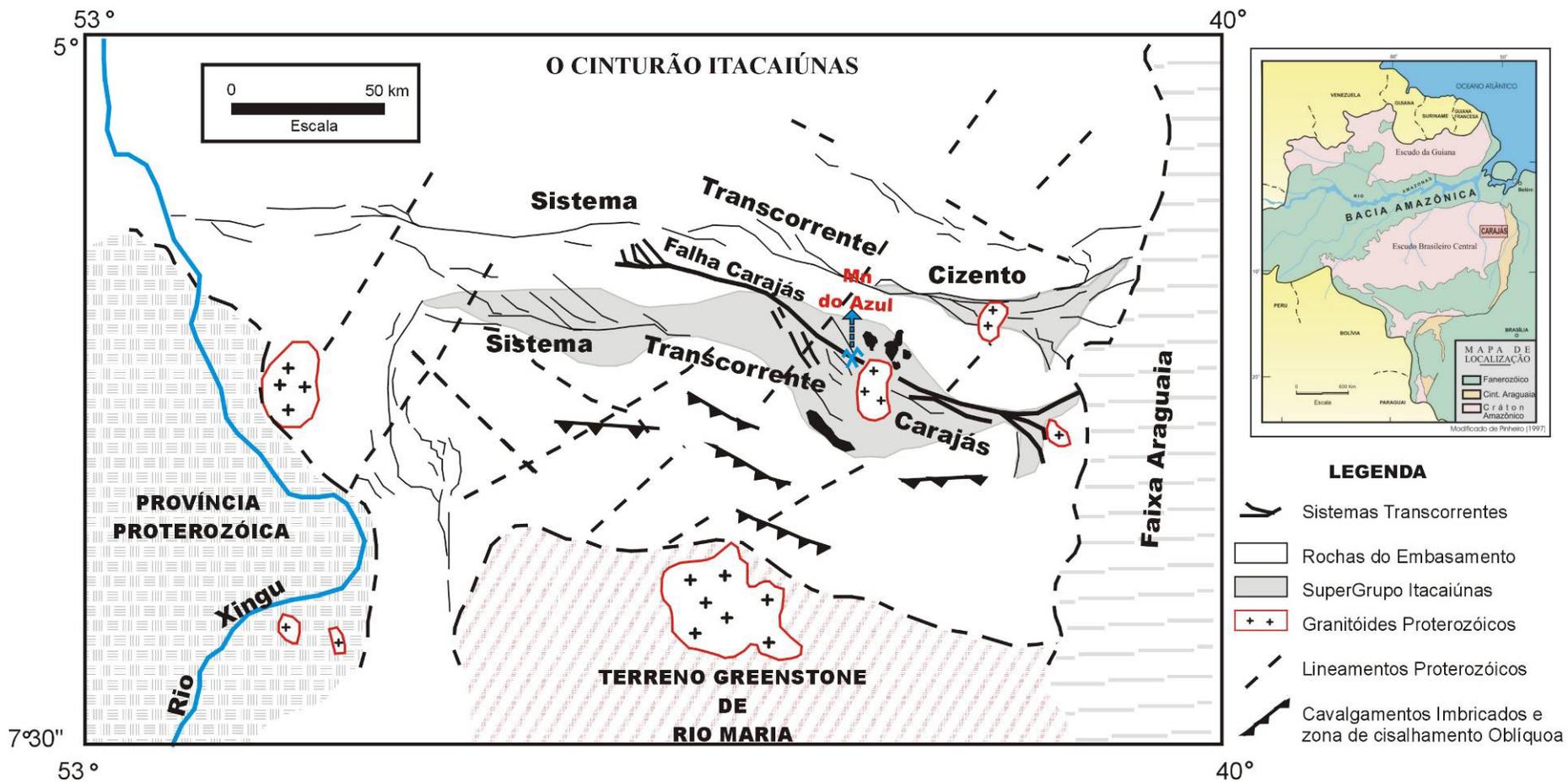
A região de Carajás, localizada geologicamente na parte leste do Escudo Brasil Central, adjacente ao Cinturão Araguaia (**Fig 16**), encontra-se dividida em dois domínios tectônicos maiores (Almeida *et al.*, 1981): (1) **O Cinturão Itacaiúnas** (Araújo *et al.*, 1988) e o (2) **Terreno Granito *Greenstone* de Rio Maria** (Dall’Agnol *et al.*, 1996, 1997; Althoff, 1996; Althoff *et al.*, 2000).

O **Cinturão Itacaiúnas** (Araújo *et al.*, 1988) situado na borda leste do Cráton Amazônico é representado por dois subdomínios principais: (1) O **Sistema Transcorrente Cinzento** e o (2) **Sistema Transcorrente Carajás** (**Fig 16**).

O **Sistema Transcorrente Cinzento** é caracterizado por um feixe de falhas com traços curvos e anastomóticos, com direção geral WNW-ESSE e, tendo como principais feições o *Sidewall Ripout* do Salobo, o *Romboedro* do Cururu e o *Splay* de Serra Pelada (p.ex. Pinheiro, 1997).

A sul do Sistema Transcorrente Cinzento está o **Sistema Transcorrente Carajás**, marcado pela “Estrutura Sigmoidal de Carajás” (*dilational jog*; Pinheiro, 1997). Esta feição é cortada longitudinalmente pela Falha Carajás

A Falha Carajás (**Fig 01**), com direção geral WNW-ESE, apresenta comprimento de aproximadamente 200 km, sendo formada por feixes de traços descontínuos, curvos e anastomóticos, desenhando uma geometria em “Z” denominada de “Estrutura Sigmoidal de Carajás” (*dilational jog*; Pinheiro, 1997). As terminações desta falha, tipo *splay em rabo-de-cavalo*, com direção WNW, mostram na sua parte W uma inflexão para NE enquanto que na sua parte E apresenta curvatura para S. Essas terminações projetam-se para fora dos limites da “Estrutura de Carajás” deformando simultaneamente rochas do interior dessa feição como também as rochas do embasamento.



**Figura 16** - O Cinturão Itacaiúnas e seus principais domínios tectônicos (modificado de Araújo & Maia, 1991 e Pinheiro, 1997). A área de estudo é a Mina do Igarapé Azul na região centro norte do Sistema Transcorrente de Carajás.

## 2.2 GEOLOGIA DA REGIÃO DE CARAJÁS

### 2.2.1 Trabalhos Anteriormente Desenvolvidos

Os primeiros trabalhos realizados na região de Carajás se relacionam à década de 1960. Dentre eles destacam-se Barbosa *et al* (1966), Ramos (1967), Almeida *et al* (1968) entre outros, que abordaram prioritariamente a descrição dos litotipos e lançaram as primeiras propostas estratigráficas para as rochas da região.

Os trabalhos desenvolvidos na década de 1970 por Knup (1971), Puty *et al* (1972), Beisiegel *et al* (1973) entre outros, elaboraram um avanço no conhecimento sobre a geologia da região, sendo que ainda nesta década trabalhos como os de Rezende & Barbosa (1972), Anderson *et al* (1974) e outros, elaboraram as primeiras sugestões sobre a gênese das principais ocorrências minerais da Província Mineral de Carajás.

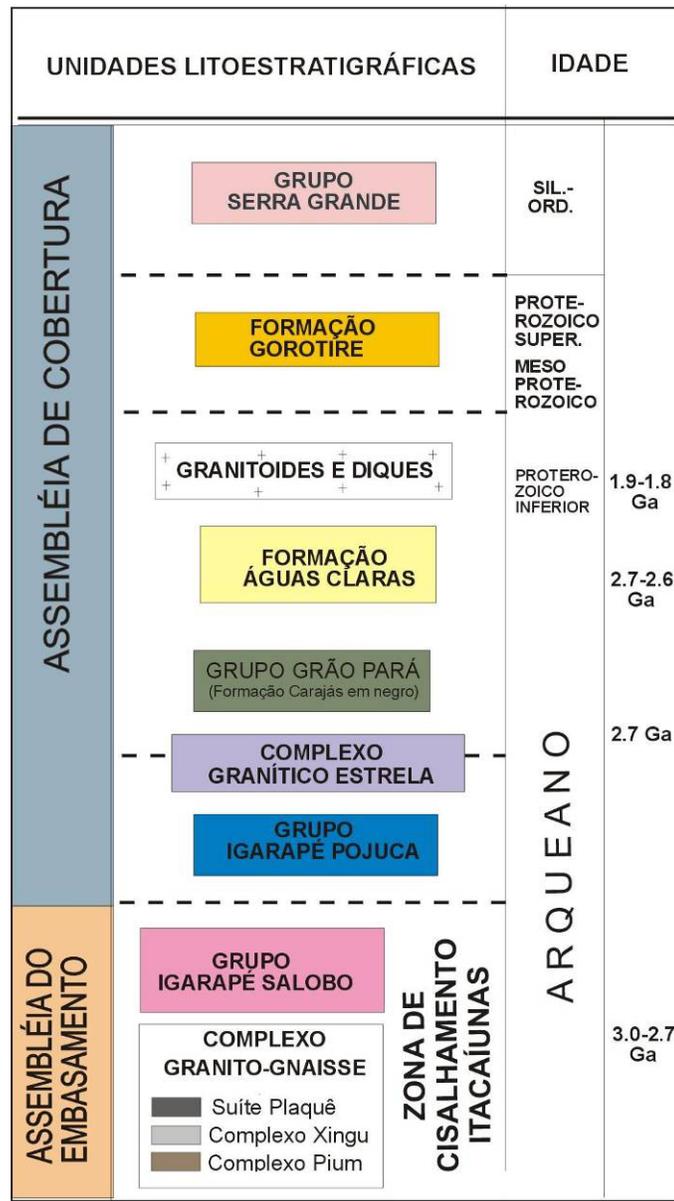
A década de 80 é marcada pela intensificação dos estudos geológicos na área destacando-se os trabalhos de Almeida (1980), Lindenmayer (1981), Martins *et al* (1982), Hitara *et al* (1982), Dall'Agnol (1982), Araújo *et al* (1988), DOCEGEO (1988) entre outros, que discutiram basicamente aspectos litológicos e interpretações geotectônicas, baseadas em dados geocronológicos e de campo.

Trabalhos apresentados por Lindenmayer (1990), Araújo & Maia (1991), Costa *et al* (1993), Barros *et al.* (1995), Pinheiro & Holdsworth (1995) e Barros (1997) deram especial atenção ao entendimento do quadro geológico regional da Serra dos Carajás. Pinheiro & Holdsworth (1997) e Pinheiro (1997) propuseram para a região de Carajás uma evolução baseada em mecanismos de reativações de estruturas dúcteis, retrabalhadas com estruturas rúpteis tardias, envolvendo diversos episódios alternados de deformação transpressional e transtensional.

Os trabalhos mais recentes enfatizam a evolução tectonoestratigráfica, petrogênese, metalogênese e principalmente a geocronologia das rochas da Província Mineral de Carajás (p.ex. Pinheiro & Holdsworth, 2000; Althoff *et al.*, 2000; Barros *et al.*, 2001; Macambira *et al.*, 2001; Villas & Toro, 2001 entre outros).

Neste trabalho será usado como referencia da geologia da região de Carajás a proposta de Pinheiro (1997), por se tratar da proposta mais atual e por se apoiar em estudos tectonoestratigráficos, ferramenta útil para trabalhos em áreas deformadas.

A proposta de Pinheiro (1997) organiza as rochas aflorantes na região em três grandes unidades: (1) **Terreno Granito-Gnáissico de Alto Grau**; (2) **Terreno Granito-Greenstones e (3) Seqüências Vulcano-sedimentares Supracrustais de Baixo Grau (Fig 17)**. Nessa proposta faltam critérios para separar de forma mais clara as rochas vulcânica com diferentes graus metamórficos pertencentes aos Grupos Grão-Pará, Igarapé Salobo e Igarapé Pojuca.



**Figura 17** – Proposta estratigráfica para a região de Carajás apresentada por Pinheiro (1997).

## 2.2.2 O Quadro Geológico Regional

- **Complexo Pium**

Esta unidade engloba rochas de composição básica a ultrabásica, estratificadas, (Hitara *et al.*, 1982), aflorantes sob a forma de lentes orientadas preferencialmente na direção E-W, expostas na porção sul da região de Carajás (p.ex. borda sul do Sistema Transcorrente de Carajás). São rochas granulíticas de composições máficas a félsicas (DOCEGEO, 1988), em contato concordante com os gnaisses do Complexo Xingu, marcados por importantes zonas de cisalhamento dúcteis.

Rodrigues *et al.* (1992), com base no método Pb-Pb em rocha total, obtiveram idades, para essa unidade, de  $3.050 \pm 114$  Ma. Pidgeo *et al.* (2000) obtiveram duas idades para o método U-Pb (SHRIMP), uma com valores de  $3.002 \pm 14$ , idade essa quase correspondente àquela obtida por Rodrigues *et al.* (1992) e outra com valor de  $2.859 \pm 9$  provavelmente deve corresponder ao metamorfismo de fácies granulito.

- **Complexo Xingu**

Citado originalmente por Silva *et al.* (1974) compreendendo as rochas infracrustais ocorrentes em praticamente todo o Cráton Amazônico. É descrito como uma associação de gnaisses tonalíticos, trondjhemitos, granodioritos, granitos e anfibolitos com alto grau de metamorfismo, incluindo migmatização regional (Hitara *et al.*, 1982). A idade obtida para os protólitos fica em torno de 2,86 Ga (Machado *et al.* 1991).

- **Suite Plaque**

Sitado primeiramente por Araujo *et al.* (1988) e também chamado de “Granito Estratóide Plaque” por Araújo & Maia (1991), trata-se de um pequeno grupo de granitóides intrusivos aflorantes em lentes com orientação E-W, expostos concordantemente em associação com o Complexo Xingu (Araújo *et al.* 1991). Apresenta idades com base no método Pb-Pb em zircão em torno de  $2.727 \pm 29$  Ma (Avelar *et al.*, 1996) e de  $2.972 \pm 29$  Ma (Avelar *et al.*, 1999).

Na região, onde são identificadas as rochas do embasamento ocorrem outros granitos de idades arqueanas (2.74-2.76 Ga; Barros *et al.*, 2001). Dentre os destacam-se por serem mais estudados o Complexo Granítico Estrela, o Granito Planalto, o Granito Serra do Rabo.

Praticamente todos esses plútons granitos, anteriormente vinculados ao Complexo Xingu, foram separados a partir de estudos detalhados de suas relações de contato e idades geocronológicas ganhando nomes e posições estratigráficas próprias. Como consequência, as rochas do chamado Complexo Xingu têm sofrido significativa redução em área nos mapas regionais, questiona-se a verdadeira identidade litológica desse complexo.

## MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO NORTE DA CARAJÁS

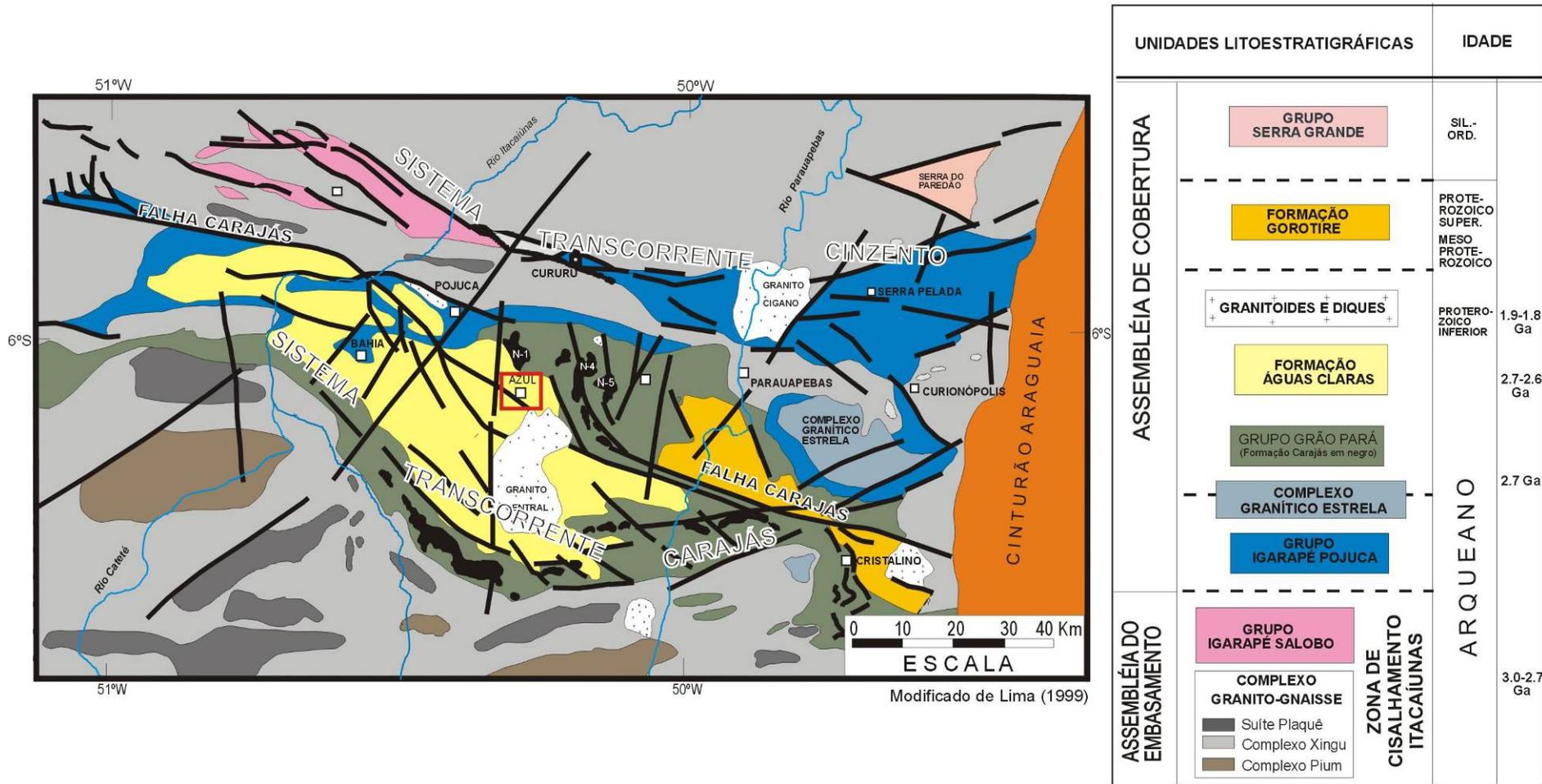


Figura 18 – Mapa Geológico e quadro tectonoestratigráficos para a região de Carajás (PA). Modificado de Pinheiro (1997)

### 2.2.2.1 Terreno Granito-Greenstone

As rochas englobadas nesta unidade correspondem àquelas de idades arqueanas, que afloram notadamente na região mais a sul da Serra dos Carajás. O chamado Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria é o mais importante destes, tendo como unidades estratigráficas:

- **SuperGrupo Andorinhas:** Sequências metavulcânicas intercaladas por sequências metassedimentares e intrusões máficas metamorfizadas, incluído peridotitos com textura *spinifex*, de fácies xisto verde. Os metassedimentos são tipicamente xistos pelíticos e quartzíticos. A idade máxima obtida para a sua formação foi de  $2979 \pm 5$  Ma obtida pelo método U/Pb (Pimentel & Machado 1994).
- **Trondjhemito Mogno** (DOCEGEO, 1988): batólitos aflorantes nos domínios do granito-greenstones com idades em torno de  $2880 \pm 60$  Ma (Rb/Sr; Tassinari *et al.*, 1987).
- **Granodiorito Rio Maria** (Souza *et al.*, 1990): representado por corpos batolíticos de granodiorito e monzogranito intrudidos nos gnaisses tonalíticos do Complexo Xingu. São datados em  $2876 \pm 13/-11$  Ma (Macambira & Lafon, 1994).
- **Tonalito Parazônia:** Plúton deformado apresentando evidências de ter sido intrudido no granodiorito Rio Maria e no Trondjhemito Mogno. Pimentel & Machado (1994) apresentam uma idade de 2858 Ma para estas rochas, obtida pelo método U-Pb em titanita.

### 2.2.2.2 Sequências Vulcano-Sedimentares de Baixo Grau

As rochas pertencentes a este conjunto estão distribuídas em grande parte no interior de estruturas limitadas por lineamentos maiores que dominam a Serra dos Carajás, formando a chamada “Estrutura de Carajás” (Fig 18).

É representada pelo **SuperGrupo Itacaiúnas** englobando os grupos: **Igarapé Salobo** (gnaisses, anfíbolitos, xistos, quartzitos e formações ferríferas); **Grupo Igarapé Pojuca** (xistos, quartzitos e formações ferríferas) e **Grupo Grão Pará** (rochas vulcânicas básicas da Formação Parauapebas intercalados com níveis de formação ferríferas bandada da Formação Carajás).

O magmatismo revelado por essas rochas tem revelado idades em torno de 2.76 Ga (Wirth *et al.*, 1986; Machado *et al.*, 1991; e Trendal *et al.*, 1998).

Segundo diversos autores (p.ex Lindenmayer & Fyffe, 1992; Barros & Barbey, 1998 e 2000) as rochas pertencentes ao Grupo Grão Pará, Salobo e Igarapé Pojuca seriam contemporâneas, diferindo apenas no grau do metamorfismo. Desta forma as rochas pertencentes aos grupos Igarapé Pojuca e Igarapé Salobo poderiam representar graus de metamorfismo mais elevado em relação ao grupo Grão Pará (metamorfismo variando de xisto verde a incipiente).

As seqüências sedimentares clásticas aflorantes na porção central de Carajás e na Serra do Rabo são representadas pela **Formação Águas Claras** (Nogueira, 1995) compreendendo em rochas sedimentares marinhas a fluviais cortadas por sills e diques de rochas máficas (Soares *et al.*, 1994) e a **Formação Gorotire** (Pinheiro, 1997; Lima & Pinheiro, 1998) onde destaca-se uma seqüência clástica imatura (arenitos e conglomerados de litotipos diversificados) não deformada. Estudos isotópicos em arenitos dessa unidade revelaram uma idade de  $2.737 \pm 4$  Ma através do método Pb-Pb por evaporação de zircão. Sendo essa idade definida como a máxima de deposição desses sedimentos.

Diversos plútons de granitos anorogênicos (todos com idades Paleoproterozóica) estão intrudidos tanto no embasamento quanto nas supracrustais. Esses corpos são melhor representados pelo **Granito Central de Carajás** ( $1880 \pm 40$  Ma), **Granito Cigano** ( $1883 \pm 2$  Ma), **Granito Seringa** ( $1710 \pm 40$  Ma) e o **Granito Jamon** ( $1601 \pm 21$  Ma), segundo Dall'Agnol *et al.* (1986) e Macambira & Lancelot (1992).

Diques e corpos máficos (diabasio e gabro; Silva *et al.*, 1974) e ultramáficos (metasserpentitos e metapiroxenitos; Araújo & Maia, 1991) de idades consideradas do Proterozóicos, estão intrudidos nas unidades Arqueanas, e, por vezes, corpos graníticos proterozóicos (Gastal *et al.*, 1987; Leite & Dall'Agnol, 1994).

As rochas pertencentes à chamada Província Proterozóica (Costa *et al.*, 1993) são representadas pelo Grupo Uatumã (Silva *et al.*, 1974) fazendo parte de uma seqüência vulcano-sedimentar com idade mesoproterozóica, aflorante a W da Serra dos Carajás.

### 2.3 MODELOS TECTÔNICOS PARA A REGIÃO DE CARAJÁS

Com relação aos modelos tectono-estratigráfico, foram publicadas importantes propostas de cunho regional. Dentre elas podem-se destacar: (1) Costa *et al* (1995); (2) Pinheiro (1997) e (3) Veneziani *et al* (2004).

- Para Costa *et al* (1995) as rochas da região de Carajás teriam se formado pela atuação de três eventos termo-tectônicos ocorridos no Arqueano e Proterozóico. O mais antigo envolveria a propagação de zonas de cisalhamento tangenciais obliquas de direção E-W, mergulhando para sul, acompanhado de metamorfismo em fácies anfíbolito. O soerguimento de rochas granulíticas da crosta inferior, o retrabalhamento do embasamento antigo, supostamente granulítico, em gnaiss migmatizado, teria ocorrido durante este episódio. Os sistemas transcorrentes teriam se instalado após esse evento (Sistema Transcorrente de Carajás-STC e Sistema Transcorrente do Cinzento-CTCz) por movimentação transtensiva dextral, gerando diversas bacias *pull-apart* preenchidas por seqüências vulcânicas e sedimentares (p.ex. Grupo Grão-Pará). Em seguida haveria transpressão que resultou na inversão das bacias transcorrentes, acompanhada por metamorfismo em fácies anfíbolito e xisto verde ao longo das zonas de cisalhamento, e hidrotermalismo. O evento seria marcado por nova fase distensiva com componente de estiramento na direção NE-SW, gerando os segmentos extensionais do Proterozóico. O terceiro e último evento estaria relacionado à implantação do Cinturão Araguaia.

- Pinheiro (1997) propõe uma evolução marcada pela reativação dúctil a dúctil-dúctil controladas geométricamente pela presença da trama planar dúctil do embasamento arqueano. Esse modelo propõe as seguintes etapas:

**a)** O estágio inicial é marcado pela formação de uma trama milonítica penetrativa dúctil E-W de alta temperatura, sob pressão sinistral, que afetou as rochas do embasamento (Complexo Xingu, Complexo Pium, Suíte Plaquê e Grupo Igarapé Salobo), no intervalo de 3.0 a 2.8 Ga.

**b)** Posterior a deposição do Grupo Igarapé Pojuca, ocorreu transpressão sinistral entre 2.8 a 2.7 Ga. Caracterizada pela formação de zonas de cisalhamento sinistrais e dobramento da assembléia do embasamento (condições dúcteis e metamorfismo de temperatura média a baixa). Após a deformação, uma cinemática extensional possibilitou o desenvolvimento de extensas bacias intracratônicas e deposição de seqüências vulcano-sedimentares do Grupo

Grão Pará, em torno de 2.6 Ga, sendo posteriormente metamorfizadas e/ou hidrotermalizadas em grau muito baixo. A Formação Águas Claras é depositada logo em seguida.

- c) Sob transtensão destal, a Falha Carajás juntamente com os Sistemas Transcorrente do Cinzento e de Carajás desenvolveram-se entre 2.6 a 2.0-1.8 Ga. As seqüências vulcano-sedimentares foram preservadas ao longo de zonas de subsidência desenvolvidas pelas falhas transcorrentes E-W e NW-SE.
- d) A região sofreu uma inversão fraca de caráter transpressivo sinistral com deformação das seqüências vulcano-sedimentares por reativação de Falhas.
- e) Como ultimo episódio, ocorreu extensão ou transtensão entre 1.9-1.8 Ga, marcado pela intrusão de plutons graníticos e digues.

- Veneziani *et al* (2004) sugeriu para a região três fases transpressivas dúcteis a rúpteis, localmente transtensiva, ocorridas no Arqueano/Paleoproterozóico e posteriores reativações distensivas com picos no final do Proterozóico / início do Paleozóico, no Mesozóico e no Terciário.

No intervalo entre 2.8 e 1.88 Ga os eventos evolutivos estão registrados em três fases:

a) A primeira fase envolveria movimentação transcorrente sinistral, afetando, de forma dúctil, o embasamento, os granitóides da Suíte Plaqué, as coberturas metavulcânicas-sedimentares dos grupos Sapucaia, Igarapé Salobo e Pojuca. O desenvolvimento de estruturas transtensiva (do tipo *releasing beds*, *splay etc.*) propiciou o início do adelgaçamento que favoreceu a sedimentação, vulcanismo e granitogênese, hoje representado pelas unidades: Grupo Grão-Pará e Complexo Estrela, e as mais novas, meso a neoproterozóicas (p.ex. Formação Gorotire).

b) A segunda fase se caracterizaria por cisalhamento transcorrente destal-obliquo com natureza dúctil-rúptil-dúctil, não coaxial. Essa movimentação gerou uma estruturação regional que combinada com as direções orientadas em torno de WNW-ESE e com falhas trativas geraram feições romboédricas e terminações em *splays*, observadas na região da Serra dos Carajás;

c) A terceira fase seria marcada por movimentos transpressivos (localmente transtensivos), originando estruturas rúpteis a rúpteis-dúcteis. Essa cinemática envolveria todas as unidades geológicas desde as arqueanas (> 2.8 Ga) até as neoproterozóicas (p.ex. Grupo Buritirama).

Após a instalação da terceira fase haveria uma acomodação geral das linhas de fraquezas crustal, caracterizada pela implantação de rejeito (centimétrico) ao longo das falhas com transcorrencias destrais de direção E-W.

Do Eoproterozóico em diante, ocorreriam apenas movimentos gravitacionais propiciando a formação de bacias sedimentares como a de Serra do Paredão e intrusões de *sills* e diques básicos.

Essas propostas são divergentes, de um modo geral, no que diz respeito a: (1) implantação do Cinturão Itacaiúnas orientado segundo WNW-ESE; (2) Desenvolvimento de movimentação transcorrente regional (empurrões oblíquos) no arqueano de natureza dúctil que afetou as rochas infracrustais e parte da cobertura representada pelo SuperGrupo Itacaiúnas; (3) desenvolvimento de uma série de bacias a partir de um episódio de natureza distal (ao longo de WNW-ESE) também de idade arqueana; e (4) Movimentação distensiva (a partir do neoproterozóico) resultando na colocação de granitos anorogênicos e de intrusões básicas na forma de diques. Contudo as proposta de Pinheiro (1997) e Veneziani *et al* (2004) são as mais próximas por apresentarem uma evolução tectono-estratigráfica para a região em diferentes episódios. A proposta de Verneziane *et al* (2004) é baseada em dados morfoestruturais obtidos com a interpretação de sensores remotos, técnica mais recente e eficaz na identificação e na compreensão do arcabouço geotectônico regional.

## 2.4 ASPECTOS FISIOGRAFICOS

Num contexto geomorfológico regional a área de estudo está localizada na região centro norte da Serra dos Carajás-Pa. Essa região se expressa como um grande sigmóide de relevo positivo, possuindo 160 km em SW, no sentido E-W, e 60 km de largura, N-S (**Fig 01**). É caracterizada por um conjunto de cristas contíguas com um ligeiro desvio para W-NW, constituindo-se o maior relevo montanhoso na região, que se salienta acima do nível geral das colinas florestadas, entre os vales dos rios Xingu e Araguaia. O relevo montanhoso de serras e platôs apresenta altitudes variando de 150 a quase 600 metros. Estudos mostram que esse relevo corresponde aos restos de uma paleocordilheira arrasada, de idade Pré-Cambriana, enquanto que a idade de seu aplainamento é relativamente moderna, situando-se entre os fins do Mesozóico e a primeira parte do Terciário (Ab'Sáber, 1986). Para Maurity & Kotschoubey (1995), as seqüências vulcano-sedimentares da região de Carajás são capeadas por uma espessa cobertura laterítica, de idade Terciária. Durante o Terciário Superior e o Quaternário,

um lento soerguimento regional levou à dissecação do manto laterítico e a individualização dos vastos platôs observados na região.

A área da jazida está a uma altitude média de 550m, com relevo plano ondulado e diferenças locais na ordem de 50m (Anderson *et al.*, 1974).

O sistema hidrográfico da área relaciona-se a bacia do rio Itacaiúnas (**Fig 19**), que corta a borda ocidental da Serrania dos Carajás e desemboca na margem esquerda do rio Tocantins, em Marabá. O seu principal afluente é o rio Parauapebas, que corta a parte oriental da Serra dos Carajás. Outros afluentes importantes são os Igarapés Azul, Cinzento e Águas Claras.

A cobertura vegetal é caracterizada por Floresta Ombrófila Densa, mostrando marcante relacionamento com o relevo, que reflete variações na geologia (Paradella *et al.*, 1994). Segundo Silva *et al* (1986) existe uma vegetação baixa, tipo savana (“campos rupestres”) associada com as lateritas dos platôs e mostra um contraste marcante (“clareiras”) com a vegetação densa da floresta circundante (**Fig 20**).



**Figura 19** - Vista de cima Rio Itacaiúnas na região de Carajás.

O clima na região de Carajás é do tipo tropical, quente-úmido com épocas de precipitação excessiva durante alguns meses (Dezembro e Maio) e épocas de pouca ocorrência de precipitação (Junho a Setembro). As temperaturas variam de 19°C a 31°C e a precipitação anual é de 2000mm, sendo de apenas 70 mm a média para toda a estação seca.



**Figura 20** - Cava da Mina principal da Mina do Manganeés do Azul. Ao redor a vegetação densa e o conjunto de vales e platôs na porção mais a norte da figura.

## 2.5 LITOESTRATIGRAFIA E ASPECTOS GENÉTICOS DA MINA DO IGARAPÉ DO AZUL

A jazida de Manganeés do Igarapé Azul, localizada a 10 km ao sul do depósito de ferro Serra Norte (N4), Carajás PA, foi descoberta em Setembro de 1971 durante trabalhos de pesquisas geológicas complementares, desenvolvidas para os depósitos de minério de ferro, conhecidos desde 1967 (CVRD, 1986), tendo sido os estudos de avaliação de suas reservas concluídos em 1977 (Beisiegel *et al.*, 1973, Anderson *et al.*, 1974;;Bernadelli & Beisiegel, 1978; Bernadelli, 1982).

O depósito possui orientação E-W, ocorre numa área de aproximadamente 6x 1 km, associados às rochas sedimentares clásticas da Formação Águas Claras (Araújo & Maia,

1991; Nogueira *et al.*, 1995) cortadas por *sills* de metagabros com idade de 2,6 Ga (Dias *et al.*, 1996).

Na década de 1980 e início da década de 1990, as rochas sedimentares clásticas da Formação Águas Claras eram correlacionadas aquelas do membro Azul, uma sub-unidade da Formação Rio Fresco (Silva *et al.*, 1974; Anderson *et al.*, 1974; Bernardelli & Beisiegel, 1978; Valarelli *et al.*, 1978; Cunha *et al.*, 1981). Mais tarde Cunha *et al.* (1984) deu à Formação Rio Fresco à categoria de “Grupo” e as rochas do Membro Igarapé Azul passaram para a categoria de Formação. Macambira *et al.* (1990) consideraram como Formação Igarapé Boa Sorte o Membro Inferior da Formação Águas Claras e Formação Igarapé Azul o membro Superior dessa formação, ambos em discordância sobre as rochas do Grupo Gão Pará.

Araújo & Maia (1991) apontam uma evolução transtensional para a bacia onde as rochas clásticas sedimentares da Formação Águas Claras teriam sido depositadas. Estes autores sugerem o termo Formação Águas Claras, como uma unidade estratigraficamente acima do Grupo Grão Pará, atribuindo uma idade arqueana para essas rochas. Mais tarde Nogueira *et al.* (1995) descreveram formalmente esta unidade de acordo com os procedimentos estratigráficos.

Segundo Nogueira *et al.* (1995) a Formação Águas Claras apresenta uma sucessão estratigráfica de caráter progradante com depósitos de plataforma marinha sobrepostos por sedimentos influenciados por maré e estes por depósitos fluviais. As diferenças litológicas apresentadas por Nogueira (1995), permitiram sua subdivisão em **Membro Superior** e **Membro Inferior**.

O **Membro Inferior** é representado pelos depósitos de características faciológicas plataformais gerados sob influência de tempestade. São encontrados nesses depósitos siltitos, pelitos e arenitos finos com estruturas do tipo estratificação cruzada *hummocky*, laminação plano paralela, além de diversas estruturas produzidas por ondas.

O **Membro Superior** é subdividido em dois conjuntos litológicos: (1) Fácies litorânea (parte inferior) constituída por arenitos com estruturas tipo estratificação cruzada *swaley*, seqüência *tidal bundly*, estratificação cruzada plano paralela e tabular /côncava (relacionadas a tempestitos de *shoreface*, depósitos de baixios e de desembocadura de rio), arenitos com estratificação cruzada *swash* e estratificação cruzada côncava (associados a ritmitos de depósitos do tipo *foreshore*); (2) Fácies Fluvial (parte superior) composta por conglomerados, microconglomerado e arenitos grossos com estratificação cruzada tabular e acanalada (relacionados a depósitos de barra e *megaripples* de planície aluvional *braided*),

arenitos finos com estratificação plano paralela subordinados e relacionados a depósitos de inundação.

O modelo deposicional proposto por Nogueira (1995) para a Formação Águas Claras esta relacionado a três estágios (**Fig 21**):

O primeiro estagio diz respeito à deposição de sedimentos finos em um mar relativamente raso com influxos episódicos de areias, com indícios de tempestades. Esse estágio caracteriza os depósitos do Membro Inferior da Formação Águas Claras (**Fig 21a**). O próximo estágio se caracteriza pela progradação de uma planície aluvionar sobre o litoral, com planície influenciada por maré (**Fig 21b**). O último estágio de deposição esta relacionado ao aumento da progradação da planície aluvionar e instalação definitiva de um sistema fluvial *braid* (**Fig 21c**). Esses dois últimos estágios levaram a deposição de sedimentos do Membro Superior da Formação Águas Claras.

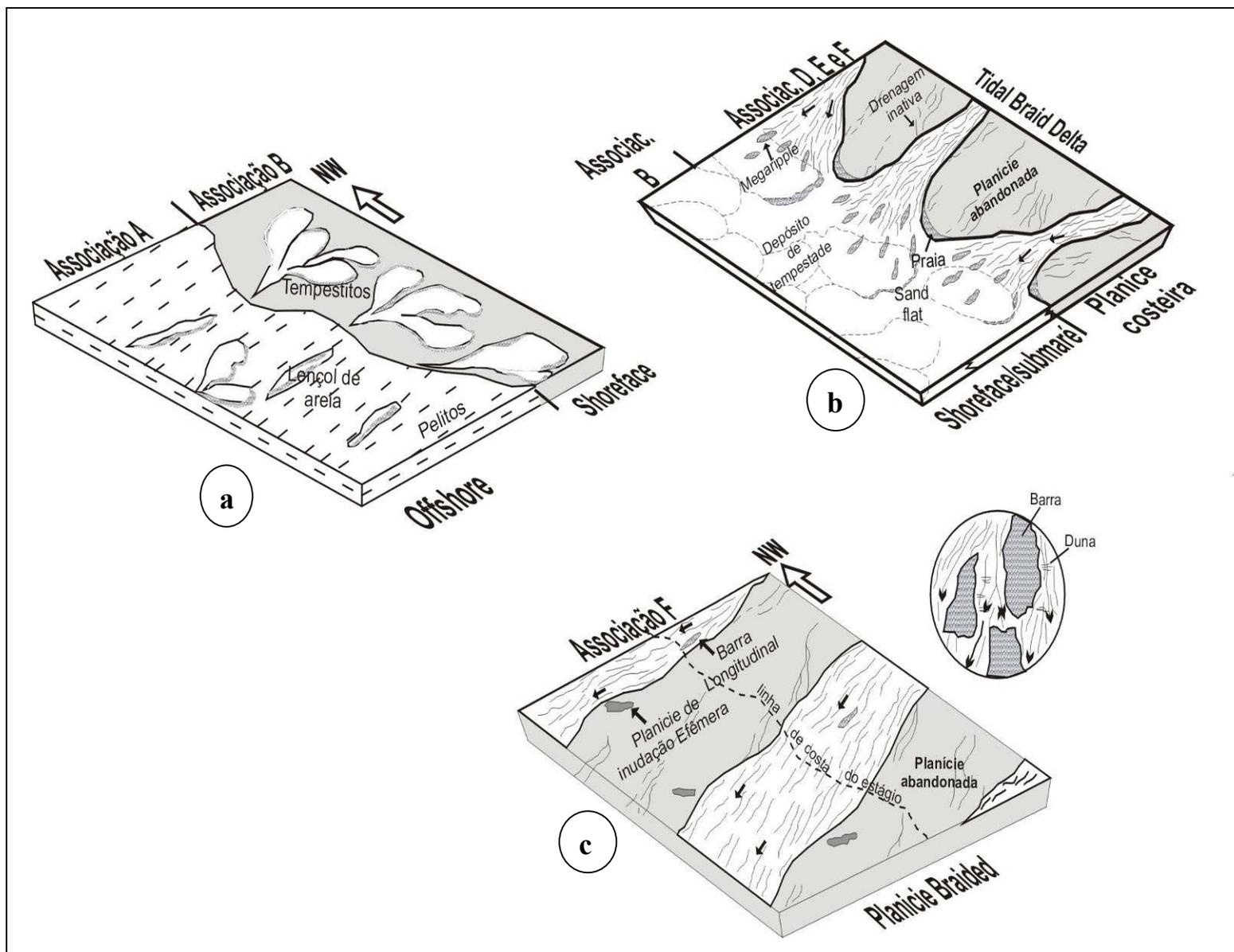


Figura 21 - Modelo Depositional para a Formação Águas Claras. Estágio I (a), Estágio II (b), Estágio III (c) segundo Nogueira (1995).

### 2.5.1 Geologia dos Depósitos da Mina de Manganês do Azul

A mineralização primária de manganês (Bernadelli & Beisiegel, 1978; Valarelli *et al.*, 1978) esta associada às rochas do Membro Inferior da Formação Águas Claras. Essa seqüência pelítica se subdivide em duas unidades manganésifera, constituídas essencialmente de rodocrosita, quartzo, filossilicatos, feldspatos, pirita e matéria carbonosa, (Bernadelli & Beisiegel, 1978).

A unidade denominada de Manganésifera Superior é constituída por marga manganésifera rítmica, exibindo alternância de níveis químicos carbonáticos com níveis clástico-silisico-aluminosos.

A Unidade Manganésifera Inferior é representada por rocha carbonática manganésifera, constituída essencialmente por rodocrosita, quartzo, material carbonoso e pirita.

A mineralização secundária, resultantes de processos lateríticos, desenvolveu-se a partir das alterações e enriquecimento supergênico da Unidade Manganésifera Inferior. É considerado o essencial do minério explorado, se subdividindo em duas categorias (Bernadelli & Beisiegel, 1978; Valarelli *et al.*, 1978):

**Depósitos Superficiais** representados por: (1) pisolitos: material argiloso superficial, constituído por um núcleo manganésífero de criptomelana, birnessita e litioforita recoberto por uma carapaça laterítica constituída de gibsita, caolinita e goethita; (2) blocos e plaquetas: que juntos constituem os mais ricos minérios superficiais do Azul; e (3) brechas manganésíferas: formadas em antigos depósitos eluvio-coluvionais a partir de material manganésíferos superficial.

**Depósitos Subsuperficiais** são classificados em: (1) pelitos manganésíferos (20-30%Mn): pacote de rochas alteradas com estratificação rítmica original preservada; (2) material manganésífero granulado: carapaça de espessura média de 15 m com teores de Mn acima de 43%, resultante da alteração e enriquecimento da unidade manganésifera inferior, a mais rica em rodocrosita; (3) material manganésífero maciço e (4) siltitos impregnados de manganês e siltitos enriquecidos em manganês.

Com relação à gênese do Depósito de Manganês do Igarapé Azul, este depósito se encaixa ao modelo deposicional pertencente à categoria dos depósitos marinhos singenéticos, nas margens de bacias anóxicas (Dardenne & Schobbenhaus 2001). Nesse modelo o manganês precipita na forma de óxidos e/ou carbonatos na passagem de um ambiente profundo anóxico para um ambiente de águas rasas oxigenadas numa bacia estratificada

(Force & Cannon, 1986; Force & Maynard, 1991). A mineralização presente é bem variada representada por óxidos de manganês comuns (p.ex. nsurtita, psilomelana, criptomelana e pirolusita) na forma pulverulenta ou como oóides; e carbonatos de manganês (p.ex. rodocrosita e manganita) como produto de precipitação da água do mar ou substituição na forma de microesferas.

No Depósito de Manganês do Igarapé Azul, o protominério é constituído de rodocrosita (Silva, 1988) e seu desenvolvimento estaria relacionado a zona de talude, entre a plataforma e a bacia profunda, com a rodocrosita como um produto diagenético precoce formando a partir da matéria orgânica. Porém a transição da plataforma redutora para a plataforma oxidante, não foi identificada, contudo a existência de um depósito oxidado de manganês paralelo a borda da bacia, a leste com orientação NW-SE, é semelhante à posição ocupada pelo depósito do Sereno, na proximidade de Serra Pelada, onde diversos corpos de minério foram identificados (Dardenne & Schobbenhaus 2001).

### 2.5.2 Geologia Estrutural da Mina do Igarapé do Azul

A organização estrutural das rochas da Formação Águas Claras que afloram na Mina do Igarapé Azul esta relacionada a uma parte da história da Falha Carajás. Essa feição maior, nesta região, apresenta um carácter predominantemente rúptil-dúctil e decorre de movimentação oblíqua com forte componente direcional sinistral (Nogueira *et al.*, 1994).

De acordo com Nogueira *et al (op. cit.)* as feições estruturais presentes nas rochas da Formação Águas Claras são representadas por: (1) **zonas de cisalhamento sub-verticais**: com orientação geral NW-SE, às vezes NE-SW; (2) **dobras**: com padrão holomórfico, classificadas como normais, isópacas, fechadas e assimétricas com vergências suaves para SW e planos axiais mergulhando até 75°/ENE; e (3) **cavalgamentos**: em geral, oblíquos, subparalelos à superfície axial das dobras, com projeção nos planos de acamamento da fácies pelítica. São observadas dobras de arrastos relacionadas aos cavalgamentos, e a inclinação dos planos, aponta um transporte predominante para SW (Pinheiro, 1997).

A principal estrutura deformada é o acamamento, definido pelo contato das camadas da Formação Águas Claras. A cinemática sinistral tem sido apontada como principal responsável pela organização das rochas desse segmento tectônico (Nogueira *et al.*, 1994).

Para as estruturas presente nas rochas que ocorrem na Mina de Manganês do Azul, Pinheiro (1997) identifica dois conjuntos principais: (a) **dobras**: separadas em dois grupos de acordo com o tipo e tamanho. O primeiro grupo é representado pelas dobras centimétricas do

tipo *kink e chevron*. Essas dobras apresentam planos axiais SW-NE com mergulho moderado (20°-45°) para NW. O segundo grupo é representado por dobras métrica do tipo fechada, assimétrica com planos axiais E-W com mergulhos sub-verticais ou NW-SE com mergulho moderado (30°-50°) para NE; e (b) **falhas e fraturas**: as fraturas ocorrem segundo duas orientações principais, ambas com mergulhos altos (>80°), N-S/NNE-SSW e E-W. As falhas são representadas por duas categorias falhas sinistrais reversas com direção E-W, geralmente associadas a dobras; e as falhas oblíquas normais com direção E-W, menos comuns, aparecendo geralmente como feições isoladas.

As estruturas tectônicas atuais na Mina do Igarapé do Azul podem ser relacionadas a um evento de transpressão sinistral regional identificado a partir de um *set* importante de fraturas com direção N-S correspondente a estruturas extencionais do Mesoproterozóico, (Pinheiro, 1997). As falhas oblíquas de direção E-W na mina foram reativadas durante esse evento transpressão sinistral na forma de falhas normais.

Segundo Pinheiro (1997) o modelo cinemático envolvendo Transpressão com partição de *strain* é usado para explicar as diversas estruturas impressas nas rochas da Mina do Igarapé Azul.

# Capítulo 03

---

## 3 DADOS DE SENSORES REMOTOS

### 3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da interpretação visual de imagem de satélite (**Fig 22**) da região em que a área de estudo está inserida, que permitiram na confecção dos mapas apresentados nas figuras **23** e **24**.

O estudo de sensores foi feito com base nas imagens LANDSAT TM+7-RGB 435, estudadas na escala 1:10000 (Conforme descrito Cap. 01 - **Metodologia**). A imagem de satélite corresponde à região centro norte de Carajás, destacando a “Estrutura Sigmoidal de Carajás”. A partir dessa imagem delimitou-se uma área menor que permitisse uma cobertura mais restrita da região onde a Mina do Igarapé Azul esta inserida (**Fig 22**).

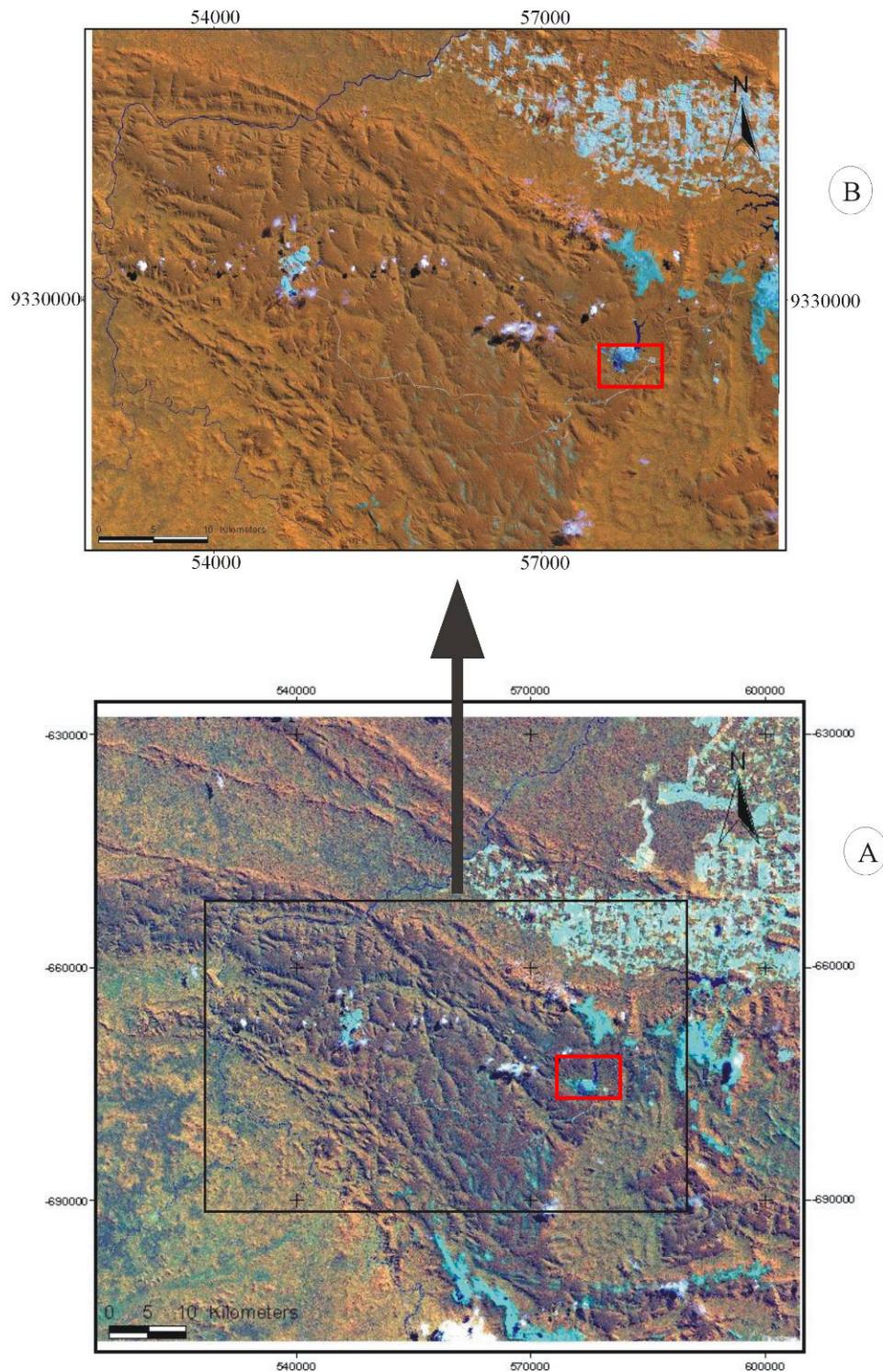
Priorizou-se a retirada dos seguintes elementos de fotoleitura: (1) lineamentos fotoestruturais incluindo elementos de relevo (traço de quebras positivas e negativas, linhas de cristas etc.); (2) Contorno do Granito Central de Carajás e (3) elementos geográficos de drenagem, localização das minas, etc.

### 3.2 DADOS RETIRADOS DA IMAGEM DE SATÉLITE

De uma maneira geral, a região é marcada pelo forte lineamento de relevo da Falha Carajás que cruza a região com direção NW-SE. Destacam-se também, na imagem que compõem o mapa da **figura 23** a seguir descrito, cristas de relevo e lineamentos de drenagem, bem como o contorno marcante dos platôs de rochas ferríferas, região NE do mapa e o Granito Central, região SE do mapa.

A porção NW os lineamentos mostram uma alta densidade de linhas de cristas, dispostas retilíneas e/ou sinuosas, com comprimentos 1 a 4 km com direção predominante WNW-ESSE. Destaca-se como feição particular linhas de cristas em forma de arco com curvatura voltada para NE.

A porção SW é caracterizada por uma moderada densidade de linhas de cristas, sinuosas com direção NW-SE e comprimentos de 1 a 2 Km. Observa-se também cristas desenhando arcos com curvaturas voltada para NE.



**Figura 22:** (A) Imagem de satélite LANDSAT 7 TM+ composição colorida (RGB-435) da região da “Estrutura Sigmoidal de Carajás” (Pinheiro, 1997). (B) Área recortada e tratada pelos métodos aplicado em Processamento Digital de Imagem (Ver Cap. I- Metodologia). O quadrado vermelho destaca a área da Mina do Igarapé Azul.

A porção SE apresenta com uma baixa densidade de linhas de cristas. As que podem ser observadas nessa região são cristas retilíneas com comprimento de 0,5 km com direção preferencial de NW-SE.

Já para a porção NE os lineamentos mostram uma densidade moderada de linhas de cristas. Essas mostram traços sinuosos com comprimento de 1 a 4 km com direção preferencial NW-SE. Essas linhas desenham uma feição de arco ora voltado para SW ora para NE.

Para efeito de melhor compreensão, os principais lineamentos de relevo e de drenagem, foram divididos em quatro conjuntos descritos a seguir (**Fig 24**):

- **Conjunto de lineamentos I (Fig 24; cor preto)**

São traços descontínuos que se mostram como feixes de segmentos anastomóticos, e/ou retilíneos de comprimento variando de 1 a 16 km, com direções preferenciais NW-SE e WNW-ESE. São os lineamentos mais expressivos na região, ocupando a área NW e SE do mapa. Secundariamente observam-se traços retilíneos e ou curvos com comprimento variando de 1,2 a 3km também com direções NW-SE com ampla distribuição na área ocorrendo com maior frequência na área sudoeste e com menor frequência na área norte no mapa.

- **Conjunto de lineamentos II (Fig 24; cor verde)**

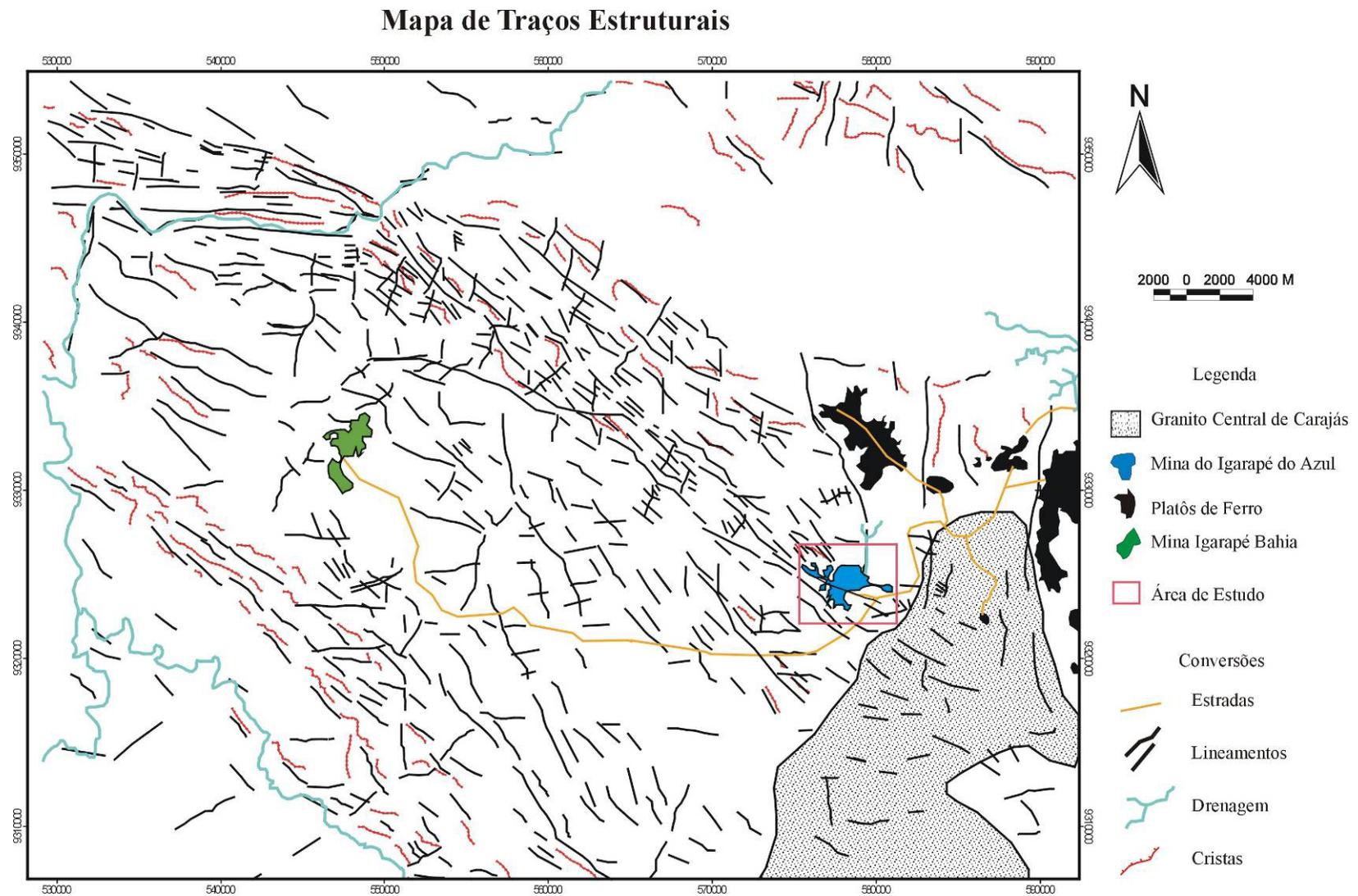
Estão representados por traços retilíneos e/ou curvos, com comprimento variando de 1,2 km a 4 km com direção N-S. Sua distribuição pode ser considerada homogênea em toda a área, e seus segmentos cortam os platôs das rochas de ferríferas e Mina do Igarapé Azul. Interrompem os demais lineamentos da área.

- **Conjunto de lineamentos III (Fig 24; cor vermelho claro)**

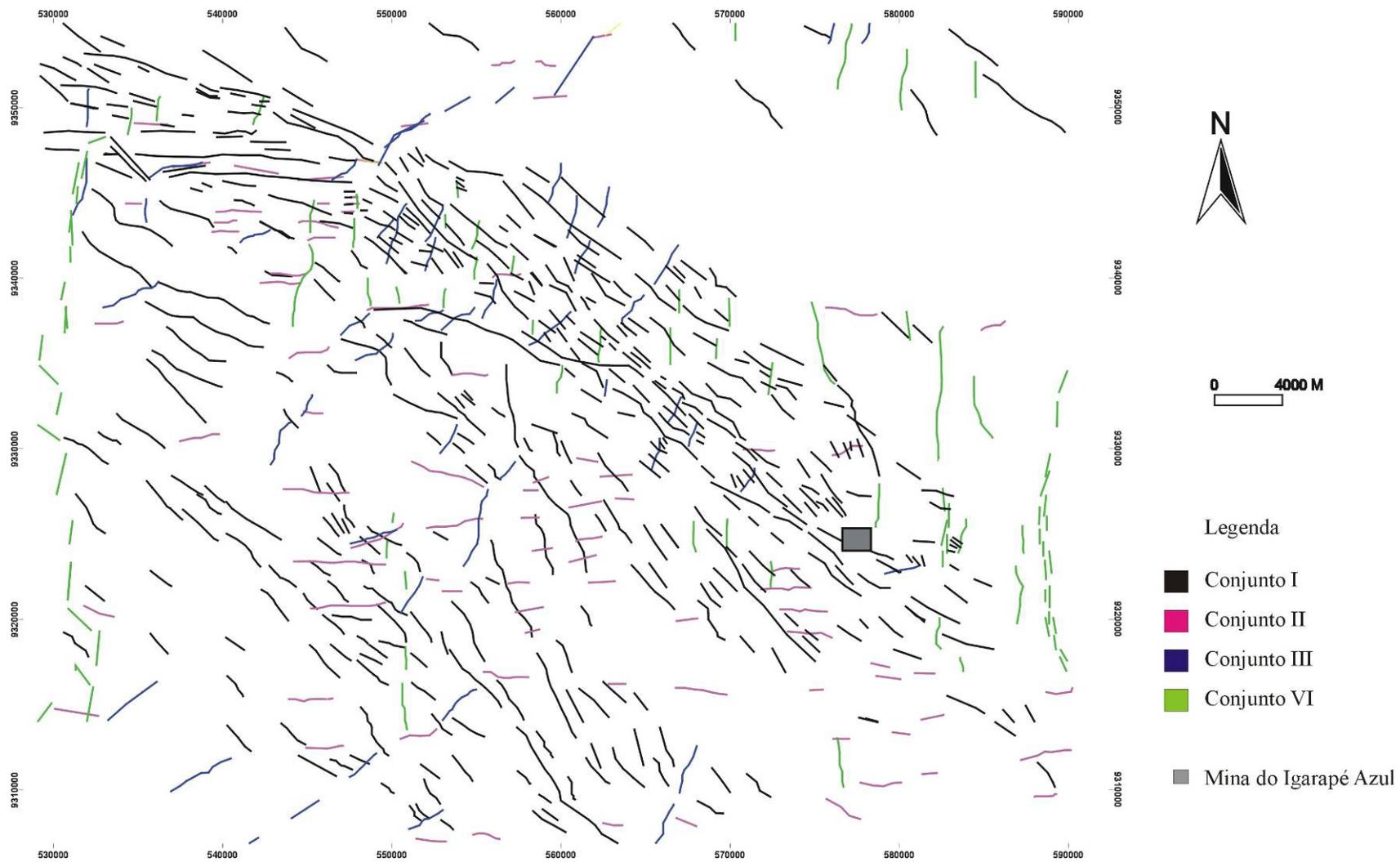
Aparece como traços curtos e retilíneos de direção E-W. Esses traços possuem comprimentos variando de 1,2 a 3 km, ocorrendo com frequência na porção N da área, cortando a maioria dos platôs.

- **Conjunto de lineamentos IV (Fig 24; cor azul escuro)**

São traços retilíneos relacionados aos segmentos de direção SW-NE com comprimento variando de 2 a 8 km. Sua concentração é considerada baixa, sendo maior na porção SW do mapa e menor na porção NE.



**Figura 23:** Mapa de traços estruturais observados a partir da área recortada da imagem LANDSAT 7 TM+ da região centro norte de Carajás (ver Fig 22).



**Figura 24** - Mapa com os principais lineamentos (lineações de relevo e de drenagem) divididos segundo quatro conjuntos sugeridos para a região centro norte de Carajás.

### 3.3 DISCUSSÃO SOBRE OS DADOS DE SENSORES REMOTOS

O estudo dos mapas apresentados nas figuras 23 e 24 mostra que a porção centro norte da região de Carajás expõem um importante conjunto de lineamentos com direção WNW-ESSE, que no tópico anterior são descritos como **conjunto de lineamentos I**. São considerados os mais expressivos em toda área dos mapas.

Os demais lineamentos finos e curtos passam por essa região e se interceptam entre si com direções de E-W e NE-SW. São identificados nos **conjunto de lineamentos III e IV** respectivamente.

Os platôs da minas de ferro chamam atenção pelas formas que se apresentam em mapa, provavelmente influenciadas pela geometria de suas estruturas (Domingos, 2004).

As possíveis relações temporais que podem ser feitas a partir dos traços aqui interpretados, mesmo que não plenamente claros devido suas relações relativamente complexas, são:

- Os traços dos **Conjuntos de lineamentos I e II** podem ser interpretados como as feições mais antigas impressas nas rochas da região de Carajás associada a dois importantes eventos ocorridos na região. O **conjunto de lineamentos II** com direção E-W podem estar relacionados a estruturação das rochas do embasamento da região com direção E-W imposta pela implantação do Cinturão Itacaiúnas no arqueano (Pinheiro & Holdsworth, 1997). O **conjunto de lineamento I** com direção WNW-ESSE estaria associado a nucleação da Falha Carajás relacionada a um evento de transensão dextral ocorrido entre 2.6 Ga a 1.8 Ga (Pinheiro, 1997 e Lima, 2002).

- O **Conjunto de lineamento III** com direção SW-NE por sua vez pode ser correlacionável a um evento extensional ocorrido no Mesoproterozóico. Esse evento gerou falhas nas direções NE-SW e NW-SE que se instalaram nas rochas do embasamento e nas supracrustais, e a colocação de diversos corpos graníticos anorogênicos e diques (Costa *et al.*, 1995; Dall’Agnol *et al.*, 1996), não se descartando a possibilidade do mesmo estar associado a instalação do Cinturão Araguaia (Domingos, 2004).

- Com relação ao **Conjunto de lineamento IV** com direção N-S vale ressaltar que a região esteve particularmente sob tensão durante o Mesozóico, com o quebraimento do Gondwana, e instalação de vários *grabens* na borda leste do Cráton Amazônico, com direção N-S. Portanto esse conjunto de lineamentos pode ter sido gerado durante esse episódio.

Costa *et al* (1994) ressalta que o Cráton Amazônico foi afetado por pelo menos dois eventos tectônicos no Terciário (Mioceno-Plioceno) e Quaternário, onde ocorreram reativações extensionais dos pretéritos lineamentos E-W. Além do **Conjunto de Lineamento**

**II**, outros conjuntos existentes na região também podem ter sido reativados durante esses eventos neotectônicos.

# Capítulo 04

---

## 4 DADOS DE CAMPO DO MAPEAMENTO GEOLÓGICO

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos a partir do trabalho de campo realizado na área da Mina do Manganês do Azul. Esses dados foram coletados durante quatro campanhas de campo com duração de 10 a 15 dias (Conforme descrito **Cap. 01 - Metodologia**).

A análise das seções geológicas feitas ao longo de afloramentos nas frentes de lavra mostra que as rochas predominantes são siltitos intercalados com argilitos, em contato com rochas pelíticas manganesíferas e as camadas de minério (bióxido de Mn). Essas rochas apresentam como principais estruturas primárias estratificação cruzada do tipo *hummocky* e laminação plano-paralela, destacando-se o acamamento variando de centimétrico a métricos (em média 30 a 50 cm).

### 4.1 DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS ESTRUTURAS TECTÔNICAS

Três frentes de lavra a céu aberto estão atualmente em andamento na área: (1) Mina Principal (**Mina 1**), (2) **Mina 2** e (3) **Mina 3** numa extensão de aproximadamente 6 km (**ANEXO 01**). Hoje 40 % da área da mina esta encoberta por ganga não permitindo a exposição de rochas deformadas. Desse modo a quantidade de seções e a localização das mesmas, foram definidas de maneira que fossem representativas das principais feições estruturais observadas nas rochas aflorantes na região da mina.

As **Minas 01 e 02** são as que apresentam maior exposição de rochas deformadas, motivo pelo qual a maioria das seções nelas se localiza. A seguir serão descritas cada umas delas na ordem: **Mina 01**, **Mina 02** e **Mina 03**.

#### 4.1.1 Mina 01

A Mina 01 esta localizada na parte central da área, paralela ao comprimento maior do corpo mineralizado (E-W) com aproximadamente 4 km de extensão. O atual avanço da frente de lavra está entre os níveis 548m a 468m. Nessa mina as seções se distribuem nas áreas sul,

nordeste e sudeste da cava (ver **ANEXO 01**) e as principais feições observadas em cada uma delas serão descritas a seguir:

- **Seção 01**

Seção localizada na região SE da **Mina 01 (ANEXO 01 – S 01)**, no banco de nível 564m. Possui extensão de 400m com orientação SW-NE (**Fig 25**). Nela identificaram-se as seguintes feições estruturais:

Dobras:

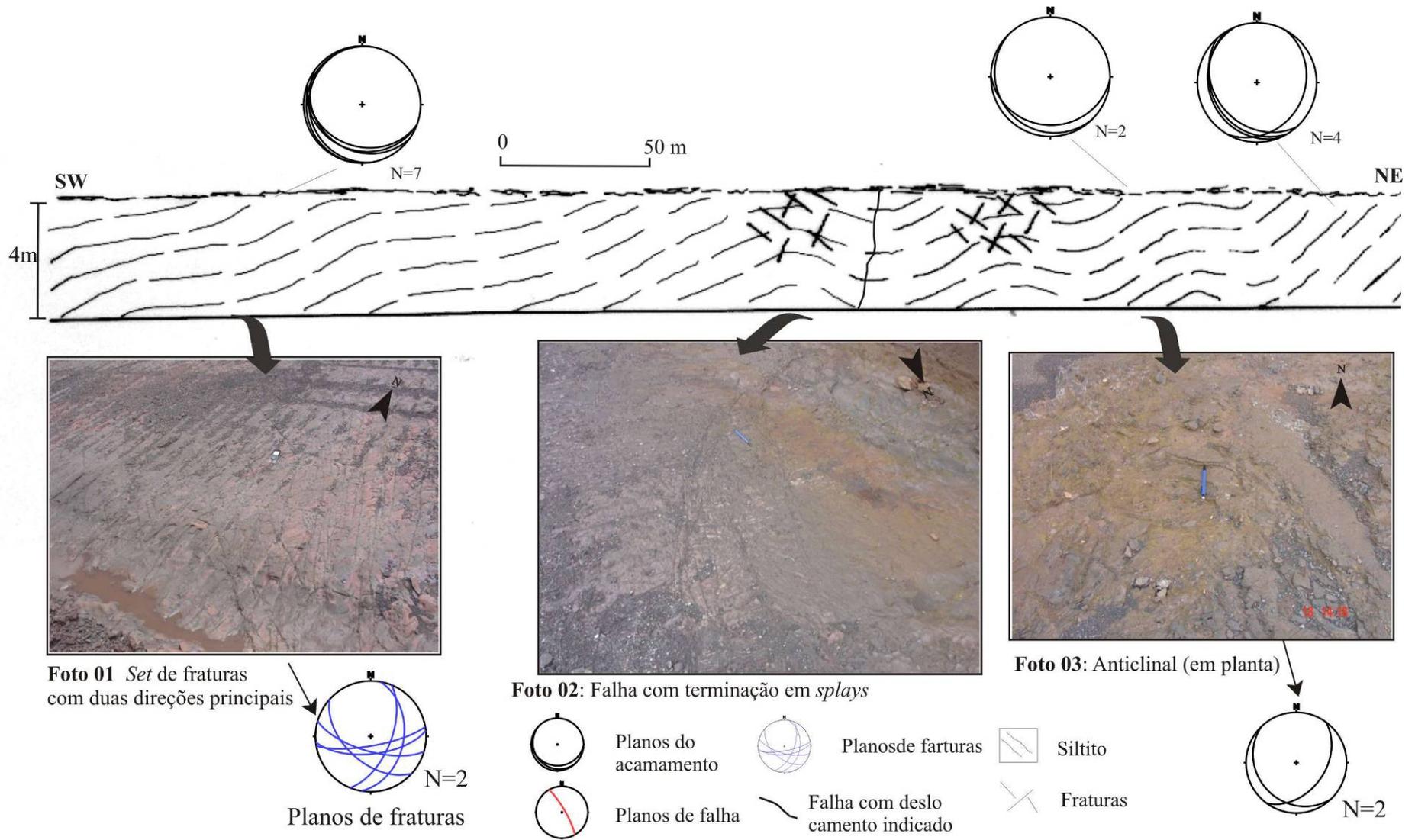
As dobras ao longo de toda a seção são métricas, desenham antifforme e sinformes assimétricos suáveis (**Fig 25**). Os planos de acamamento coletados e representados em estereogramas mostram ângulos de mergulhos baixos ( $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ ) para SW, SE e E.

Falhas

Foi observada uma única falha ao longo de toda a seção na sua porção NW. É caracterizada pelo traço sinuoso da estrutura com atitude de  $80^{\circ}/60^{\circ}$  Az e aproximadamente 3m de extensão aflorante. Em planta possui terminações na forma de *splays* sinuosos na ordem de 1m de extensão aflorante (**Foto 02**). O movimento dessa falha é de difícil reconhecimento pela falta de indicadores de movimentação.

Fraturas

As fraturas que ocorrem ao longo de toda a seção são observadas geralmente nos ápices das dobras desenhadas pelo acamamento ou em planta. As fraturas de direção NW-SE são do tipo compressivas, geram traços sinuosos de poucos metros (**Foto 01**). As fraturas de direção NNW-SSE são fraturas distensivas com traços sinuosos e/ou retos com poucos metros de extensão aflorante. As fraturas de direção NW-SE geralmente aparecem cortando as fraturas de direção NNW-SSE.



**Figura 25: Seção 01** (banco de nível 564m localizada na Mina 01 vide ANEXO 01). O acamamento desenha dobras assimétricas suaves (ver estereogramas individuais na seção) cortados por fraturas com direções N-S e NE-SW (Foto 01) e falha NW-SE com terminações em *splays* (Foto 02) Dobras individuais também são localizadas na seção, na forma de um anticlinal com eixo de ângulo baixo para SW (Foto 03).

## Seção 02

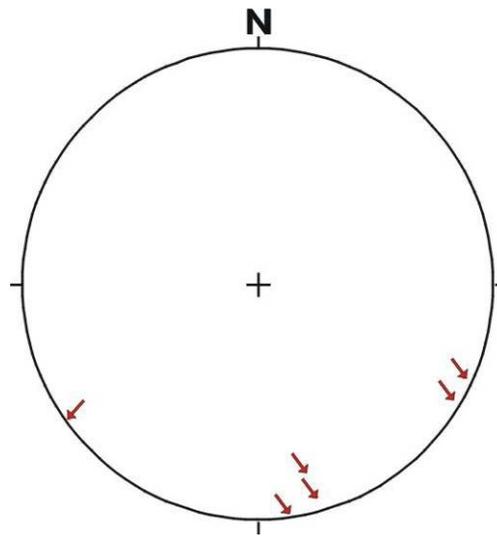
Esta seção está localizada na porção leste da cava da **Mina 01** nos níveis 508 e 516m (**ANEXO 01 -S 02**). Possui extensão de cerca de 50m, com direção NE-SW dividida em seção e planta (**Fig 29**). Para um melhor detalhamento das feições observadas em planta esta foi dividida em três setores sendo que a descrição aqui apresentada é uma integração das feições estruturais observadas nesses setores, juntamente com as feições observadas em seção.

### Dobras:

Identificaram-se dois tipos de dobras:

(1) Dobras suaves desenhadas pelo pacote de siltito com padrão assimétrico, formando **sinformes** e **antiformes** abertos, decamétricos a métricos. Os 42 pólos de acamamento se distribuem do centro para as bordas do estereograma indicando acamamentos com mergulhos variando de 20° a 50° (**Fig 29 A**). No diagrama de pólos (**Fig 29 B**) apresentando uma guirlanda com atitude de 73°/274° Az e eixo  $\pi$  de 17°/95° Az.

(2) Dobras observadas na seção em associação com falhas, classificadas como dobras de arrasto (**drags folds**), centimétricas a métricas. Esse tipo de dobras é comum ao setor 1e 2 (**Fig 26** em planta). Os eixos observados variam de NW-SE a SW-NE com ângulos baixos de (7° a 20°) caindo ora para SW ora para SE (**Fig 27**).



N=6

**Figura 26** - Estereograma representante dos eixos das dobras de arrasto com ângulos baixo caindo para os quadrantes SE e SW.

#### Falhas:

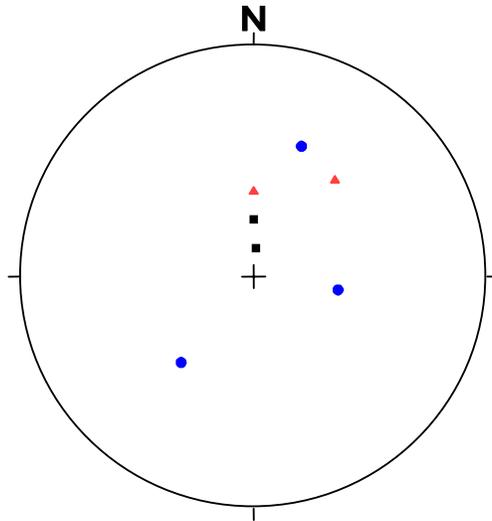
As **falhas** são comuns em toda a seção e são descritas a seguir separadas em três conjuntos

O **conjunto I** é representado pelas duas falhas mais expressivas, identificadas com traços em vermelho na seção 02. Essas feições possuem direção E-W e ângulo de mergulho baixo ( $10^\circ$  a  $20^\circ$ ) para sul (**Fig 27**). Cortam provavelmente toda a seqüência de rocha aparecendo com traços sinuosos em toda a sua extensão aflorante, formando *flats* e rampas com terminações na forma de *splays* retos e sinuosos (**Fig 29**). São falhas normais com rejeitos na ordem de poucos metros no plano principal (**Foto 05**) e de poucos centímetros nos *splays*.

O **conjunto II** caracteriza falhas normais na região NE da seção. São falhas com traços retos na ordem de 3 a 5m de extensão aflorante nas direções E-W e WNW-ESE, com ângulos de mergulho médio de  $50^\circ$  a  $30^\circ$  ora para S ora para SE (**Fig 27**).

As **falhas do conjunto III** estão localizadas no setor 02 (**Fig 29** em planta). São falhas com movimento transcorrente dextral e sinistral com dobras de arrasto centimétricas associadas. Essas falhas apresentam traços retos na ordem de 0.5 a 1m de extensão aflorante na direção NW-

SE, NE-SW e E-W com ângulo de mergulho moderados na faixa de 40° ora para NE, NW ou S (Fig 27).

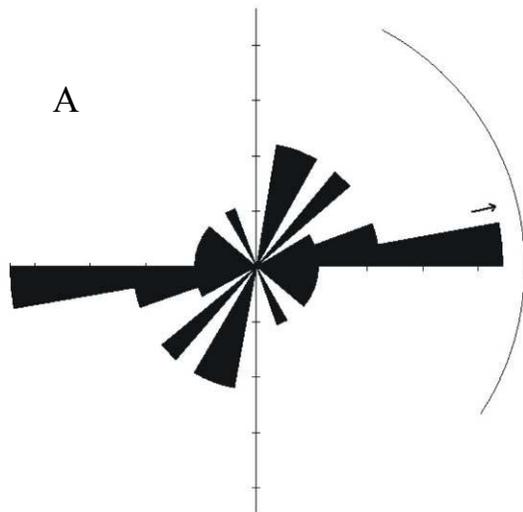


**Figura 27** - Estereogramas de pólos representativo do acamamento dos conjuntos de falhas observados na seção 02. As pirâmides representam o conjunto I, os quadrados em preto representam o conjunto II e os pontos em azul o conjunto III.

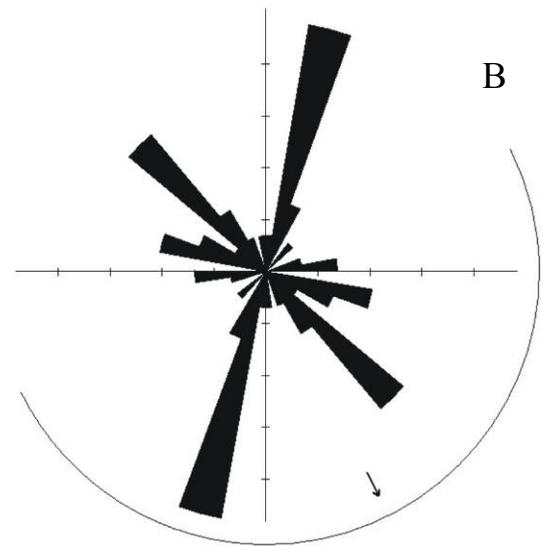
### Fraturas

As fraturas cortam todas as rochas expostas na seção, sendo mais freqüentes nos setores 2 e 3 (Fig 29 em planta) e pouco expressivas em seção. São fraturas de traços retilíneos e/ou sinuosos com direções E-W, SW-NE e N-S e ângulos de mergulhos entre 20° a 70° caindo ora para N ora para SE (Fig 28).

As fraturas com traços mais sinuosos e com direção N-S e NE-SW e ângulo de mergulho baixo (20° a 35°) estão geralmente associadas a terminações de falhas normais anteriormente descritas, constituindo, portanto, os seus *splays* (Fig 28). O outro grupo que se pode individualizar é de direção E-W com ângulos de mergulhos mais altos (50° a 65°) e traços mais retilíneos, e se distribuem de maneira mais penetrativa em toda a seção.



N= 22  
 Máxima = 22,2% [4 dados]  
 Direção média = 076-256



N=22 N=18  
 Maxima = 24,1% [7 dados]  
 Direção média= 153-333

**Figura 28** - Diagrama de roseta mostrando as principais orientações dos conjuntos de fraturas observados na seção 01. A roseta (A) representa as fraturas E-W, SW-NE e N-S. A roseta em azul representa as fraturas NE-SW, NW-SE e E-W.

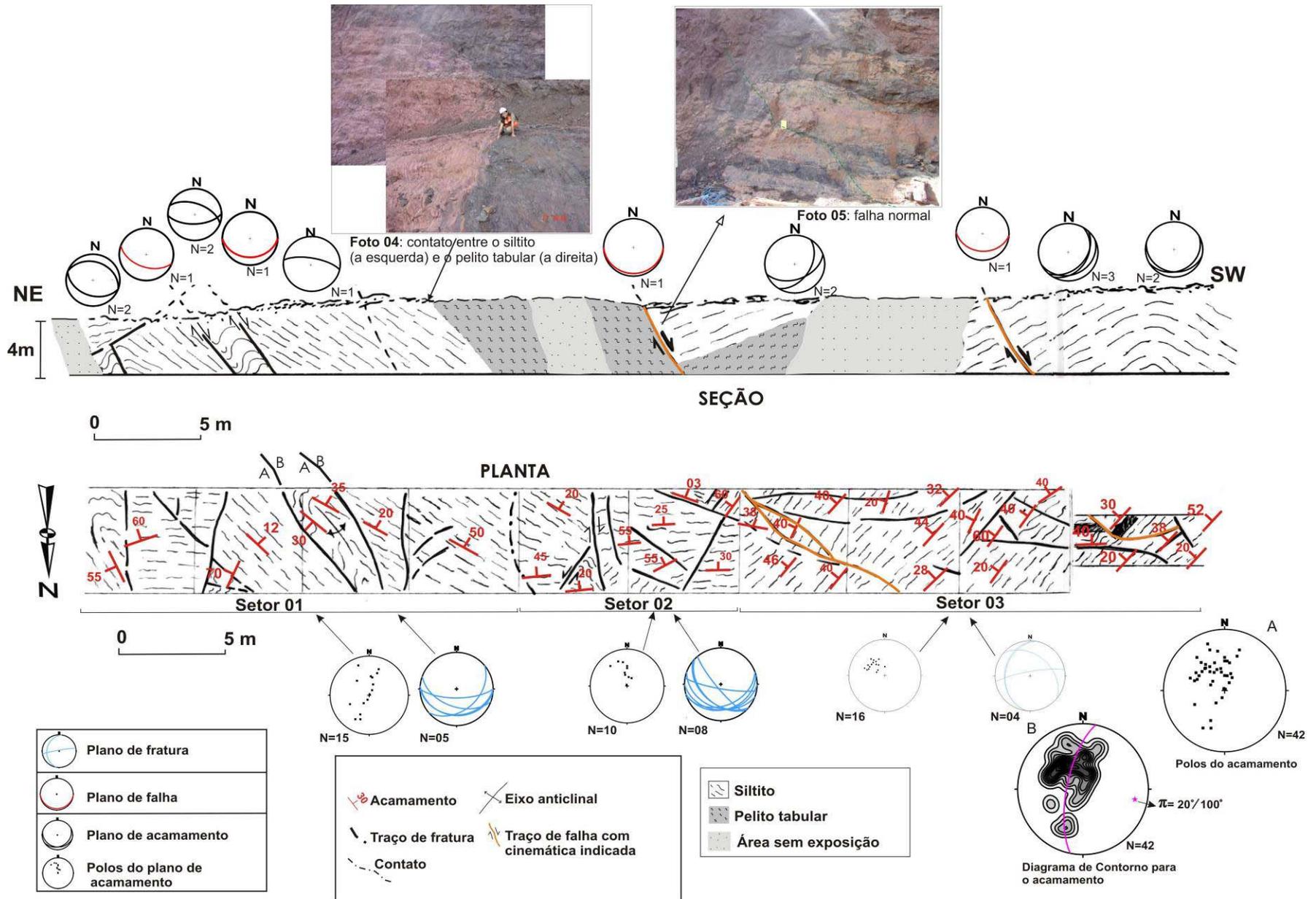


Figura 29 - Seção e Planta 02: (banco de nível 516m na Mina 01 Vide Mapa Anexo 01). A planta está dividida em três setores, cada um representante do comportamento do acamamento em escala de detalhe. Os estereogramas individuais representam as atitudes dos planos do acamamento, das falhas e de fraturas. As fotos mostram detalhes vistos em seção, do contato entre a camada de pelito e a camada de siltito (Foto 04); traço de falha observado na parede da bancada, marcado pelo tracejado em verde (Foto 05).

### ▪ Seção 03:

Esta seção localiza-se na região leste da **Mina 01** no nível de 492m (**ANEXO 01-S 03**). Possui extensão de 7m com orientação ENE-WSW (**Fig 30**). Nela são identificadas as seguintes feições estruturais:

#### Dobras:

As dobras métricas desenhadas pelo acamamento do siltito. São dobras assimétricas formando sinformes e antiformes suaves e abertos. As medidas de acamamento resultam num estereograma com 22 pólos (**Fig 30A**) que se distribuem do centro para a borda, indicando ângulos de mergulhos baixos a altos (10° a 60°). O diagrama de concentração resultante desses pólos gera uma guirlanda de atitude 43°/153° Az e eixo  $\pi$  com atitude 47°/336° Az (**Fig 30B**).

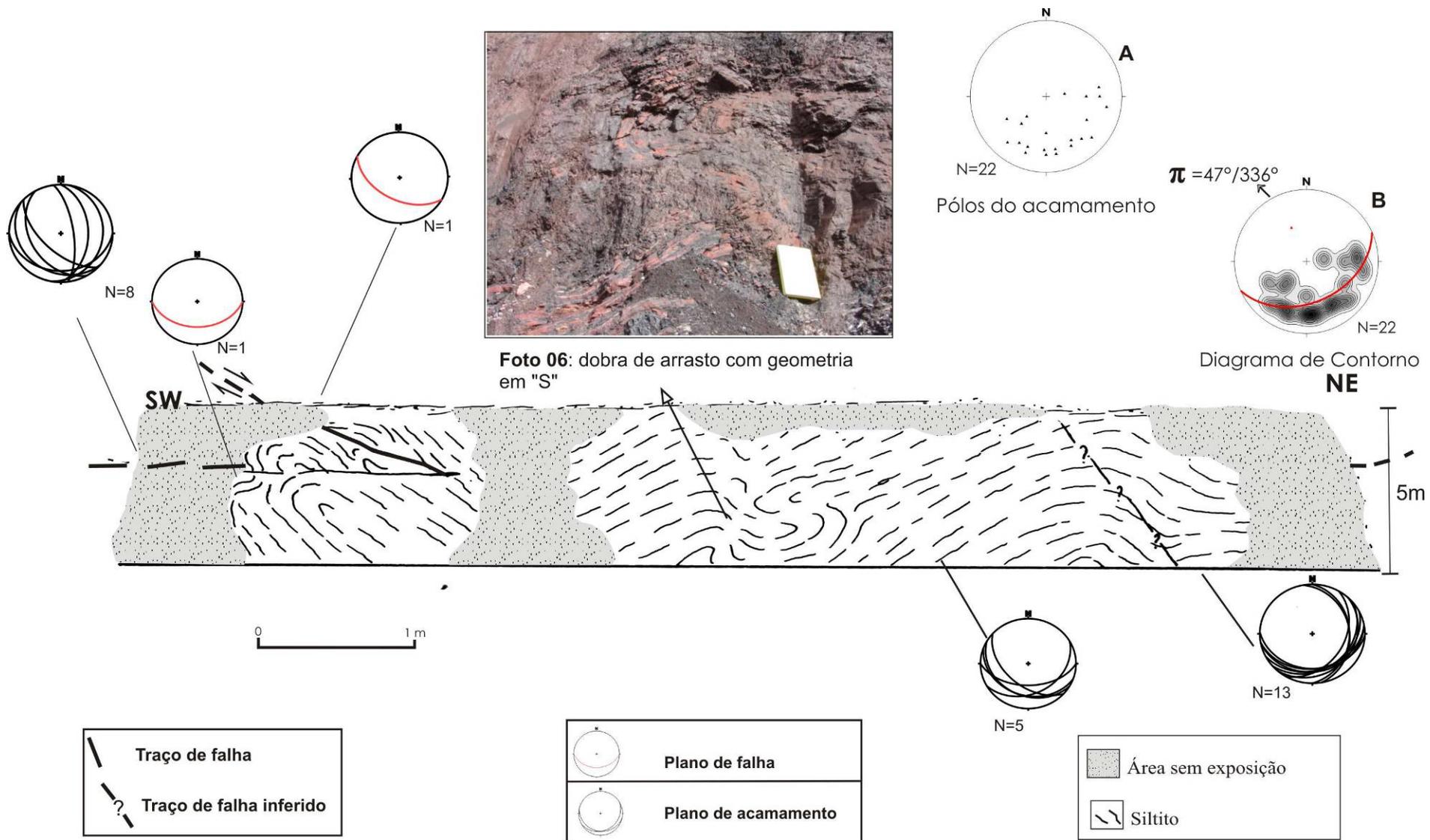
Nesta seção observa-se também, na região mais a leste, uma dobra isoclinal fechada de escala métrica. Esta dobra possui eixo com ângulo baixo de 13° com caimento para SE, e vergência observada em campo para E. Seu ápice encontra-se cortado por dois traços de falha, que deslocam parte do acamamento gerando dobras de arrasto com aproximadamente 30 a 50 cm associados a seus planos (**Fig 30**).

Na porção mais central da seção, o acamamento desenha uma dobra em forma de “S” de escala métrica, classificadas como *drags folds* (**Foto 06**). Possuem eixos rasos (20° a 27°) com caimento para SE (**Fig 30**).

#### Falhas:

A seção apresenta duas falhas expressivas, ambas localizadas na região leste da seção. A primeira possui extensão aflorante com cerca de 1,5 m, traços retilíneos na direção E-W com ângulo de mergulho de 40° para S (**Fig 30**). A segunda falha, obliqua em relação a primeira falha, possui traço mais sinuoso com aproximadamente 1m de extensão aflorante. A direção é de NW-SE com ângulo de mergulho de 50° para SW (**Fig 30**).

A movimentação dessas duas falhas é de difícil distinção nos cortes em que a seção foi feita, porém a associação dos planos dessas falhas com dobras de arrastos descritas no item anterior, evidencia um caráter de transcorrência dextral para a segunda falha descrita.



**Figura 30 - Seção 03** localizada no banco de nível 492m na mina 01 (ver ANEXO 01). O acamamento desenha uma série de dobras individuais do tipo dobras de arrasto (*drag fold*) em detalhe na foto 06. Uma dobra reclinada seccionada por falhas na região NE da seção também é observada. O acamamento gera uma guirlanda com atitude de  $43^\circ/143^\circ\text{Az}$  e eixo  $\pi$  de  $47^\circ/143^\circ\text{Az}$ .

## ▪ Seção 04

Esta seção posiciona-se na região leste da **Mina 01 (ANEXO 01- S 04)**. Tem uma extensão de 40m, no nível 492m e orientação ENE-WSW (**Fig 31**).

### Dobras:

As dobras se apresentam segundo três tipos:

(1) dobras decamétricas encontradas no pacote de siltito com perfil assimétrico, aberta e suave métrica (15 a 20m), com mergulho de acamamento que variam de 10° a 65° para NE e SW (**Fig 31 A**). O diagrama de contorno apresenta uma guirlanda de pólos nos quadrantes SW e NE (**Fig 31 B**) cujo eixo tem atitude de 6°/132°Az .

(2) dobras métricas associadas a arrastos *drags fold* ao longo de planos de falhas (**Fig 31**) observadas em quase toda a extensão da seção. A mais expressiva dessas dobras ocorre a oeste da seção, com geometria em forma de “Z”, desenhada em escala métrica pelo contato da camada de siltito com o minério (**Foto 07; Fig 31** em planta). O eixo tomado a partir de um dos seus *drags* apresenta atitudes de 3°/133° Az.

(3) Dobras desenhadas pela camada de minério (Bióxido Mn), freqüentes na região oeste da seção, caracterizadas por um padrão *en echelon* com comprimento de onda de 5m, formando arranjos compostos com eixo entorno de 4°/143° Az (**Fig 31**).

### Falhas:

A falha mais expressiva localiza-se na região oeste, possui traço sinuoso com 20m de extensão aflorante, atravessando a seção com uma direção NW-SE e ângulo de mergulho variando em torno de 40° para SE. Sua cinemática é indicada pela geometria de uma dobra de arrasto, em “Z”, anteriormente descrita, que desloca a camada de minério, sugerindo um movimento transcorrente dextral com deslocamento de 6m aproximadamente (**Fig 31** em planta). A partir desse traço principal se desmembra diversas falhas menores com traços sinuosos, sendo que a mais expressiva possui traço retilíneo e deslocamento relativo normal, com atitude de 50°/20° Az (**Fig 31** em planta).

As falhas localizadas na região leste são de cavalgamento, possuem traços retos que atravessam toda a extensão da seção, e sua movimentação é atribuída pela associação de dobras

de arrastos com rejeitos inferidos de poucos centímetros. Devido o difícil acesso ao local não se pode fazer uma coleta segura das medidas.

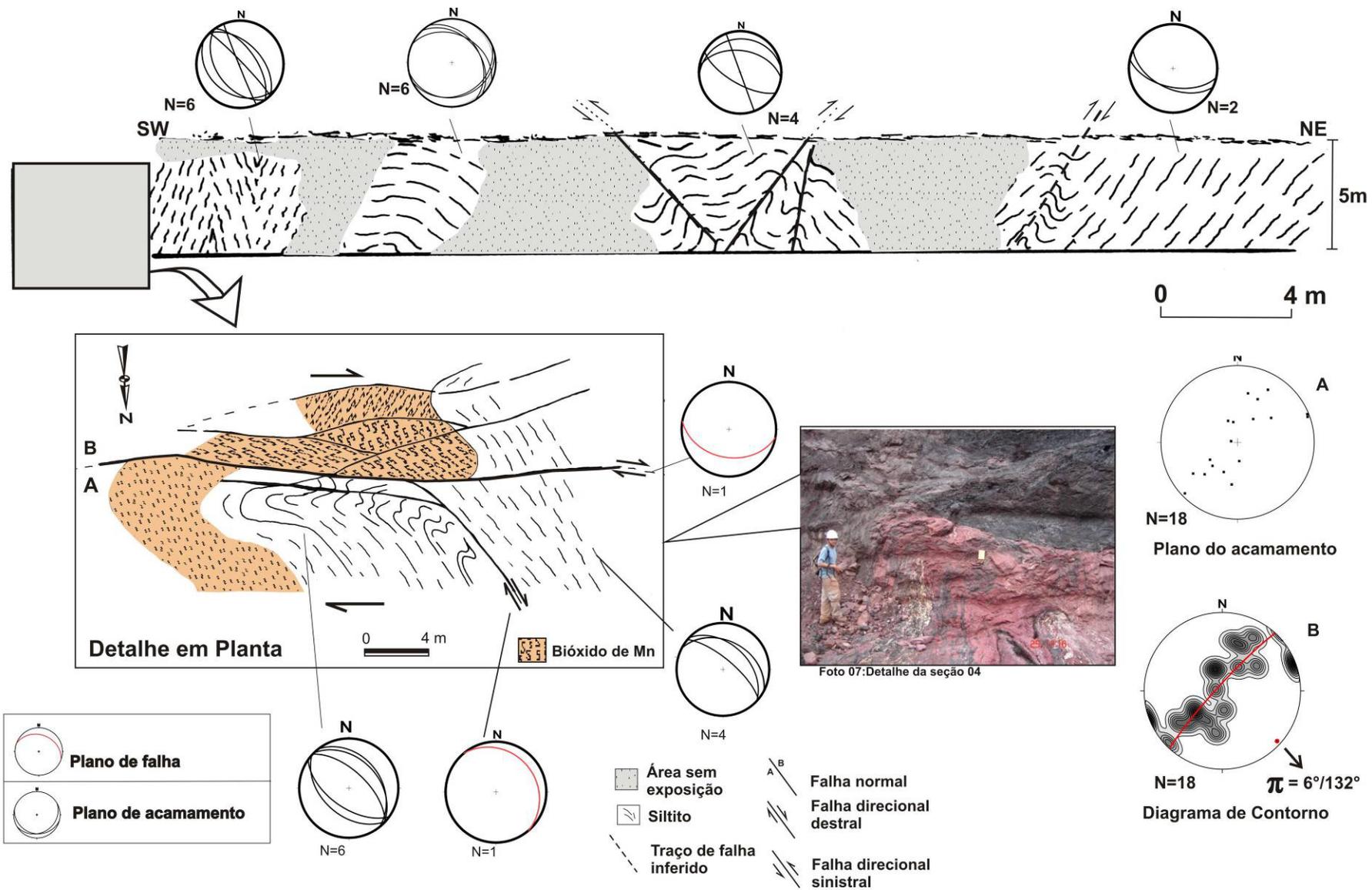


Figura 31 - Seção 04 localizada no banco de nível 492m na Mina I(vide ANEXO 01). Exibe detalhes do comportamento das feições estruturais presente no pacote de siltito. O detalhe em planta de uma dobra de arrasto (*drag-fold*) que desloca a camada de Bióxido ao longo de um traço de falha normal lhe atribuindo uma movimentação direcional destal. A foto 07 mostra detalhe em seção da dobra de arrasto. A guirlanda apresenta uma atitude de  $82^\circ/143$  Az eixo de  $6^\circ/132^\circ$  Az.

### ▪ Seção 05:

Esta seção está localizada a E da cava da **Mina 01 (ANEXO 01 – S 05)**, possui extensão de 50m, exposta no nível 516m e orientação NE-SW (**Fig 32**).

#### Dobras

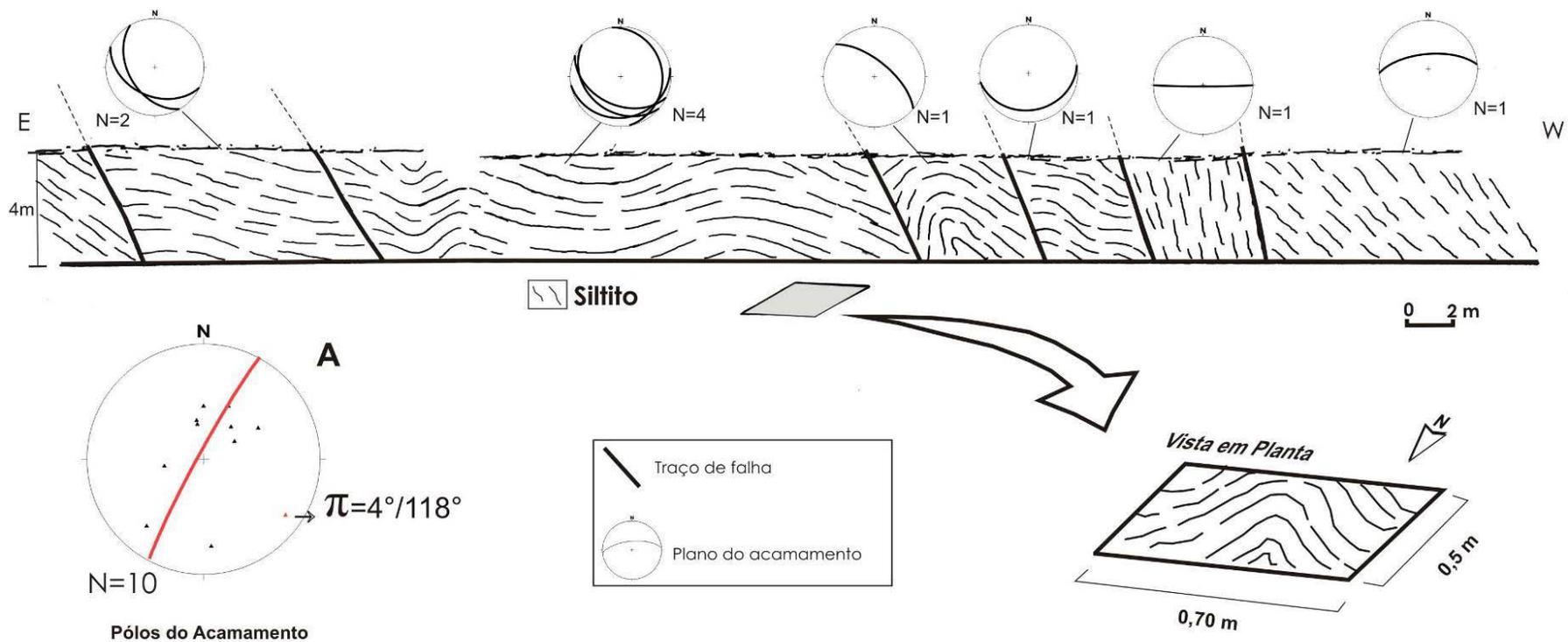
As dobras são identificadas em toda a extensão da seção. São dobras assimétricas suaves na forma de sinformes e antiformes com flancos abertos, região central da seção (**Fig 32**), ou na maioria das vezes com flancos abertos, região leste (**Fig 32**). Os eixos possuem valores de mergulho de  $11^\circ$  a  $40^\circ$  Az para os quadrantes ora SE ora SW.

O estereograma representante dos 10 pólos do acamamento resulta numa guirlanda com atitude de  $80^\circ/128^\circ$  Az eixo  $\pi$  no valor de  $4^\circ/118^\circ$  (**Fig 32 A**).

#### Falhas

Essas feições são de difícil distinção ao longo de toda a seção sendo apenas inferidas em certos locais onde o acamamento apresenta ângulos de mergulhos sub-verticais com atitude de  $65^\circ/355^\circ$ .

Os demais traços identificados foram inferidos apenas por separem setores em que o acamamento se comporta de maneira heterogênea separando regiões com respostas diferentes a deformação.



**Figura 32- Seção 05** localizada no banco de nível 516 m na Mina 01(ver ANEXO 01).Mostra a deformação presente nas camadas de siltito e as dobras métricas associadas a traço de falhas. O detalhe em planta mostra uma dobra cujo eixo possui atitude de  $20^\circ / 140^\circ$  Az. O diagrama com 10 pólos de acamamento mostra eixo com  $4^\circ / 118^\circ$  Az.

## ▪ Seção 06

Esta seção está localizada na região central da **Mina 01** exposta na parede do mirante da mina (**ANEXO 02- S 06**). Possui extensão de 120m e encontra-se no nível 520m, com orientação E-W (**Fig 33**). As seguintes feições estruturas foram identificadas:

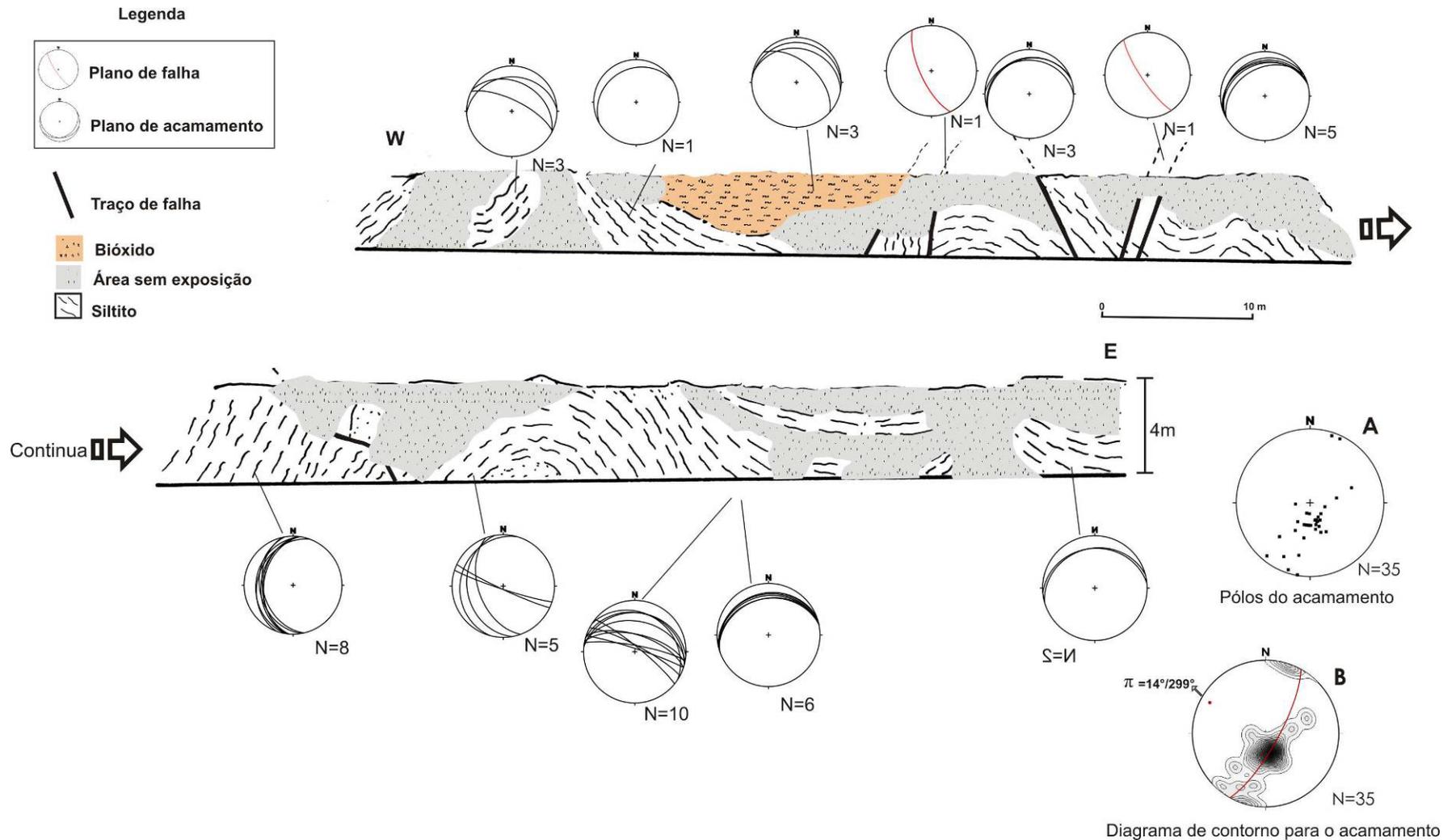
### Dobras:

São desenhadas pelo acamamento presente na camada de siltito, compondo antiformes e sinformes assimétrico, suaves e abertos com 3 a 4m de amplitude (**Fig 33**).

Os 35 pólos do acamamento no estereograma mostram um espalhamento do centro para as bordas indicando ângulos de mergulho que vão de baixos a altos (10° a 65°). O diagrama de contorno apresenta um máximo no quadrante SE (**Fig 33 A**). e eixo  $\pi$  com atitude de 14°/299° Az (**Fig 33 B**).

### Falhas

As falhas são frequentes na região W da seção não sendo comuns na porção leste. Apresentam traços retos e/ou sinuosos com 4m de extensão aflorante, obedecendo à direção NW-SE com altos ângulos de mergulhos de 50° a 60° e direções SW (**Fig 33**). Na região oeste da seção, estas feições rotacionam o acamamento deixando-o com ângulos altos, sub-verticais (**Fig 33**). Quanto à cinemática e os rejeitos dessas falhas, sua identificação não foi possível devido à falta de indicadores.



**Figura 33 - Seção 06** localizada no banco de nível 725m na Mina 01 (ver ANEXO 01). Mostra a deformação do acamamento nos siltitos e minérios Os pólos do acamamento se concentram no quadrante SE e a guirlanda resultante apresenta atitude  $75^\circ/139^\circ$  Az e eixo  $\pi$  de  $14^\circ/229^\circ$  Az.

## ▪ Seção 07

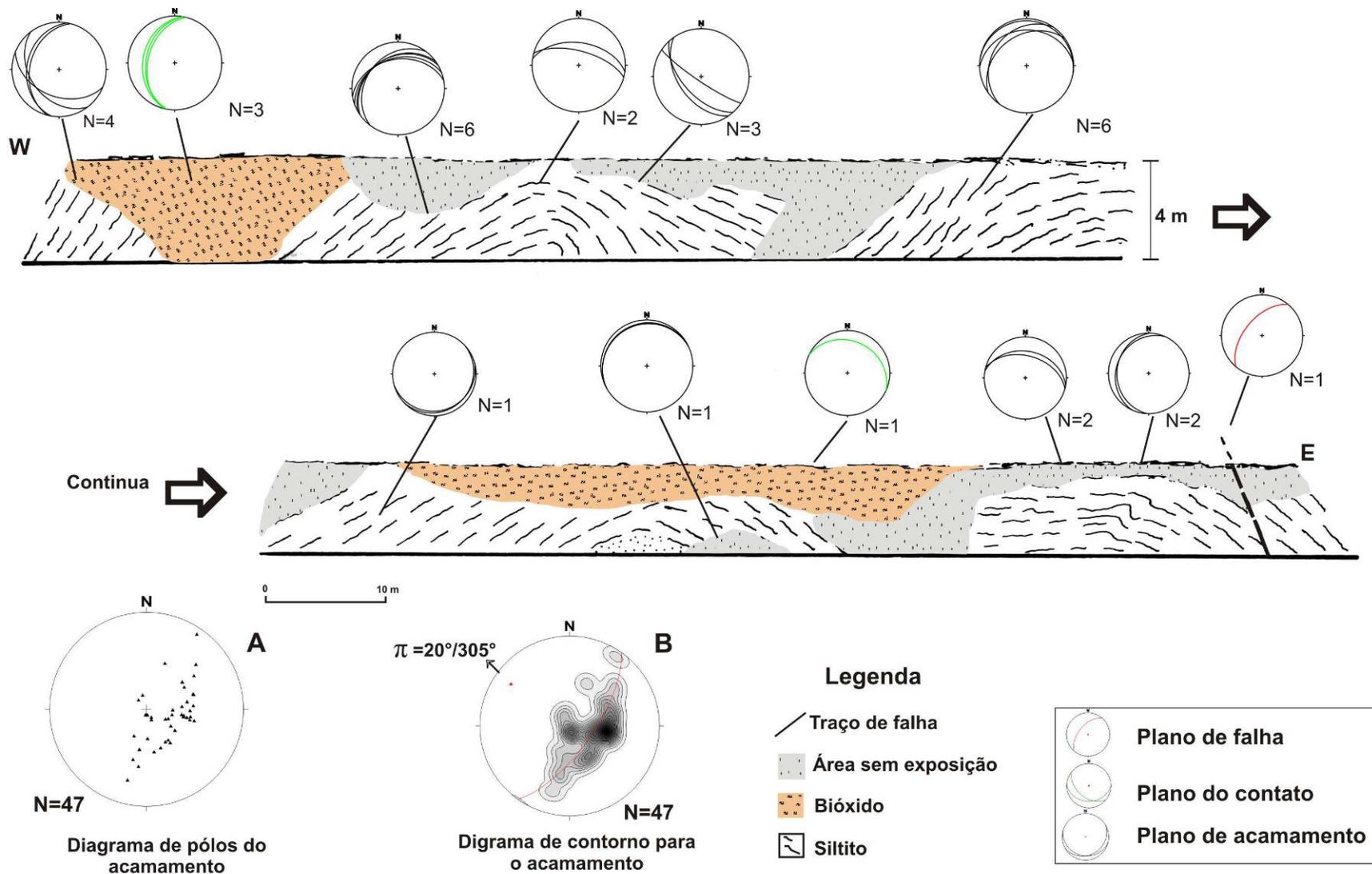
Esta seção foi feita na região central da cava da **Mina 01** na parede do mirante (**ANEXO 01- S 07**). Possui uma extensão de 185m no nível 468m orientada na direção E-W (**Fig 34**). A partir dela foram identificadas as seguintes feições estruturais:

### ***Dobras***

As dobras nesta seção são decamétricas desenhadas pelo acamamento do siltito. São antififormes e sinformes assimétricos suaves e abertos (**Fig 34**). Os 47 pólos do acamamento se distribuem do centro para as bordas mostrando planos com ângulos de mergulhos variando entre alto ( $50^\circ$  a  $65^\circ$ ) e baixos ( $10^\circ$  a  $20^\circ$ ). O estereograma de contorno geram guirlanda com atitude de  $69^\circ/125^\circ$  Az e eixo  $\pi$  com atitude de  $20^\circ/305^\circ$  Az (**Fig 34 B**).

### Falhas:

As falhas observadas nesta seção estão localizadas na porção a W, sendo caracterizadas por traços retilíneos com extensão aflorante de cerca de 5m, na direção SW-NE e ângulo de mergulho de  $50^\circ$  para NW (**Fig 34**). Sua cinemática não foi identificada devido à aparente falta de indicadores cinemáticos no corte da bancada.



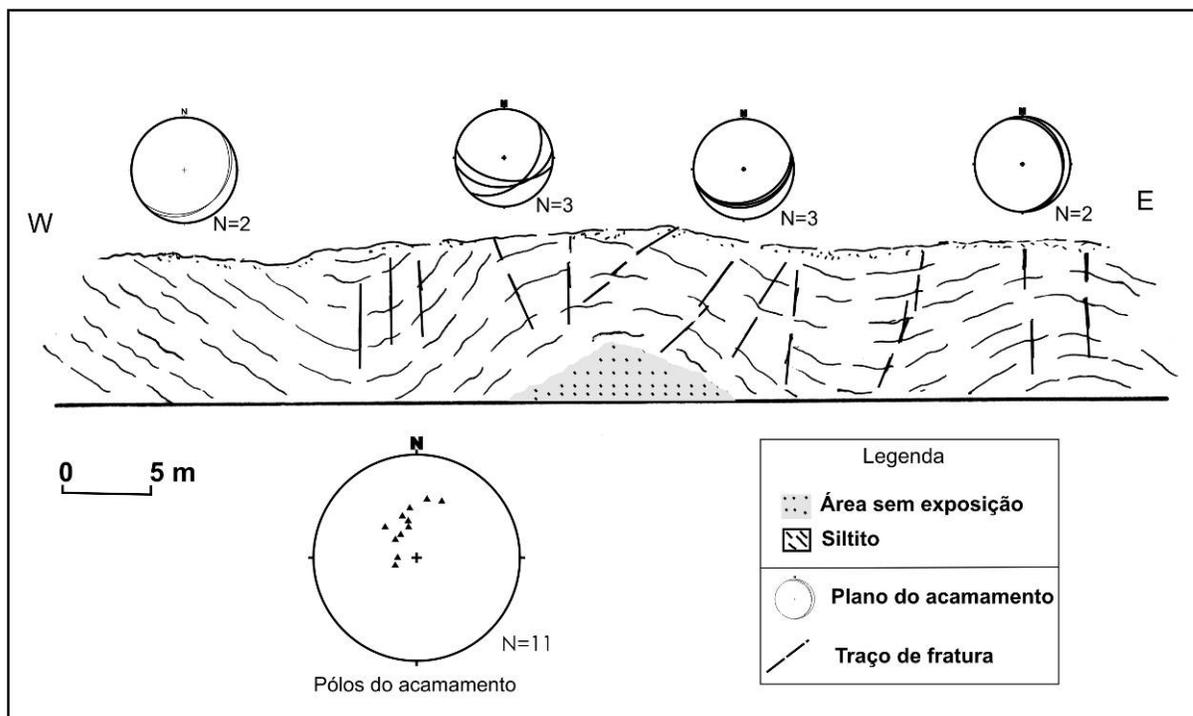
**Figura 34 - Seção 07** do corte aparente do banco de nível 468m na Mina 01(ver ANEXO 01). Mostra o comportamento individual através dos estereogramas de cada região.O contato observado é do tipo concordante ondulado. A guirlanda resultante dos 47 pólos do acamamento apresentam uma atitude de  $69^\circ/125^\circ$  com eixo  $\pi$  de  $20^\circ/30^\circ$  Az.

### ▪ Seção 08

Seção exposta na porção noroeste da **Mina 01 (ANEXO 01 - S 08)** apresentando uma extensão de 60m a partir do nível 468m e orientação E-W (**Fig 35**).

Essa seção é caracterizada por dobras suáveis e abertas, com padrão assimétrico e aproximadamente 5m extensão, cortada por fraturas.

A guirlanda construída a partir dos 11 valores de pólos do acamamento planos de acamamento médios com ângulos de mergulhos moderadamente altos ( $40^\circ$  a  $50^\circ$ ).



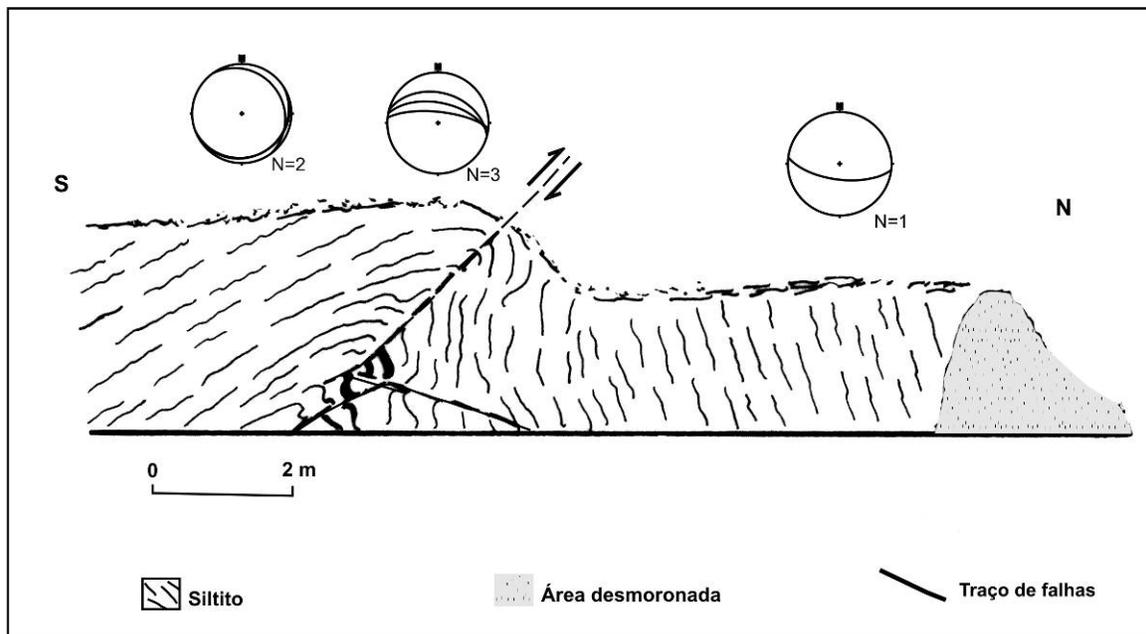
**Figura 35** - Seção 08 localizada no banco de nível 468 na região noroeste da Mina 01 (ver ANEXO 01). O acamamento desenha antififormes e siniformes suáveis seccionados por fraturas.

### ▪ Seção 09

Seção exposta na porção oeste da **Mina 01 (ANEXO 01- S 09)** no banco de nível 464m, apresentando extensão de 10m, orientada na direção N-S (**Fig 36**).

É caracterizada pela uma dobra métrica na forma de um antiforme de flancos fechados deformados e rotacionados (**Fig 36**).

As falhas observadas na seção se localizam na região sul da mesma, a mais expressiva delas é caracterizada por traços retos com extensão aflorante na ordem de poucos metros. Na base da seção, nesta mesma região, outras falhas menores são observadas, oblíquas ao traço da falha principal. São falhas com traços retos e extensão aflorante que variam de 0,5 a 1m. O corte em que a seção esta localizada não permitiu uma coleta de dados segura com relação a orientação dos planos dessas feições.



**Figura 36** - Seção 09 localizada no banco de nível 464m na região oeste da Mina 01 (ver ANEXO 01). O acamamento desenha uma dobra seccionada por uma falha de cavalgamento. No lado norte da seção o acamamento apresenta-se sub-verticalizado.

## ▪ Seção 10

Esta seção localiza-se na região norte da **Mina 01**. Possui uma extensão aflorante de 10 m no nível 476m com orientação NW-SE (**ANEXO 01- S 10**).

Este banco expõe de uma maneira geral o acamamento dobrado, sendo que na área a sul compõe dobras de arrastos associados aos planos de falhas. A área central da seção o acamamento apresenta ângulos de mergulhos altos com poucas fraturas associadas. A porção norte é marcada por uma série de falhas que deslocam e dobram o acamamento, compondo um pacote de mais ou menos 3m de extensão (**Fig 38**). Essas estruturas estão descritas a seguir:

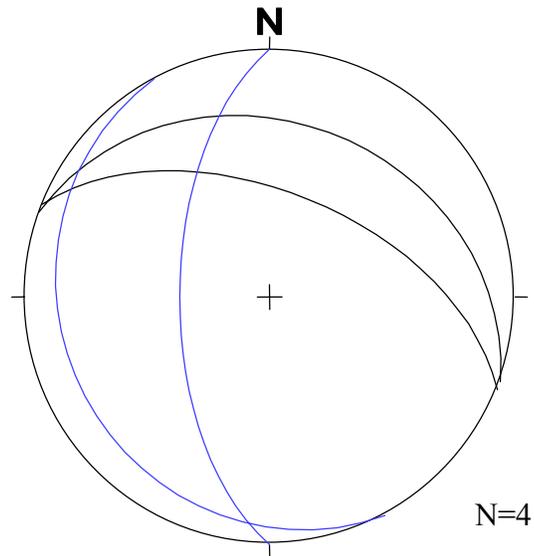
### Dobras

As dobras mais expressivas observadas estão associadas aos planos de falhas e são classificadas como *drags fold*. Estão presente tanto na porção norte quanto na porção sul da seção (**Fig 38**). Possui escalas variadas de poucos centímetros a vários metros. A mais expressiva localiza-se na porção S da seção e desenha um antifforme com eixo raso caindo para SE.

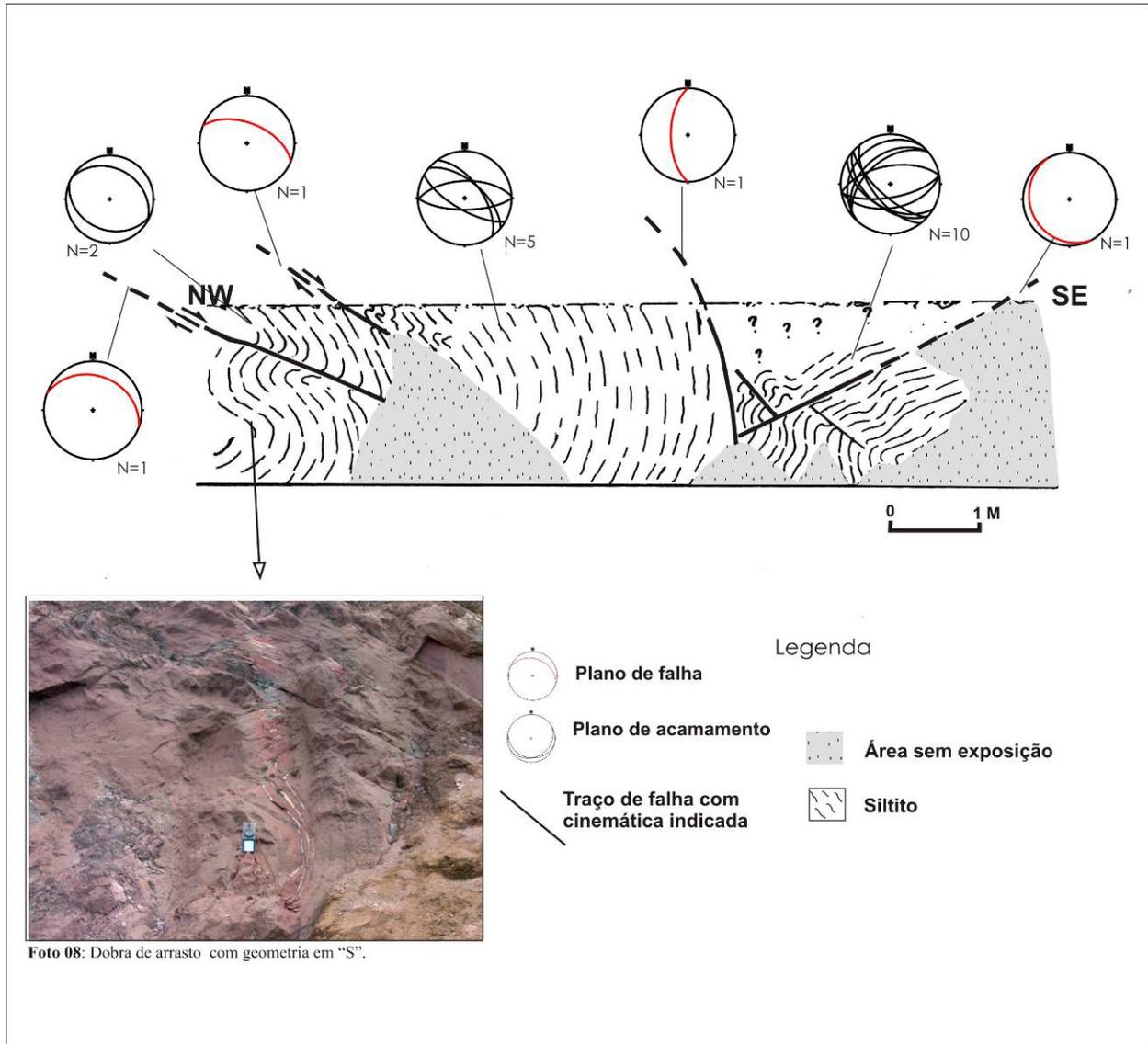
### Falhas:

As falhas que ocorrem nessa seção são caracterizadas por apresentarem traços retilíneos e/ou curvos e escala na ordem de metros de extensão aflorante. Possui direções de NW-NS, com ângulos de mergulho variando de 10° a 55° caindo ora para NE ora para W (**Fig 37**).

A falha localizada na porção na porção sul possui cinemática normal com rejeito desconhecido e as falhas localizadas a norte compõem um complexo conjunto de feixes cruzados com cinemática desconhecida (**Fig 37**).



**Figura 37** - Estereogramas representante dos planos de falhas observadas na seção 10. Os planos em preto indicam as falhas localizadas na região norte da seção e os planos em vermelho são falhas localizadas na região sul.



**Figura 38** – Seção 10 localizada no banco de nível 476m na Mina 01 (ver ANEXO 01). Detalhe do comportamento do acamamento em resposta a movimentação de falhas resultando numa série de dobras de arrastos (*drags fold*) de escalas métricas (Foto 08) a escalas centimétricas (área SE da seção).

## ▪ Seção 11

Essa seção está exposta na porção norte da **Mina 01** com 34m de extensão no banco de nível 464m e orientação NW-SE (**Anexo 01- S 11**).

Apresenta como característica um conjunto com dobras decamétricas a métricas, interrompidas por falhas e fraturas. Na área a sul o acamamento forma dobras associadas aos planos de falhas (*drags fold*). Na parte norte da seção esse acamamento apresenta-se com ângulos sub-verticais em respostas a rotação ao longo dos planos de descontinuidades (**Fig 39**). Essas estruturas serão descritas a seguir:

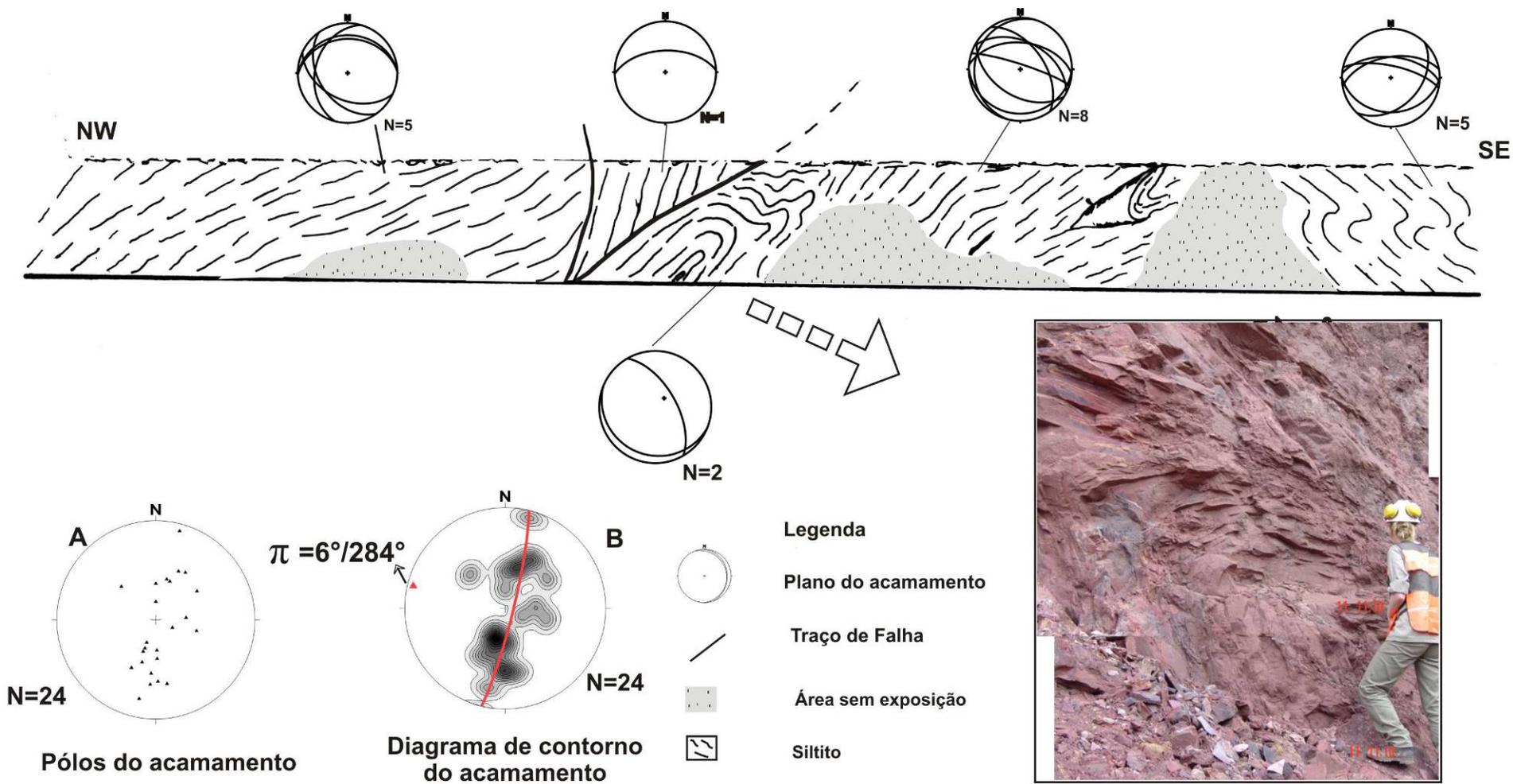
### Dobras:

As dobras identificadas apresentam formas variadas. Na parte sul da seção, elas desenham suavemente um “S” com aproximadamente 3m de comprimento. Na porção central da seção o acamamento desenha uma dobra reclinada com 4m de altura com eixo caindo para SE tendo um dos flancos interrompido por falha (**Foto 09**), gerando pequenas dobras de arrasto de escala centimétrica.

A guirlanda resultante dos 24 pólos de acamamento apresenta duas concentrações principais nos quadrantes NE e SW com planos médios de acamamento com ângulo variando de 25° a 50° (**Fig 39 A**). A atitude dessa respectiva guirlanda é de 70°/278°Az, mostrando que o acamamento apresenta-se dobrado com eixo  $\pi$  em torno de 6°/284°Az (**Fig 39 B**).

### Falhas:

As falhas desenham traços retos e/ou curvos na porção central da seção, com aproximadamente 4m de extensão aflorante, sua orientação foi de difícil observação no corte da bancada em que a seção foi feita. Apresenta uma cinemática normal evidenciado pela posição das dobras de arrastos com rejeito não observado (**Fig 39**).



**Figura 39 - Seção 11** feita do corte aparente no banco de nível 464m na região norte da Mina 01 (ver ANEXO 01). Mostra o comportamento do acamamento que desenvolve dobras associadas a falhas, localmente se observa dobra do tipo reclinada (foto 09). Os estereogramas mostram o comportamento individual do acamamento comum eixo  $\pi = 6^\circ/284^\circ$  Az resultante do plano da guirlanda.

## ▪ Seção 12

Seção localizada na porção N da **Mina 01** no nível 464m com extensão de 10m e orientação NW-SE (**ANEXO 01- S 12**).

Nesta seção está representado o acamamento dobrado, com falhas associadas, repetindo o padrão observado em outros locais da mina (**Fig 40**). Essas feições serão descritas a seguir:

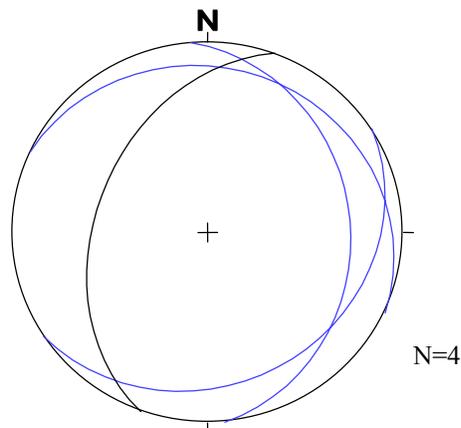
### Dobras:

As dobras observadas são desenhadas pela suave ondulação do acamamento, formando na porção norte um discreto sinforme aberto com eixo de ângulo baixo de  $15^\circ$  caindo para SE (**Fig 41**).

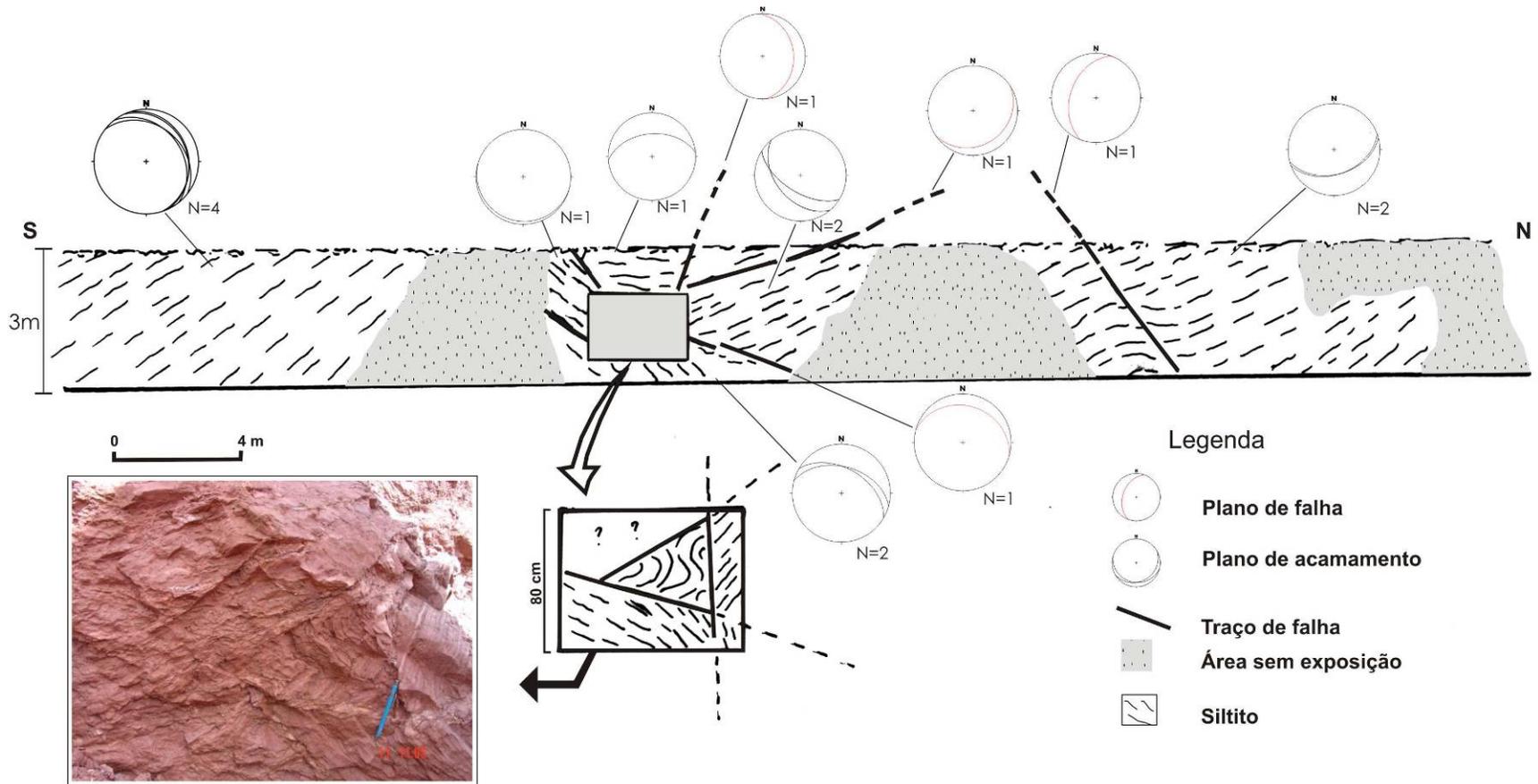
### Falhas:

As falhas identificadas na seção possuem traços retilíneos. Na parte central da seção esses traços apresentam direções que variam de N-S, NE-SW e NW-SE se cruzam entre si deformando e rotacionando o acamamento (**Fig 41; Foto 10**). Os ângulos de mergulho dessas feições variam de  $15^\circ$  a  $30^\circ$  para as direções E, SE e NE (**Fig 40**). A cinemática dessas falhas foi de difícil caracterização no corte em que a seção foi feita.

A falha normal observada na porção norte da seção possui direção de NE-SW com ângulo de mergulho de  $45^\circ$  para NW (**Fig 40**) com rejeito com poucos centímetros de deslocamento.



**Figura 40** - Estereograma representante dos planos das principais falhas observadas na **seção 12**. Os planos em azul indicam atitude das falhas localizadas na parte central da seção. O plano em preto indica atitude da falha observada na parte norte da seção.



**Foto 10:** comportamento do acamamento em resposta a movimentação de falhas

**Figura 41 - Seção12** localizada no banco de nível 464m na região norte da Mina 01 (ANEXO 01). O acamamento, no geral, apresenta um comportamento com planos inclinados, mostrados pelos estereogramas individuais do acamamento. Localmente esse comportamento é deformado pela presença de falhas que o rotacionam (Foto 10).

### ▪ Seção 13

A seção está localizada na porção NW da **Mina 01**, no nível 476m apresentando uma extensão de 50m na direção NE-SW (**ANEXO 01- S 13**).

Esta seção é caracterizada pela presença de falhas com traços sinuosos, tendo associado a seus traços, na região sudoeste da seção, dobras de arrastos (*drags folds*) conforme está descrito a seguir:

#### Dobras:

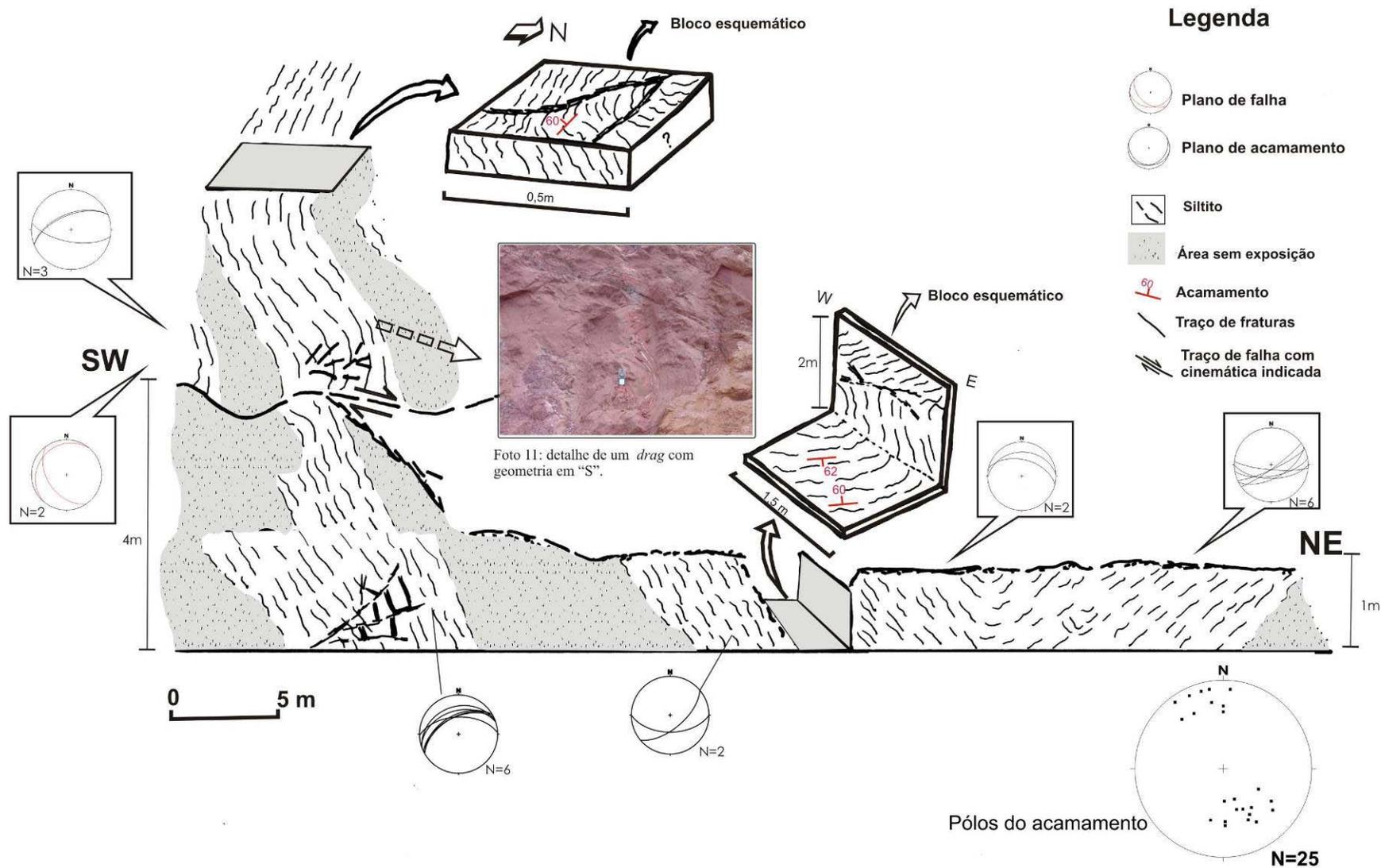
No geral o acamamento desenha uma dobra decamétrica, na forma de um sinforme aberto (**Fig 42**).

Os 25 pólos do acamamento representados em estereograma indicam planos médios com ângulos de mergulhos moderados a altos ( $50^\circ$  a  $60^\circ$ ). Esses pólos geram duas concentrações uma no quadrante NW e outra no quadrante SE.

Na parte nordeste da seção observa-se um *drag* (**Foto 11**) na forma de um antiforme com 1,5m de tamanho com eixo caindo para a direção W.

#### Falhas:

As falhas mais expressivas localizam-se na parte sudoeste da seção, apresentam traços sinuosos nas direções NE-SW e NW-SE com ângulos variando de  $20^\circ$  a  $50^\circ$  caindo ora para SE ora para NW (**Fig 42**). Mostra cinemática com movimentação destal, atribuído dobras de arrasto associadas, anteriormente descritas (**Fig 42**).



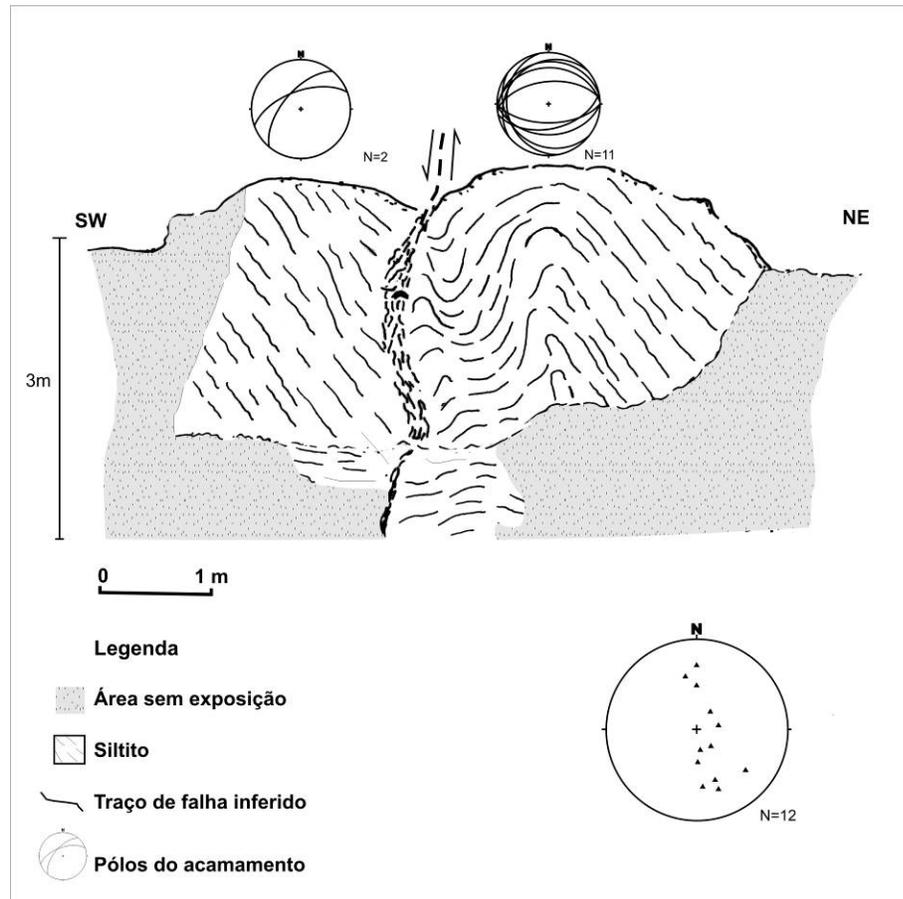
**Figura 42 - Seção 13** localizada no banco de nível 476m na região norte da Mina 01 (ver ANEXO 01). Neste detalhe observa-se dobras do tipo *drag fold* associadas a falhas com traços sinuosos. Detalhe da dobra do tipo *drag fold* (Foto 11). A guirlanda resultante dos 25 pólos de acamamento indica atitude planos de acamamento com mergulho que variam de 10° a 55°. Os detalhes em bloco esquemático mostra o acamamento dobrado interrompido por estreitas zonas de falhas.

## ▪ Seção 14

Esta seção aflora na porção NW da **Mina 01** no banco de nível 476m e comprimento de aproximadamente 3m na orientação SW-NE (**ANEXO 01 – S 14**).

Na seção observa-se um antifórme métrico desenhado pelo acamamento, cortado por uma zona de falha sinuosa, sub-vertical com 10 cm de largura e 2,5m de comprimento com movimentação de cavalgamento (**Fig 43**).

Os 12 pólos representados no estereograma apresentam um espalhamento nas porções centrais do estereograma, indicando planos médios de acamamento com ângulos de mergulho moderados na faixa de 40°.



**Figura 43** - Seção 14 localizada no banco de nível 476m na região noroeste da Mina 1 (ver ANEXO 01). Mostra um antifórme interrompido por uma zona de falha sub-vertical com cinemática de cavalgamento. O diagrama de pólos mostra que o acamamento apresenta ângulos de mergulho que variam de 10° a 45°.

### 4.1.2 Mina 02

A Mina 02 está localizada a NW da Mina 01(ANEXO 01), a maioria das feições observadas na área dessa mina está compreendida numa faixa de poucos quilômetros de largura com orientação NW-SE (ANEXO 01). O atual avanço da frente de lavra está compreendido entre os níveis 500m a 540m.

A seguir será descritas as principais feições estruturais observadas a área da **Mina 02**

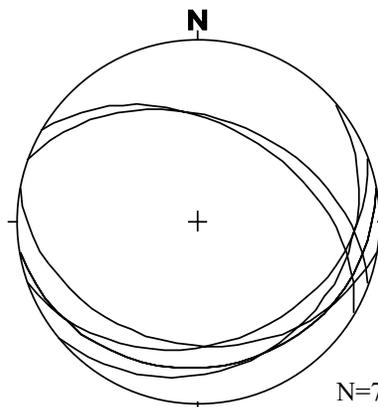
#### ▪ Seção 15

Esta seção foi realizada na região sul da Mina 02, no banco de atitude de 508m com 200 m de extensão com direção NE-SW (ANEXO 01 – S 15).

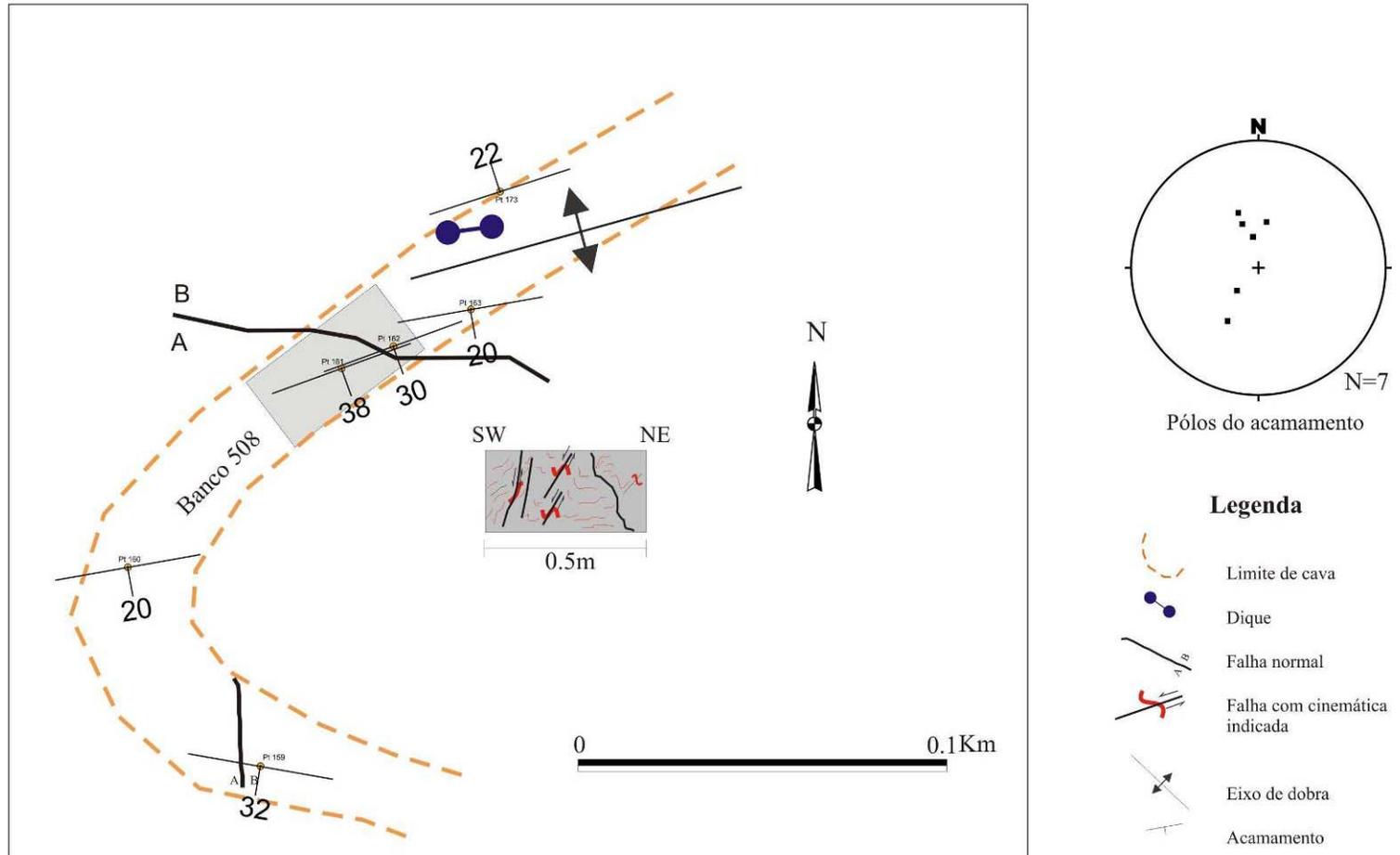
Nessa seção em planta mostra que o pacote de siltito apresenta planos de acamamento na direção SW-NE com ângulos de mergulhos moderados ( $30^\circ$  a  $45^\circ$ ) para SW e/ou NE (Fig 44), desenhando em seção um antifforme métrico (Fig 45).

As falhas são observadas na região central e SW da seção. São feições com traços sinuosos e extensão aflorante de escala de poucos metros. A mais expressiva dessas falhas, esta localizada na região central da seção (Fig 45) possui direção NW-SE com uma movimentação inferida normal. As demais são observadas na região SW da seção (Fig 45) possuem direção SW-NE e cinemática com movimentação dextral e sinistral.

Na região NE da seção observou-se um corpo intrusivo de composição básica com direção NW-SE (Fig 45).



**Figura 44** - Diagrama representante dos das medidas de planos de acamamento coletados na seção 15.



**Figura 45 - Seção 15** em planta localizada no banco 508m na Mina 02 (ver ANEXO 01). O acamamento desenha um anticlinal seccionado por falhas normais de traço sinuosos. O estereograma mostra planos de acamamento com ângulos que variam de 20° a 65°. Na região nordeste o acamamento é cortado por um dique com aproximadamente 4m de extensão.

## ▪ Seção 16

Seção localizada na região NW da Mina 02 no banco de nível 504m (**ANEXO 01 – S 16**). Possui direção SW-NE com aproximadamente 5m de extensão.

O acamamento desenha dobras seccionadas por falhas que geram em seus planos dobras individuais de arrastos (**Fig 46**). Essas feições serão melhor descritas a seguir.

### Dobras:

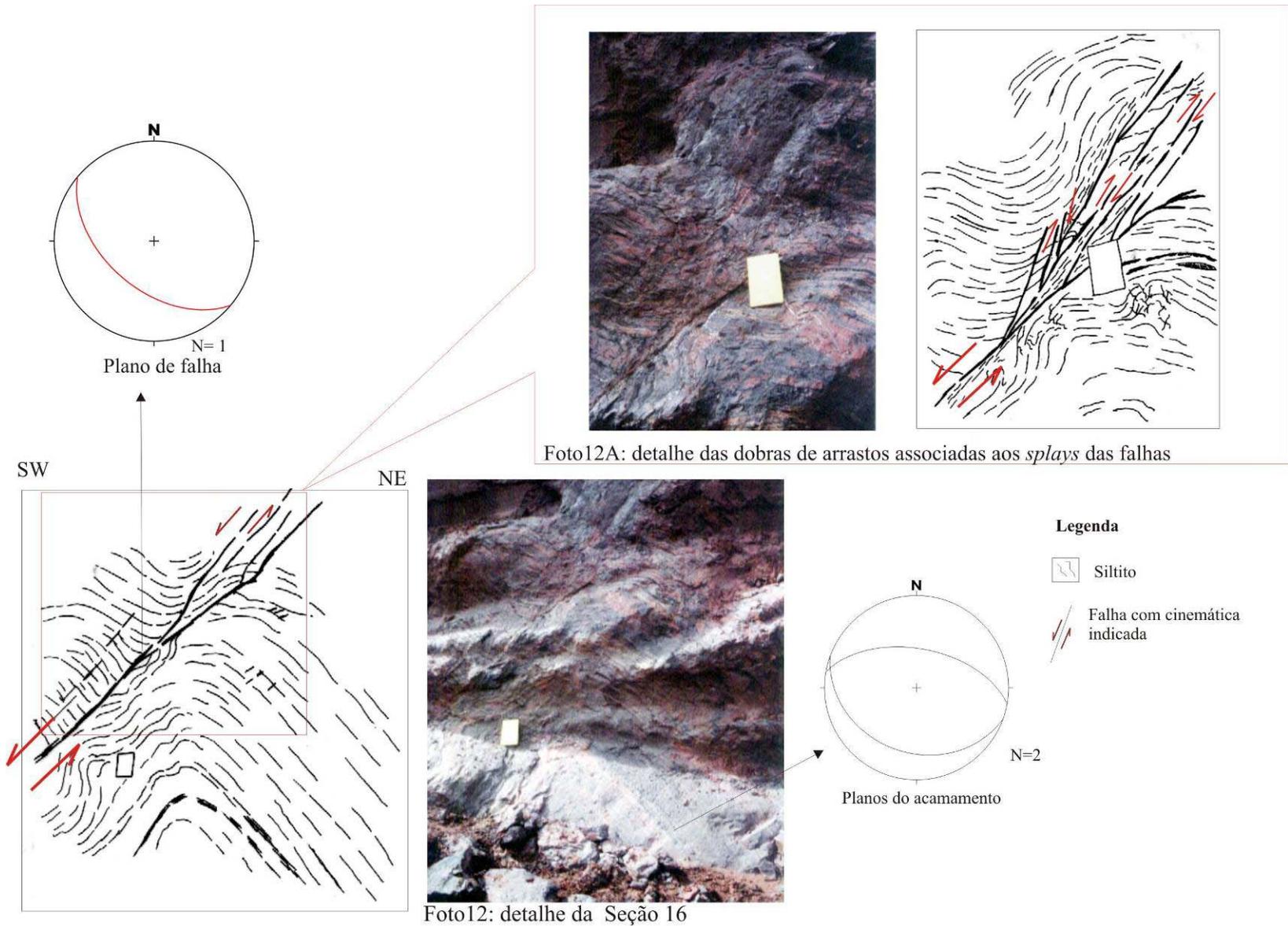
Representada por um antifórme de escala métrico, localizado na região central da seção (**Foto 12**). O eixo apresenta atitude de  $65^{\circ}/300\text{Az}$ . O plano axial observado nessa dobra encontra-se paralelo ao plano de falha que será descrito mais a diante.

Dobras individuais de arrasto (*drags folds*) de escala métrica são observadas associadas à movimentação do plano de falha (**Foto 12 A**).

### Falhas:

Observa-se um único feixe de falhas localizado na região central da seção (**Fig 46**). A falha principal apresenta traço sinuoso com alguns metros de extensão aflorante, secciona a dobra mais expressiva na seção, com atitude de  $50^{\circ}/220^{\circ}\text{Az}$ . A partir dela se distribuem vários *splays* métricos com traços sinuosos associados a dobras de arrastos já descritas anteriormente (**Foto 12 A**).

A falha principal possui movimentação normal no plano principal, e movimentação de cavalgamento nos *splays* que dela se ramificam (**Foto 12**).



**Figura 46 - Seção 16** localizada no banco de nível 504m na Mina 02 (Foto 12). Deformação produzida pela movimentação de falha resultando numa série de dobra de arrasto (*drag fold*) de escalas que variam de centimétricas a métricas (foto 12 A). O eixo da dobra maior possui atitude de 65°/300°Az.

### ▪ Seção 17

Esta seção foi observada na parte norte da cava da **Mina 02**, no banco de nível 532m com 170m de extensão orientada na direção NE-SW (**ANEXO 01 - S 17**).

Nessa seção observa o contato discordante do siltito e o minério (Bióxido Mn). O pacote de siltito apresenta-se deformado, desenhado um conjunto de sinformes e antiformes interrompidos por traços de falhas (porção SW e central da seção). A deformação observada no minério é dada pela presença de uma dobra fechada *en echelon* (**Fig 47**). Essas estruturas serão detalhadas a seguir:

#### Dobras:

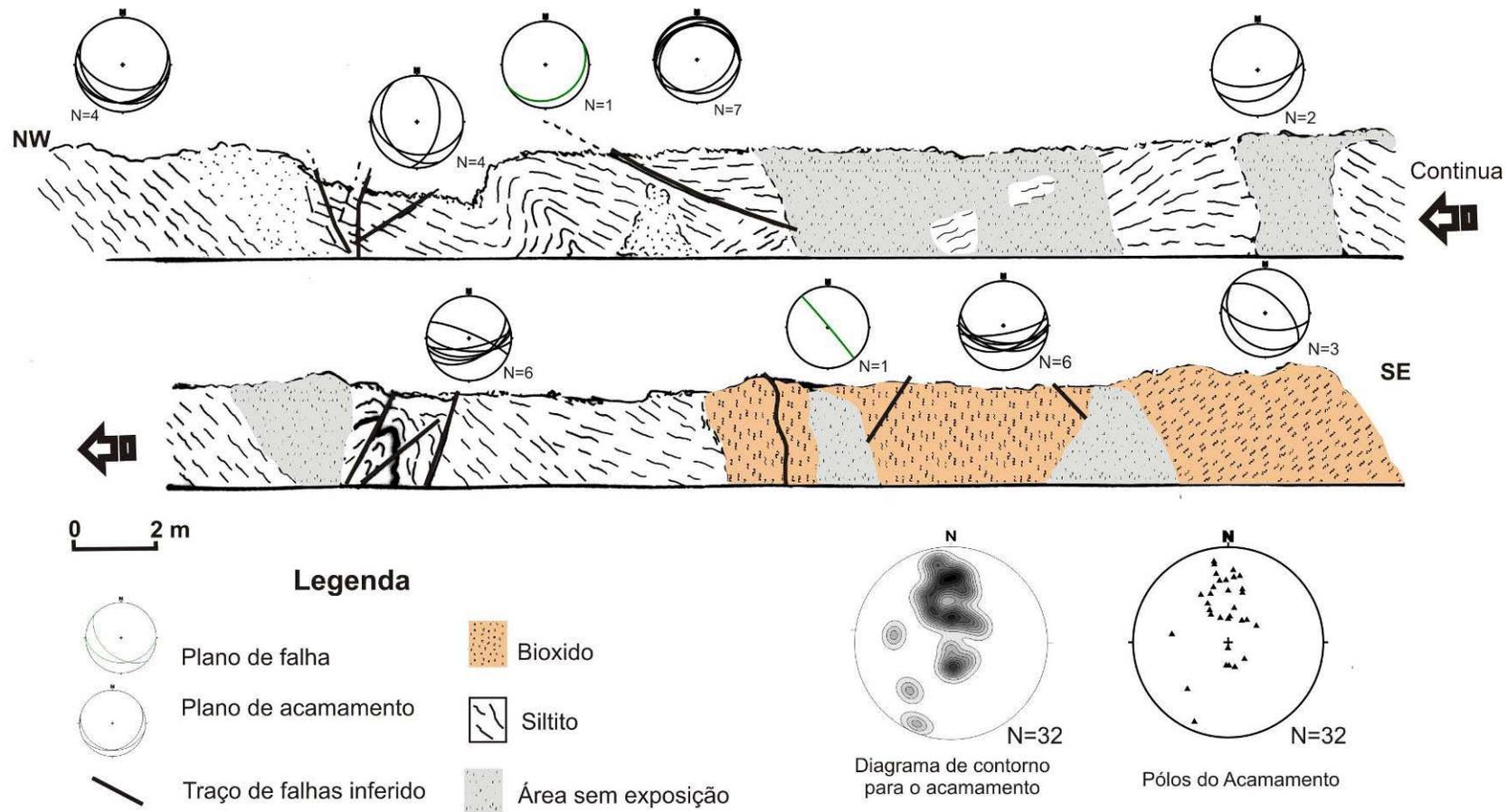
As dobras são desenhadas pelo acamamento do pacote de siltito e o minério e formam um conjunto de sinformes e antiformes suaves e abertos com um dos flancos em posição sub-vertical (área central).

Os 35 pólos do acamamento apresentam uma concentração máxima no quadrante NW, e planos de acamamento médio com ângulos entre 20° a 55° (**Fig 47 A**).

Na região central observa-se um antiforme apertado com cerca de 4m de comprimento. Com eixo em torno de 20° caindo para SW (**Fig 47**).

#### Falhas:

As falhas são caracterizadas por traços retos e/ou sinuosos, com maior expressão nas porções SW e central da seção. Seus traços variam de 2 a 4m de comprimento nas direções NE-SW com ângulo de mergulho de 20° para SW (porção sudoeste) e NW-SE com ângulo de mergulho 85° subvertical (**Fig 47**). Seus deslocamentos não podem ser indicados na seção devido a ausência de indicadores cinemáticos.

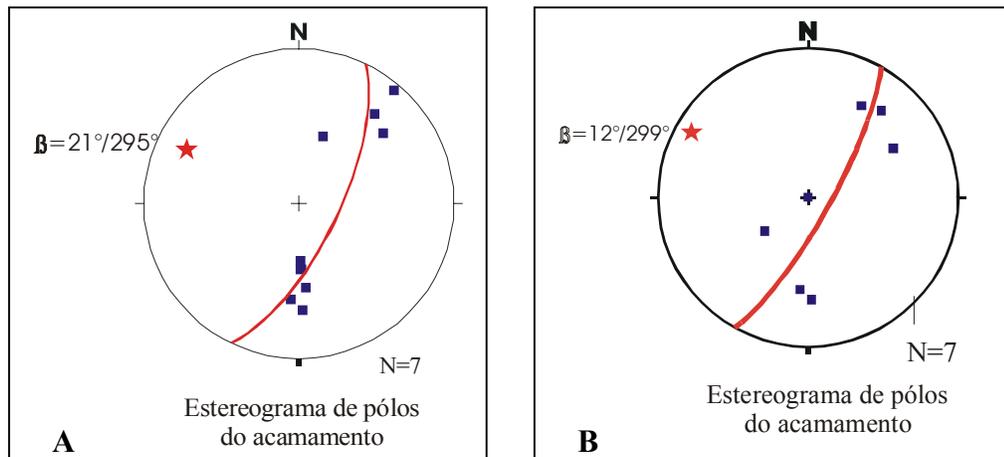


**Figura 47 - Seção 17** em corte aparente do banco de nível 520m na Mina 2 (ver ANEXO 01). Mostra o comportamento heterogêneo do acamamento com falhas e dobras associadas. O diagrama de pólos **A** mostram planos de acamamento com ângulos que variam de rasos a sub-verticais, o diagrama de contorno estatístico **(B)** mostra uma concentração máxima no quadrante N para NE e corresponde a um plano médio de acamamento  $55^{\circ}/167^{\circ}Az$ .

### 4.1.3 Mina 03

O avanço de lavra na região da **Mina 03** ainda esta em fases iniciais. Atual frente de lavra está entre os níveis 604m a 570m, o que resultou na identificação de poucas feições de deformação no atual grau de exposição das rochas. No entanto, as medidas de planos do acamamento coletadas ao longo de toda a área da mina permitiram caracterizar dobras, de escala quilométrica, do tipo antiformes e sinformes com eixos com ângulos baixos ( $12^\circ$  a  $20^\circ$ ) para SW (**ANEXO 01**).

Os planos de acamamento observados em estereogramas tanto para a região sul como para a região norte apresentam ângulos que variam de moderados a sub-verticais (**Fig 48 A e B**)



**Figura 48** - Diagramas de pólos representante do acamamento da Mina 03. O diagrama (A) representa pólos de acamamento para a região sul da mina e o diagrama (B) representa pólos de acamamento para a região norte.

# Capítulo 05

---

## 5 DISCUSSÕES

Os aspectos geométricos e cinemáticos inerentes às estruturas observadas nas rochas expostas na Mina do Igarapé Azul, tratadas no capítulo anterior, permitem a discussão de vários pontos importantes para a melhor compreensão a respeito da deformação impressa nas rochas da mina.

Pretende-se, a seguir, relacionar alguns tópicos conclusivos ou ainda em fase de discussão, particularmente sobre a geometria de cada estrutura a partir do tratamento por domínios referentes a cada mina separadamente, para somente então culminar numa regionalização dos dados levantados desde a escala regional a escala de detalhe, na tentativa de caracterizar o arranjo geométrico para as rochas da Mina do Igarapé Azul.

### 5.1 SOBRE O ARRANJO GEOMÉTRICO E CINEMÁTICO

#### 5.1.1 Mina 01

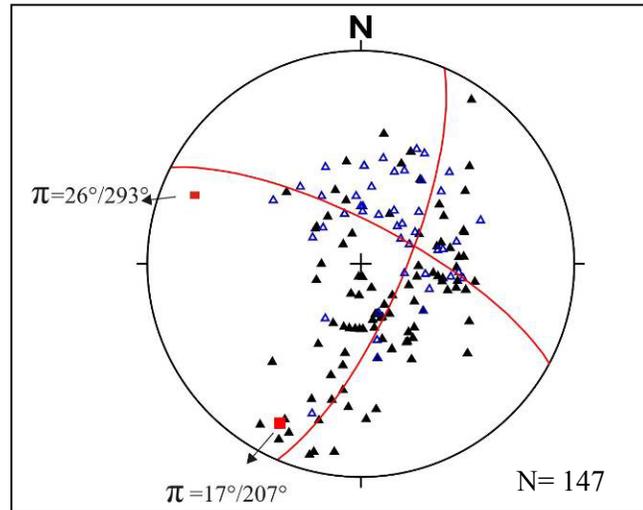
**a) Dobras:** os planos de acamamento de siltito da **Mina 01** desenham **dobras** que variam de escala desde centimétrica a quilométrica.

(1) Um conjunto de dobras regionais com eixo NW-SE é caracterizado (**Fig 49**). São dobras de arrasto “*drag fold*” (**Figs 42, e 43**) com amplitude variando de centimétricas a métricas apresentado eixos com caimento moderados (30° a 50°) para SW. Dobras reclinadas (**Fig 39**) com tamanhos métricos e eixo caindo com ângulos rasos de 10° para SE, também são observadas.

As dobras com eixos NW-SE em muitos casos aparecem associadas à falhas normais, ou em regiões entre duas falhas transcorrentes (**Figs 30, 33, 34, 35, 37, 39 e 40**). Seus eixos são orientados na maioria das vezes paralelos aos seus planos.

(2) Um segundo conjunto de dobras observados são as com eixos NNE-SSW (**Fig 49**). São dobras em *kinks* com flancos abertos na forma de *sets* conjugados definindo antiformes e sinformes métricos. Apresentam eixos com caimento baixos a moderados entre 10° a 50° para SE (**Figs 25, 26, 31 e 32**).

As *kinks* são menos expressivas em relação às dobras com eixos NW-SE (*drags folds* e dobras regionais), seus eixos são paralelos a falhas normais NW-SE ou N-S sendo consideradas uma variação local do conjunto de dobras com eixos NW-SE.



**Figura 49** - Estereograma de pólos de planos do acamamento Mina 01. Observar que o espalhamento dos pólos gera duas guirlandas, uma com eixo  $\pi$  de  $17^\circ/207^\circ$  Az e outra com eixo  $\pi$   $26^\circ/293^\circ$  Az. As cores azul e preto dos pólos representam planos de acamamento para os diferentes conjuntos de dobras.

b) **Falhas:** O segundo grupo de estruturas importantes que ocorrem na área da Mina 01 são as falhas. Essas feições podem ser divididas segundo três conjuntos segundo a sua geometria, cinemática e orientação.

O primeiro conjunto (1) é freqüente na região SE da mina, é caracterizado por falhas de traços sinuosos, onde na maioria das vezes, formam *flats* e rampas, com extensões decamétricas e com terminações em *splays* retos e/ou sinuosos (**Figs 26 e 30**). São falhas normais com direção geral NW-SE e/ou E-W com ângulos de mergulhos baixos ( $10^\circ$  a  $20^\circ$ ) para S e secundariamente para SW. Uma característica bastante comum a essas falhas normais são dobras de arrasto, mencionadas acima, cuja geometria indica a participação de movimentação direcional dextral, eventualmente sinistral, associada (**Figs 25, 26, 37, 40 e 42**).

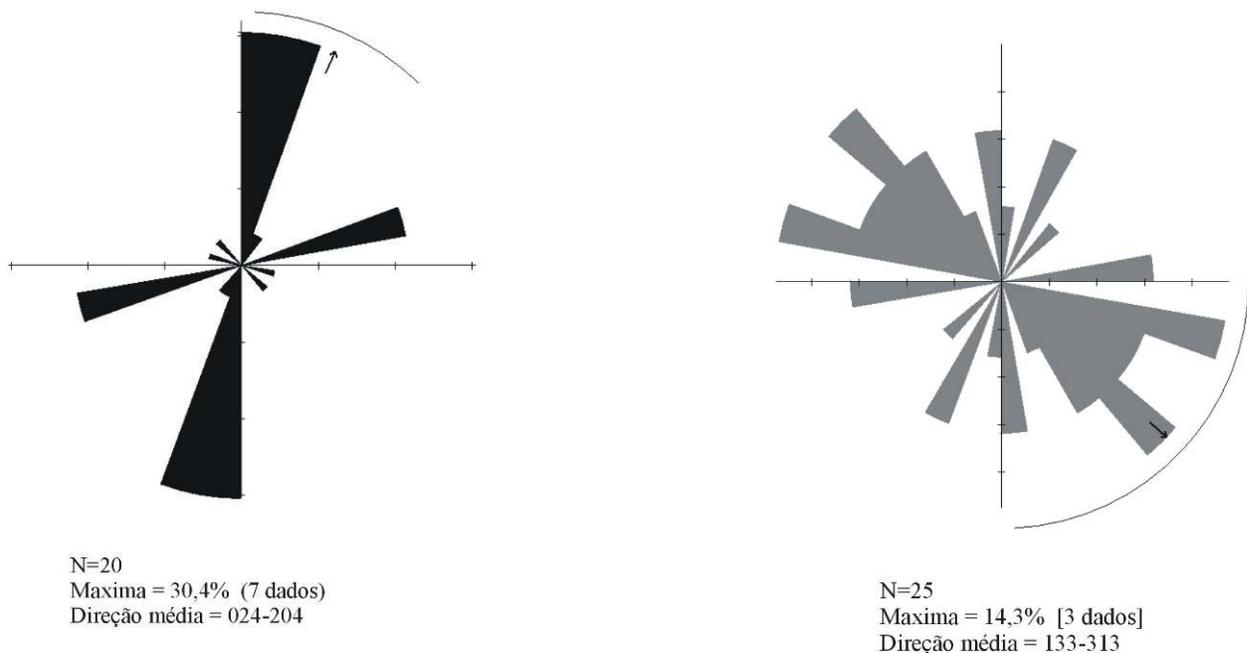
O segundo conjunto (2) é comum a região NW da Mina 01. São falhas normais com rejeitos da ordem de metros, formando faixas estreitas, retas ou sinuosas, em zonas sub-verticais (ver **ANEXO 02**). Possuem direções E-W e NW-SE com mergulhos altos ( $60^\circ$  a  $80^\circ$ ) para SW e/ou NE. Essas zonas também ocorrem associadas à dobras de arrasto, anteriormente descritas.

O terceiro conjunto de falhas (3) é freqüente a região NW da mina. Essas feições possuem planos retos orientados nas direções NW-SE e N-S com ângulos de mergulhos moderados de 30° a 50° (**Figs 33 e 34**) para NW. São falhas de cavalgamento com rejeitos inferidos na ordem de metros, com dobras flexurais associadas a seus tetos.

c) **Fraturas**: cortam todas as rochas da Mina do Igarapé Azul, e se dividem em dois grupos quanto ao tipo, orientação, geometria e idade relativa.

O primeiro grupo compreende a fraturas de tensão, de compartimentação interna das dobras, com planos sinuosos, dispendo-se obliquamente às falhas normais anteriormente descritas (**Figs 25 e 26**). Apresentam direções NW-SE e W-E, com ângulos de mergulho variando de 70° a 20° ora para S ora para SW. Sendo essas mais antigas que as fraturas do segundo grupo descrito a seguir (**Fig 52 A**).

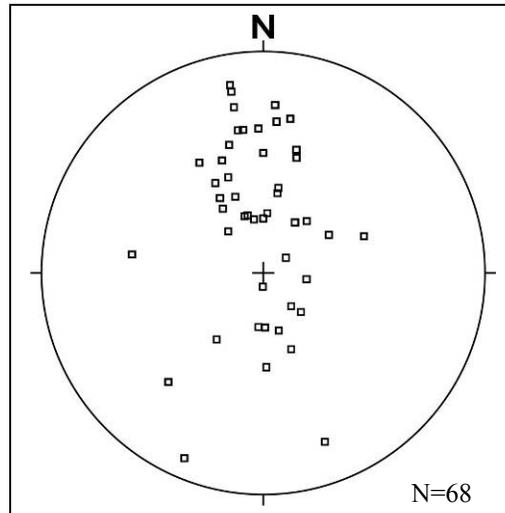
O segundo grupo são fraturas de cisalhamento, com planos retos, tem direções de NE - SW, NW-SE e N-S com ângulos de mergulho variando entre 20 a 40° (**Fig 52 B**) ora para N ora para SE. Geralmente as fraturas com direção NW-SE e N-S ocorrem em conjunto formando zonas fraturadas estreitas (**Fig 25**).



**Figura 50** - Diagrama para as principais direções de fraturas presente na área da Mina do Igarapé Azul. A roseta (A) possui como principais direções N-S e SW-NE. A roseta em (B) apresenta como principal direção NW-SE.

### 5.1.2 Mina 02

a) **Dobras**: os tipos identificados de **dobras** no geral desenham *drags folds* (**Figs 46 e 47**) de escala métrica, com eixos com ângulos baixo (em torno de  $9^\circ$ ) para NW. Seus eixos são associadas a planos de falhas normais NW-SE e/ou E-W. São dobras semelhantes ao primeiro conjunto individualizado e descrito na Mina 01.



**Figura 51** - Comportamento do acamamento representado no estereograma de pólos para a área da Mina 02

Também são observadas dobras *en echelon* desenhada pela camada de minério (Bióxido) de tamanhos métricos e eixos rasos com caimento entre  $4^\circ$  a  $10^\circ$  para SE. São dobras pouco expressivas na área, com modo de ocorrência isolado.

A vergência das dobras observadas na Mina 02 foi definida pela assimetria dessas feições, indicando transporte tectônico para o quadrante SW.

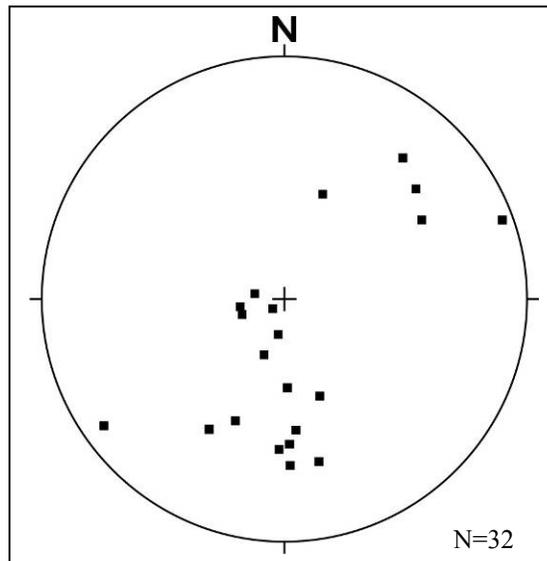
**b) Falhas** : são identificadas, tanto na região SW da mina como na região NE. São falhas de normais com direção NW-SE e/ou SW-NE com mergulhos sub-horizontais e dobras de arrasto associadas aos seus planos. Possuem traços retos, por ora sinuosos, medindo 2 a 3m de exposição, com *splays* retos associados. (**Fig 46**). Se comparadas às falhas que ocorrem na **Mina 01** essas podem ser associadas ao primeiro conjunto de falhas identificado.

### 5.1.3 Mina 03

O acamamento compõe em escala quilométrica um conjunto de antiformes e sinformes com eixos variando entre ( $20^\circ$  e  $34^\circ$ ) com caimento para NW (ver **ANEXO 02**).

O diagrama de pólos representante do comportamento do acamamento mostra espalhamento dos 32 pólos que vai do centro para a borda do estereograma indicando planos com mergulhos que variam entre  $20^\circ$  a  $65^\circ$  Az (**Fig 51**), com predominância de planos com mergulho de ângulo baixo.

A presença de **falhas** na área da Mina 03 não é expressiva, não permitindo assim a caracterização segura dessas feições nas rochas expostas.



**Figura 52-** Comportamento do acamamento representado no estereograma de pólos para a área da Mina 03.

## 5.2 SOBRE AS INTERPRETAÇÕES TECTÔNICAS PARA A REGIÃO

A Mina do Igarapé do Azul esta posicionada no interior do feixe da Falha Carajás (**Fig 23**) na região centro norte de Carajás, e o padrão de deformação observada nas rochas da mina, refletem parte da história cinemática dessa estrutura maior.

A tectônica na região central de Carajás é compartimentada em diferentes domínios separando diversos blocos divididos por sets de falhas NW-SE e NE-SW (Pinheiro, 1997). A Mina do Igarapé Azul se encontra num desses blocos a norte da Falha Carajás, onde a movimentação vertical elevou o membro inferior da Formação Águas Claras a níveis mais rasos em relação aos blocos do sul onde afloram o membro superior dessa Formação (Pinheiro, 1997).

A Falha Carajás foi nucleada por volta de 2.6 Ga a 2.0-1.8 Ga, como resultante dos pulsos finais de um evento de transtensão destal, atuante na região, deduzido a partir da inflexão dos *splays* de terminações dessa falha (Pinheiro, 1997; Lima, 2002). As seqüências vulcano-sedimentares são preservadas ao longo de zonas de subsidência, desenvolvidas em falhas transcorrentes E-W, NW-SE com falhas normais bordejando os blocos (Pinheiro, 1997). Um episódio de transpressão sinistral, com encurtamento de NE-SW, reativou a Falha Carajás entre 2.6 Ga e 1.9 Ga, invertendo as seqüências vulcano-sedimentares com deformação variando de forte a moderada próximo a zona da falha (Pinheiro, 1997; Pinheiro & Holdsworth, 2000; Lima, 2002).

Essa movimentação se traduz na área da Mina do Igarapé Azul pela presença de estruturas deformacionais resultantes de uma fase extensional atuante na região. Essa fase é caracterizada por um conjunto de falha normal NW-SE e/ou E-W com rejeito de até dezenas de metros (**Fig 53**). Essa falha se instala na área dividindo a Mina do Igarapé Azul em dois blocos principais um alto a norte e um baixo a sul (**ANEXO 2**).

O bloco sul encontra-se pouco deformado, apresentado uma regularidade na atitude do acamamento com direção E-W e mergulhos suáves para sul, colocando a camada de minério sucessivamente em níveis mais profundos no sentido S.

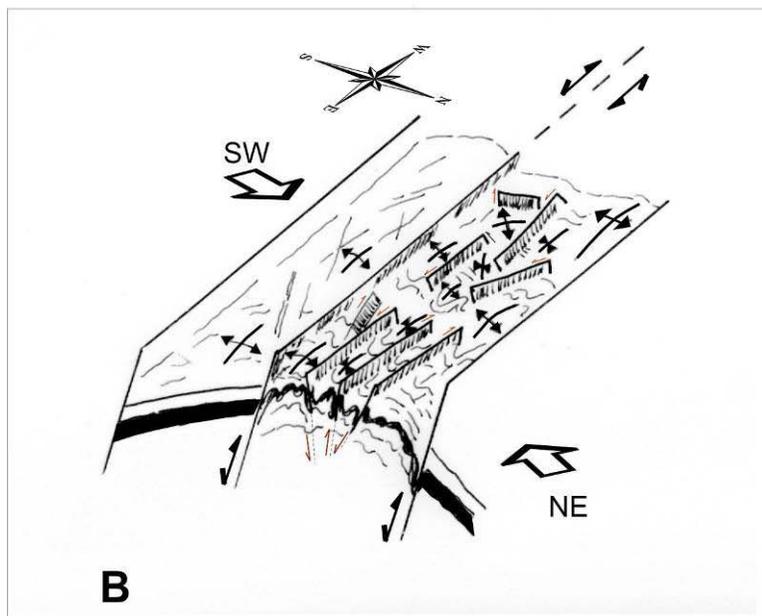
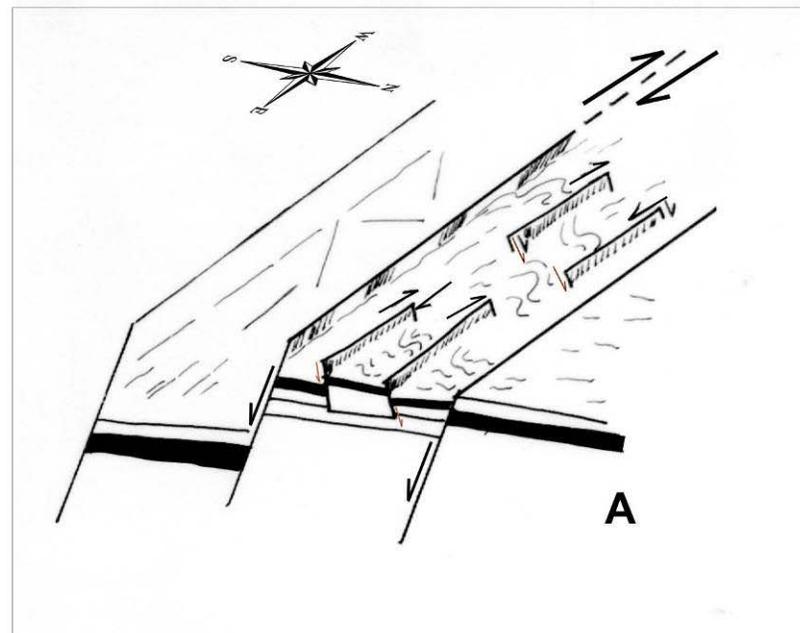
No bloco norte o acamamento apresenta um comportamento heterogêneo na sua atitude. A deformação é mais expressiva nessa região, estando o nível de minério deformado por outro conjunto de feições identificado na mina. Essas feições são resultantes de um segundo evento

registrado na região caracterizado por uma fase compressiva que gera uma série de dobras, falhas inversas NW-SE e zonas de falhas sub-verticais com direções WNW-SES (**Fig 53**).

Além da cinemática vertical, as falhas apresentam deslocamento conjugado dextral dando a essas feições um caráter oblíquo. Essa região pode ser definida como um corredor de deformação (**ANEXO 02**).

**Primeiro evento:  
Transtensão Destral (2.6Ga a 2.0-1.8 Ga)**

Geração de sets de falhas normais NW-SW e/ou E-W com movimentação destral associada a dobras de arrastos.



**Segundo evento:  
Traspressão sinistral (2.6Ga a 1.9 Ga)**

Geração de dobras regionais com vergência para SW. Reativação de estruturas pré-existentes e inversão resultando em zonas de falhas normais sub-verticais, falhas de cavalgamentos associadas a dobras de arrastos e dobras individuais do tipo reclinada ou com padrão *en echelon*.

**Figura 53:** Figura resumando a história da cinemática para a região em que a Mina do Igarapé Azul esta inserida. (ver texto para detalhes).

O corredor observado no bloco norte, de acordo com os domínios principais separados pelas falhas normais anteriormente descritas, possui orientação NW-SE, com aproximadamente um quilometro de extensão, sendo caracterizado por dobras assimétricas curvilineares com eixos ondulantes ora para o quadrante NW- SE ora para SSW-NNE de mergulhos com ângulos baixos (10° a 25°) e vergência para SW. Essas dobras são seccionadas por falhas normais sinuosas NW-SE e/ou E-W, com baixo ângulo de mergulho (em torno de 10° a 30°), subordinada a transcorrências destrais gerando em escala de detalhes feições como dobras de arrasto (*drag folds*). Observam-se ainda falhas inversas retas e/ou sinuosas NW-SE com dobras de arrasto associado a seus planos e zonas de falhas sub-verticais WNW-ESE com movimentação normal e/ou de cavalgamento (**ANEXO 02**).

As dobras individuais nesta área são estruturas do tipo reversas, flexurais e com geometria *en echelon* com orientação semelhante às dobras curvilineares: eixos com ângulos baixos com caimento para SE e vergência para SW.

Esse conjunto de feições descritas anteriormente, em escala quilométrica, desenha um antiforme suave, provavelmente resultante da acomodação do acamamento em resposta a deformação dessas falhas conforme ilustrado na figura (**Fig 54**).

A comparação dos *trends* dos lineamentos observados em campo com os lineamentos retirados da imagem de satélite (**Fig 24**) mostra um paralelismo dessas feições (falhas normais com componente direcional dextral, falhas inversas, zonas de falhas normais sub-verticais, eixos das dobras, etc.) com o principal *trend* de lineamentos NW-SE e/ou E-W correspondentes a Falha Carajás (**Conjunto de lineamentos I e III**, respectivamente) e ao *trend* N-S (**Conjunto de lineamentos II**).

Os conjuntos de fraturas identificadas na área podem estar relacionados com o *trend* de lineamentos dos **conjuntos II, III e IV (Fig 24)**.

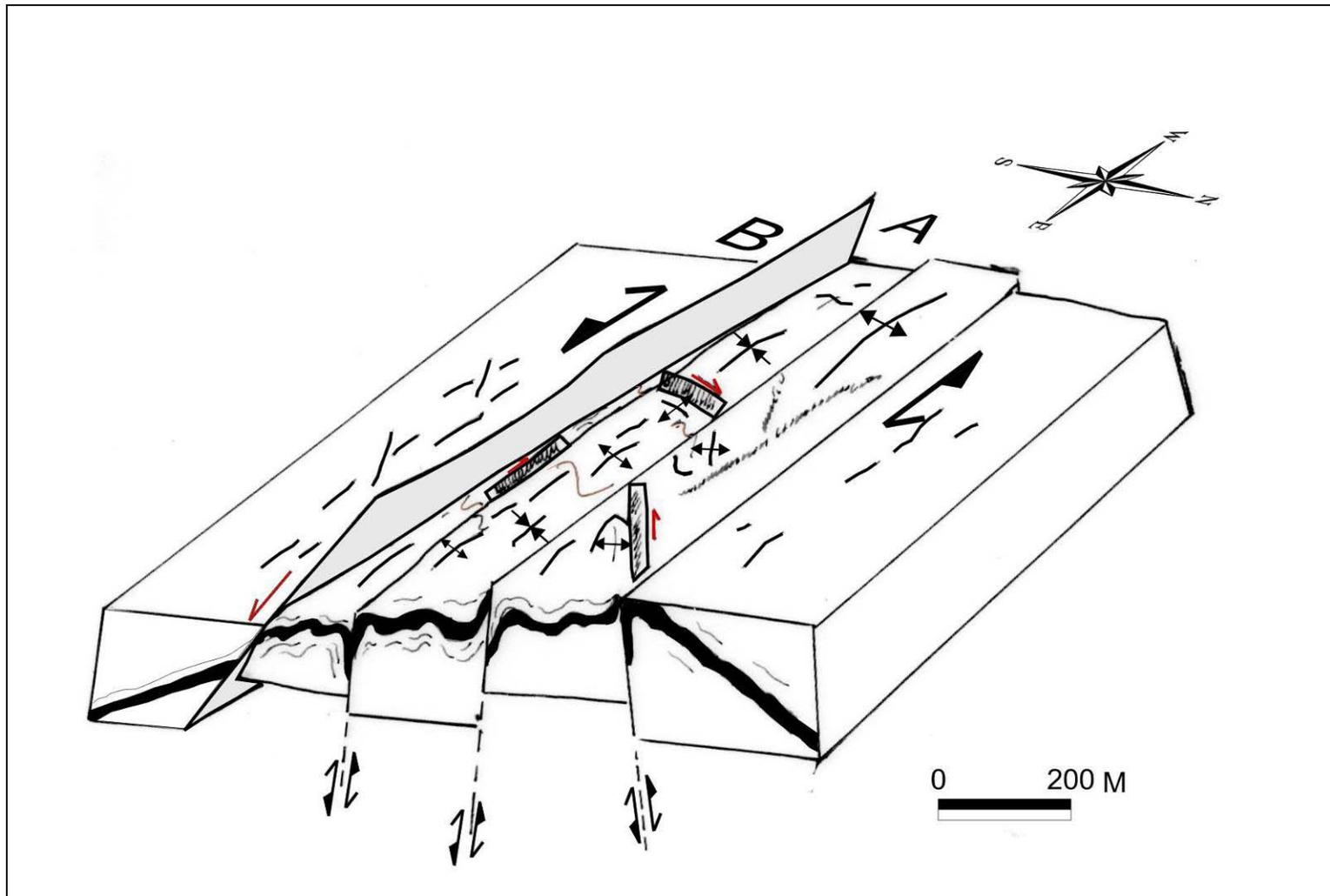
O paralelismo entre feições observadas na área da Mina do Igarapé Azul e os lineamentos maiores que desenham a Falha Carajás em planta, sugere uma relação com dois importantes episódios deformacionais ocorridos durante a história tectônica da Falha Carajás.

A falha normal associada a uma componente direcional dextral, estaria relacionada ao episódio de transtensão dextral responsável pela instalação da Falha Carajás anteriormente a 2.6 Ga (Pinheiro, 1997). As dobras, as falhas de cavalgamento e as zonas de falhas sub-verticais

estariam relacionados a deformações transpressivas sinistrais com transporte tectônico regional de NE para SW (possivelmente convergência NE), responsável pela reativação e inversão da maioria das estruturas próximas à zona da Falha Carajás (Pinheiro, 1997; Pinheiro & Holdsworth, 2000; Lima, 2002).

Esse segundo evento de transpressão sinistral afetou zonas estreitas próximas aos planos das falhas principais na área da mina gerando: (1) inversão de algumas falhas normais (2) dobras flexurais de arrastos (3) aumento do ângulo de mergulho dos planos de falhas normais e (4) dobras assimétricas curvilineares resultante do encurtamento NE - SW.

A exceção desse quadro tectônico anteriormente descrito está o conjunto de falhas e fraturas N-S e NE-SW identificados na região, que podem estar relacionados a um evento extensional mais jovem, afetando praticamente todo o Cráton Amazônico, datado do Mesoproterozóico (Costa & Hasui, 1991).



**Figura 54 :** Bloco diagrama representando a geometria das estruturas na Mina do Igarapé Azul. A falha principal com cinemática normal NW-SE divide a área da mina em dois blocos, um baixo a sul e um alto a norte. A região do bloco norte pode ser individualizada como um corredor de deformação caracterizado por dobras curvilíneas e dobras individuais de arrastos e reclinadas, falhas normais e de cavalgamento e zonas de falhas normais sub-verticais (ver texto para detalhes).

## Capítulo 06

---

### 6 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as principais conclusões obtidas a partir do estudo realizado na área da Mina de Manganês do Azul:

- a) A análise das seções geológicas feitas ao longo de afloramentos nas frentes de lavra mostra que os tipos de rocha predominantes são siltitos intercalados com argilitos em contato com rochas pelíticas manganesíferas e camadas de minério (Bióxido de Mn). Essas rochas apresentam como principais estruturas primárias estratificação cruzada do tipo *hummocky* e laminação plano-paralela destacando-se o acamamento variando de centimétricos a métricos (em média 30 a 50 cm). As feições primárias (p.ex. estratificação cruzada do tipo *hummocky*) preservadas nas rochas da Mina do Igarapé Azul são indicativas de depósitos marinhos com influencia de tempestade e sugerem uma correlação com o membro inferior da Formação Águas Claras descrito por Nogueira (1995).
- b) As rochas da Mina do Igarapé do Azul desenham dobras curvilíneas assimétricas com flancos com mergulho suave ( $10^{\circ}$  a  $20^{\circ}$ ) e outro com mergulho alto (em torno de  $65^{\circ}$ ). As dobras individuais identificadas são: (1) dobras de arrasto (*drag fold*) centimétricas a métricas, desenhadas nas camadas de silito. Possuem eixos com caimento moderados ( $30^{\circ}$  a  $50^{\circ}$ ) para SE e secundariamente para SW; e (2) dobras reclinadas métricas com eixo caindo com ângulos baixos de  $10^{\circ}$  para SE. Também são observadas dobras *en echelon* desenhada pela camada de minério (Bióxido) métricos e eixos com ângulos baixos entre  $4^{\circ}$  a  $10^{\circ}$  para SE.
- c) As vergências das dobras curvilíneas assimétricas presentes em toda a área da Mina do Igarapé do Azul indicam transporte tectônico para SW.

- d) As falhas observadas podem ser divididas em três tipos: (1) *falhas normais sinuosas*, com de *flats* e rampas, com direção geral NW-SE e/ou E-W, com ângulos de mergulhos de ângulo baixo para S e secundariamente para SW, associadas à *dobras de arrasto* onde observa-se uma segunda componente de movimentação do tipo direcional com sentido dextral e localmente sinistral; (2) *falhas* com movimentos normais que aparecem como *zonas sub-verticais*, formando faixas estreitas, retas ou sinuosas, com direções E-W e WNW-SES com mergulhos altos; e (3) *falhas de cavalgamento* com direções NW-SE e N-S associadas com *dobras flexurais* em seus tetos.
- e) As *fraturas* aparecem cortando todas as rochas da Mina do Igarapé Azul, e se dividem em dois grupos quanto ao tipo, orientação e geometria: (1) *de tensão* relacionada à compartimentação interna das dobras, com planos sinuosos associados, geometricamente às falhas normais anteriormente descritas, com direções NW-SE e W-E; e (2) *cisalhante* com planos retos que se apresentam com direções de SW-NE, SE-NW e N-S. Geralmente as fraturas com direção NW-SE e N-S ocorrem em conjuntos formando zonas de fraturadas com poucos metros de largura.
- f) Os eixos  $\pi$  resultantes dos pólos dos planos de acamamento investigados nas diferentes escalas em toda a área da mina, mostram caimentos para SE ou para SW indicando um paralelismo dessas linhas com a direção dominante das falhas NW-SE e/ou E-W. A exceção poucos eixos, de dobras de arrasto que apresentam caimento para SW indicando que essas linhas podem estar associadas às falhas SW-NE identificadas na área.
- g) A Mina do Igarapé Azul pode ser dividida em dois blocos principais separados por um feixe de falha normal NW-SE e/ou E-W, um alto a norte (teto) e um baixo a sul (piso), com rejeito de até dezenas de metros.
- h) O bloco sul encontra-se relativamente menos deformado, apresentado regularidade no acamamento que possui direção E-W e mergulha com ângulos suaves para sul, colocando a camada de minério consecutivamente em níveis relativos mais profundos no sentido S.

- i) No bloco norte a deformação é mais expressiva, afetando tanto o acamamento como o minério gerando um conjunto de feições identificado na mina tais como *dobras, falhas inversas* NW-SE e *zonas de falha sub-verticais* com direção WNW-SES. Essa região foi identificada como um corredor de deformação.
- j) No bloco norte, a faixa mais deformada, de acordo com os domínios principais separados pelas falhas normais anteriormente descritas, possui orientação NW-SE, e aproximadamente em um quilometro de extensão, observam-se dobras assimétricas curvilineares seccionadas por falhas normais sinuosas NW-SE e/ou E-W subordinada à transcorrências destrais gerando em escala de detalhes feições como dobras de arrasto (*drag folds*). Observam-se ainda falhas inversas retas e/ou sinuosas NW-SE com dobras de arrasto associadas a seus planos e zonas de falhas sub-verticais WNW-ESE com movimentação normal e/ou de cavalgamento.
- k) O conjunto de feições descritas anteriormente, em escala quilométrica, desenha a geometria de um extenso antifforme com flancos abertos, provavelmente resultante da acomodação do acamamento em resposta a deformação dessas falhas.
- l) As feições observadas na Mina do Igarapé Azul mostram paralelismo com o lineamento regional mais expressivo na região que corresponde à Falha Carajás, indicando relação com dois importantes episódios deformacionais ocorridos durante a história tectônica dessa feição maior.
- m) A falha normal associada com uma componente direcional destal, de maior expressão na área da mina, estaria relacionada ao episódio de transtensão destal responsável pela instalação da Falha Carajás, anteriormente a 2.6 Ga (Pinheiro, 1997). As dobras, as falhas de cavalgamento e as zonas de falhas sub-verticais estariam relacionadas a deformações sob regime de transpressão sinistral, um segundo evento atuante na região responsável pela reativação e inversão da maioria das estruturas próximas à zona da Falha Carajás (Pinheiro, 1997; Pinheiro & Holdsworth, 2000; Lima, 2002).

- n) A existência de outros corredores não foi definida, devido os trabalhos de campo tem sido restritos na área da mina. Contudo pode-se inferir que a sul da mina a camada de minério possa estar em níveis mais profundos, até encontrar a faces fluvial do membro superior da Formação Águas Claras exposto no bloco sul da Falha Carajás. Para norte existe a possibilidade de um segundo corredor de deformação, que passa na Mina 03, fora dos limites da zona em que passa o corredor identificado nas Minas 1 e 2.
- o) A deformação das rochas da Formação Águas Claras, observadas na Mina do Igarapé Azul relaciona-se a dois momentos distintos da Falha Carajás, tendo gerado individualmente falhas normais com eventuais *drag fold*, posteriormente reativadas, seletivamente, com falhas inversas ou de cavalgamento desenvolvendo dobras de arrastos e dobras no teto.
- p) Acredita-se que outros pacotes de minério de manganês possam ser encontrados na região, em associação com áreas de afloramentos de rochas de mesma fácies da Formação Águas Claras daquelas encontradas na Mina do Manganês do Azul. A presença da deformação parece ter sido favorável à prospecção, considerando sua característica de duplicar e até mesmo triplicar a espessura do minério, ou mesmo facilitar sua exploração por repetição tectônica.

## REFERÊNCIAS

---

AB'SABER, A. N. 1986. Geomorfologia da região. In: ALMEIDA, J. M. G. (Org.). **Carajás: desafio político, ecologia, desenvolvimento**. [S.l.], Ed. Brasiliense. Cap. 5, p. 88-124.

ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; NEVES, B.B. de B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: na introducion. **Earth- Sciences Reviews**. (17): 1-29.

ALMEIDA, F. F; MELCHER, R. C.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; VANDOROS.1968. Radiometric age determinations from Northern Brazil. **Bol. São Paulo, SBG.**, 17(1): p 3-14.

ALMEIDA, R.C.C. 1980. **Contribuição à petrologia do Granito Central da Serra dos Carajás**. Belém, Universidade Federal do Pará. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas , 84p (Dissertação de Mestrado).

ALTHOFF, F.J. 1996. **Etude pétrologique et structurale de granitoids de Marajoara (Pará, Brésil): enu role dans l'évolution archeénne du craton amazonian (2.7 – 3.2 Ga)**. Nanci, França. Université Henri Poincaré. 296 p. (Tese de Doutorado).

ALTHOFF, F.J., BARBEY, P.; BOULLIER, A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). **Precambrian Research**, 104: p187-206.

ANDERSON, W. L.; DYER, R. C.; TORRES, D. D. 1974. Ocorrências de manganês na bacia do rio Itacaiúnas, centro-leste do estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 28., Porto Alegre, 1974. **Anais...** Porto Alegre, SBG. p 149-164.

ARAÚJO, O.J.B. de & MAIA, R.G.N., 1991. Projeto especial mapas de recursos minerais, de solos e de vegetação para a área do Projeto Grande Carajás; sub-projeto Recursos Minerais; **Folha SB.22-Z-A Serra dos Carajás - Estado do Pará**, DNPM/CPRM; Brasília, 136pp.

ARAÚJO, O.J.B. de; MAIA, R.G.N.; JORGE JOÃO, X. da S; COSTA, J.B.S.1988. A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7. Belém. **Anais...** SBG-NO, v.1, p. 324-338.

AVELAR, V.G.; LAFON, J.M.; CORREIA, Jr. F.C.; MACAMBIRA, E.M.B., 1999. O magmatismo arqueano da região de Tucumã, Província Mineral de Carajás, Amazônia Oriental, Brasil: novos dados geocronológicos. **Revista Brasileira de Geociências**, (29):453-460.

BARBOSA, O.; RAMOS, J.R.de A.; GOMES, F. de A.; HELMBOLD, R. 1966. **Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do "Projeto Araguaia"**. Rio de Janeiro. Monografia da DGM. 94p.

BARROS, C. E. M, 1997. **Pétrologie et structure du Complexe Granitique Estrela (2.5 Ga) et de son encaissant métavolcano-sédimentaire (Province Métallifère de Carajás, Brésil)**. 316 p. (Tese de Doutorado).

BARROS, C. E. M. & BARBEY, P. 1998. A importância da granitogênese Tardi-arqueana na evolução tectono-metamórfica da província Mineral de Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**. (28): 513-522.

BARROS, C. E. M & BARBEY, P. 2000. Significance of garnet-bearing metamorphic rocks in the Archean supracrustal series of the Carajás mining province, north Brazil. **Revista Brasileira de geociências**, **30** (3):367-370.

BARROS, C.E. de M.; DALL'AGNOL, R.; VIEIRA, E. A. P. & MAGALHÃES, M.S. 1995. Granito Serra dos Carajás: avaliação do potencial metalogenético para estanho com base em estudos da borda oeste do corpo. **Boletim do Museu Emílio Goeldi**, sér. Ciências da Terra, 7: p 93-123.

BARROS, C. E. M.; MACAMBIRA, M.J.B.; BARBEY, P. 2001. Idade do zircão do Complexo Granítico Estrela: relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na Província Mineral de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., Belém, 2001. SBG-NO, **CD-ROM**.

BEISIEGEL, V. DE R.; BERNADELLI, 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.

BERNADELLI, A.L., BEISIEGEL, V.de R., 1978. Geologia econômica da jazida de manganês do Azul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife, 1978. **Anais...SBG** (4): 1431-1444.

BERNADELLI, A.L., 1982. Jazida de manganês do Azul. In: I SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, Belém, 1982. p 47- 59.

CAPUTO, M.V. & LIMA, E.C., 1984. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande - Bacia do Parnaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro. **Anais...SBG**. (8). p. 740-753.

CHAVEZ, Jr. P. et al. 1982. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. **Journal of Applied Photographic Engineering**, v.8, p.23-30.

COSTA, J.B.S.; ARAÚJO, O.J.B. de; JORGE JOÃO, X. da S.; MAIA, R.G.N.N.; MACAMBIRA, E.M.B.; VALE, A.G.; SANTOS, A. dos; PENA FILHO, J.I.de C.;NEVES, A.P., 1994. Panorama tectono-estrutural da região sudeste do Estado do Pará. In: IV SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, **Boletim de Resumos Expandidos**, Belém, p 314-317.

COSTA, J.B.S.; ARAÚJO, O.J.B. de; SANTOS, A. dos; JORGE JOÃO, X. da S.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M., 1995. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra, 7, p199-235.

COSTA J.B.S. & HASUI, Y., 1991. O quadro geral da evolução tectônica da Amazônia. In: 3º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. **Boletim...** Rio Claro, p 142-145.

COSTA, J.B.S.; HASUI, Y.; BEMERGUY, R.L.; BORGES, M. da S.; COSTA, A.R.;TRAVASSOS, W.; MIOTO, J.A. e IGREJA, H.L.S. da, 1993. Aspectos fundamentais da

neotectônica na Amazônia Brasileira. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO QUATERNÁRIO DA AMAZÔNIA, Manaus. **Resumos e Contribuições Científicas**. p. 103-106.

CUNHA, B.C.C. da; POTIGUAR, L.A.T.; IANHEZ, A.C.; BEZERRA, P.E.L.; PITTHAN, J.H.L.; SOUZA Jr., J.J. de; MONTALVÃO, R.M.G. de; SOUSA, A.M.S. de; HILDRED, P.R., TASSINARI, C.C.G., 1981. Projeto RADAMBRASIL; **Folha SC.22 Tocantins**: geologia, geomorfologia, solos e uso potencial da terra, Levantamento de Recursos Naturais (2), Rio de Janeiro, 196p.

CUNHA, B.C.C. da; SANTOS, D.B. dos, PRADO, P., 1984. Contribuição ao estudo da estratigrafia da região dos Gradaús com ênfase no Grupo Rio Fresco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. Rio de Janeiro, 1984. **Anais...**(2) 873-885.

CVRD 1986. Carajás- Manganês do Azul. **CVRD revista**, Vol 7 (24), 17p.

DALL'AGNOL, R., 1982 . Os granitos anorogênicos da Amazônia brasileira. Suas analogia com os "younger granitos" do oeste da África. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA,5., Buenos Aires. (2):113-131.

DALL'AGNOL, R.; MAGALHÃES, M. S.; MACAMBIRA, M. J. B., 1997. Archean granitoids as magmas sources for the anorogenic paleoproteroeic Jamon and Musa granites (eastern Amazonian craton): new constraints based on geochemical and Sm-Nd isotopic data. In: SOUTH AMER. SYMP. ISTO. GEOL. Campos do Jordão, 1997. **Extended abstracts**.

DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z. S.; ALTHOFF, F. J.; MACAMBIRA, M. J. B.; LEITE, A. A. S.1996. Geology and geochemistry of the Archean Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, Carajás province, Amazonian craton. In: SYMP. ARCHEAN TERR. SOUTH AMER. PLATAFORM. Brasília, 1996, **Extended abstracts**, Brasília, SBG, p. 29-30.

DALL'AGNOL, R.; VIERA, E.A. de P.; SÁ, C.E.S.; MEDEIROS, H. de ; GASTAL, M.do C.P. e TEIXEIRA, N.P., 1986. Estado atual do conhecimento sobre as rochas granitóides da porção sul da Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Geociências**, 16 (1): 11-23.

DARDENE M.A. & SCHOBENHAUS C. 2001. **Metalogênese do Brasil**. Brasília. Universidades de Brasília. 392p.

DIAS, G.S.; MACAMBIRA, M.J.B.; DALL'AGNOL, R.; SOARES, A.D.V., BARROS, C.E. de, 1996a. Datação de zircões de sill de metagabro: comprovação da idade arqueana da Formação Águas Claras, Carajás - Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA,5. Belém, 1996., **Boletim de Resumos Expandidos**, SBG-NO, p 376-379.

DOCEGEO, 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,35. Belém, 1988. **Anexo**, p 10-54.

DOMINGOS, F.H.G. 2004. **Geometria, cinemática e história tectônica das rochas da serra Norte, Carajás-PA**. Belém, Universidade Federal do Pará, 132p.(Dissertação de Mestrado).

GASTAL, M. C. J.; MACAMBIRA, M. J. B.; MEDEIROS, M.; DALL' AGNOL, R., 1987. Idades e geoquímica isotópica Rb-Sr do Granito Musa e do Granodiorito Rio Maria. Amazônia Oriental. **Geoch. Brasiliensis**, 1(2): 247-259.

GLEN, R. A; HANCOCK, P.L.; WHITTAKER, A. 2005. Inversion by distributed deformation: The southern margin of the Bristol Channel Basin, England. **Journal of Structural Geology**. 27 (12):2113-2134.

GOODWIN, L.B. & WILLIAMS, P.F. 1996. Deformation partitioning within a transpressive shear zone, Marble Cove, Newfoundland. **Journal of Structural Geology**, 18 (8): 975-990.

GOUVÊA, J.L., 1990. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas em pesquisas geológicas na Amazônia (Região de Carajás)**. Belém, Universidade Federal do Pará, 93p. (Dissertação de Mestrado).

HATCHER, R.D.Jr. 1995. **Structural geology: principles, concepts, and problems**. 2ª ed. Nova Jérsei, Prentice-Hall. 525 p.

HIRATA, W.K.; RIGON, J.C.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E. de M., 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém, p.100-108.

HOBBS, B.E.; MEANS, W.D.; WILLIAMS, P.F. 1976. **An outline of structural geology**. Nova York, John Wiley & Sons. 571 p.

HOLDSWORTH, R.E.; HAND, M.; BUICK, I.S. 2001. Continental reactivation and reworking: na introduction. In: MILLER J.A.; HOLDSWORTH, E.E.; BUICK, I.S.; HAND, M. (eds). **Continental reactivation and reworking**. Londres, geological Society. V 184, p 1-12.

HUHN, S.R.B.; MACAMBIRA, M.J.B.; DALL'AGNOL, R., 1999. Geologia e geocronologia Pb-Pb do granito alcalino arqueano Planalto, região da Serra do Rabo, Carajás, PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5, Manaus. **Boletim de Resumos Expandidos**, SBG, p. 463-466.

KNUP, P.E. 1971. Reconhecimento Geológico na região dos rios Itacaiúnas e Tocantins, estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., S. Paulo. **Anais...SBG**. p 61-62

KRYMSKY, R. Sh.; MACAMBIRA, M.J.B.; MACAMBIRA, J.B. 2002. Geocronologia U-Pb em zircão de rocha vulcânica da Formação Carajás, Estado do Pará. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2, Belém, **Anais....**, SBG-NO. 41p.

LEITE, A. A. da S. 2001. **Geoquímica, petrogenese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico**. Belém, Universidade Federal do Pará. 330 p. (Tese de Doutorado).

LEITE, A. da S. & DALL'AGNOL, R., 1994. Estratigrafia e aspectos geológicos da região de ocorrência do Granito Xinguara (SE do Pará). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4. Belém, 1994. **Boletim de resumos expandidos**, p 325-327.

LIMA, F.D. 2002. **Evolução tectônica da terminação leste da Falha Carajás, sul do Estado do Pará**. Belém. Universidade Federal do Pará.. 96p. (Dissertação de Mestrado).

LIMA, F.D. & PINHEIRO, R.V.L. 1998. Geometria e cinemática da terminação leste da Falha Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40. Belo Horizonte. **Anais...SBG**, p 406.

LINDENMAYER, Z. G., 1981. **Aspectos geológicos da Província Mineral de Carajás**, Rio de Janeiro, 1981. DOCEGEO, 12 p.

LINDENMAYER, Z.G. & FYFE, W. S.; 1992. Comparação preliminar entre os metabasaltos dos grupos Parauapebas e Salobo da Bacia de Carajás. Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. **Boletim de resumos expandidos SBG**, v 2, p33-34.

LINDENMAYER, Z.G., 1990. **Salobo Sequence, Carajás, Brazil: geology, geochemistry and metamorphism. Canadá**. University of Western Ontário. 407p. (Tese de Doutorado).

MACAMBIRA, M.J.B. & LAFON, J.M. 1994. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; síntese dos dados e novos desafios. IV SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA. Belém, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**, p 339-342.

MACAMBIRA, M.J.B. & LANCELOT, J., 1992. Idade U-Pb em zircões de metavulcânica do Greenstone do Supergrupo Andorinhas; Delimitante da estratigrafia arqueana de Carajás, Estado do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37. São Paulo, 1992. **Boletim de Resumos Expandidos**, (2) p188.

MACAMBIRA, M. J. B.; LIMA, L. M.; Roberto Vizeu L. PINHEIRO, R. V. L.; LIMA, F. D., 2001. Idades de Cristais Detríticos de Zircão da Serra dos Carajás, Pará; Evidências sobre a Formação da Crosta. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA, 7. Belém, 2001. **Boletim de Resumos Expandidos. Anais... SBG**. p. 72-75.

MACAMBIRA, M.J.B.; RAMOS, J.F. da F.; ASSIS, J.F.P., FIGUEIRAS, A.J.M., 1990. Mapeamento geológico. **Projeto Serra Norte/Projeto Pojuca**. Belém, 1990. SEPLAN/DOCEGEO/UFPa e DNPM/DOCEGEO/UFPa, 150p.

MACHADO, W.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T.E., LINDENMAYER, D., 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. **Precambrian Research**, (49): 329-354.

MARÇAL, M. dos S., 1991. **Aspectos lito-estruturais das minas de Ferro N4E e Manganês do Azul, Serra dos Carajás (PA)**. Belém. Universidade Federal do Pará. 35p. (Dissertação de Mestrado).

MARTINS, L.P.B. et. al. 1982. Aspectos Petrográficos das principais litologias das sequência Salobo . In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém, 1982. p. 253-262.

MAURITY, C.W., KOTSCHOUBEY, B. 1995. Evolução recente da cobertura de alteração no platô N1-Serra dos Carajás-PA: degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, 7: p 331-362.

McCLAY, K., 1987. **The Mapping of Geological Structures**. Geological Society of London Handbook, Handbook Series (ed. Cox, K.), John Wiley & Sons, Chichester,161p.

MOREIRA, M.A. 2003. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação**. Viçosa: UFV. 2, ed. 307p.

NOGUEIRA, A.C.R., 1995. **Análise Faciológica e Aspectos Estruturais da Formação Águas Claras, Região Central da Serra dos Carajás - Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará, 167p.

NOGUEIRA, A.C.R.; TRUCKENBRODT, W.; COSTA, J.B.S. e PINHEIRO, R.V.L., 1994. Análise faciológica e estrutural da Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4. Belém, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**, p 363-364.

NOGUEIRA, A.C.R.; TRUCKENBRODT, W; PINHEIRO, R.V.L., 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás. Redescrição e redefinição. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra, 7: 177-197.

PARADELLA W.R., SILVA M.F.F., ROSA N.A., KUSHIGBOR C.A. 1994. A geobotanical approach to the tropical rain forest environment of and spaceborne (RADARSAT-1) SAR integrated product in the Carajás Mineral Province (Amazon region, Brazil), based on digital TM-Landsat and DEM data. **Intern. J. Remote Sensing**, (15): 1633-1648.

PASSCHIER, C.W.; MYERS, J.S.; KRÖNER, A., 1990. **Field Geology of High-Grade Gneiss Terrains**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 188p.

PIMENTEL, M.M. & MACHADO, N., 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. Balneário de Camboriú, 1994. **Anais...** p 390-391.

PINHEIRO, R.V.L., 1997. **Reactivation history of the Carajás and Cinzento Strike-Slip Systems, Amazon, Brazil**. Durham. University of Durham. 408p. (Tese de Doutorado).

PINHEIRO, R.V.L. & HOLDSWORTH, R.E., 1995. Significado tectônico da clivagem transversa (transecting cleavage) em dobras na Mina de Serra Pelada, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra, 7, p. 259-278.

PINHEIRO, R.V.L. & HOLDSWORTH, R.E., 1997. Reactivation of Archaean strike-slip fault systems, Amazon region, Brazil. **Journal of the Geological Society**, London, (154): 99-103.

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. In: **Revista Brasileira de Geociências**, 30 (4): 597-606.

PUTY, C.O.F.; MARTINS, R.C.; MONTALVÃO, R.M.G.; JORGE JOÃO, X.S.; CARREIRA, J.M.; SILVA, G.H.; NEVES, A.P. GILFFONI, L.E.; LOURENÇO, R.S.; FRIZZO, S.J., 1972. Projeto Marabá. DNPM/CPRM, Belém, 1, p.124.

RAMOS, J. R., 1967. Estratigrafia da região do Xingu-Tocantins. Simpósio sobre a biota amazônica. Atas. Belém, 1966. Rio de Janeiro, CNPq, 1: p 373-388.

REZENDE, N.P. de BARBOSA, A. L. de M., 1972. Relatório de pesquisa de minério de ferro, distrito ferrífero da Serra dos Carajás – Estado do Pará. Belém, 1972. In: **Relatório Final de Pesquisa**, 30p.

SANDERSON, D.J. & MARCHINI, W.R.D., 1984. Transpression. **Journal of Structural Geology**, 6(5): 444-458.

SILVA, G.G.; LIMA, M.J.C.; ANDRADE, A.R.F.; ISSLER, R.S., GUIMARÃES, G., 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte SC-22 Tocantins. In: BRASIL. Departamento Regional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SB-22 Araguaia e parte SC-22 Tocantins**: geologia, geomorfologia, solos e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1974 (Levantamento de Recursos Naturais, 4). 143p.

SILVA M.F.F., MENEZES N.L., CAVALCANTE P.B., JOLY, C.A. 1986. Estudos botânicos: histórico, atualidade e perspectivas. In: **Carajás: Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento**, Cap. 8, CNPq, Editora Brasiliense, José M. G. de Almeida (org.), p185-207.

SOUZA, Z.S. de; MEDEIROS, H.; ALTHOFF, F.J.; DALL'AGNOL, R., 1990. Geologia do Terreno “Granito-Greenstone” da região de Rio Maria, sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA , 36., Natal, **Anais...SBG**, (6) :2913-2928.

TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; SIGA Jr.,O.; KAWASHITA, K.; CORDANI, U.G., 1987. Geological Evolution and evaluation of recent geochronological data in Amazonian Craton. Final **Meeting of the Working Group-Project 204**, IUGS-UNESCO, Extended Abstracts, p 20-31.

TEYSSIER, C.; TIKOFF, B. MARKLEY, M., 1995. **Oblique plate motion and continental tectonics**. *Geology*, 23 (5), 447-450

TIKOFF, B. & TEYSSIER, C., 1994. Strain modelling of displacement-field partitioning in transpressional orogens. **Journal of Structural Geology**, 16 (11):1575-1588.

TWISS, R.J. & MOORE, E.M., 1992. **Structural Geology**. Freeman & Company, New York, 532p.

VALARELLI, J.V.; BERNARDELI, A., BEISIEGEL, W.R., 1978. Aspectos genéticos do Minério de manganês do Azul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife, **Anais...**(4):1670-79.

VENEZIANE, A.R.S., PARADELA, W.R., e SANTOS, R. A. 2004. A Evolução Tectono-Estratigráfica da Província Mineral de Carajás: Um modelo com base em dados de sensores remotos orbitais (Sar-C Radarsat-1, Tm Landsat-5), aerogeofísica e dados de campo. **Revista Brasileira de Geociências**, **34** (1):67-78.

VENEZIANI, P. & DOS ANJOS, C.E., 1982. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicação em geologia. São José dos Campos. **INPE-2227-MD/014**, 14p.

VILLAS, R.N.N & SANTOS, M.D. 2001. **Gold deposits of Carajás Mineral Province: deposits types and metallogenesis**. *Minerallium Deposita*. (36): 300-331.

VILLAS, R. N.; TORO, M. A. Galarza 2001. As Brechas Hidrotermais do Depósito Igarapé Bahia, Carajás: Dados Geoquímicos e de Isótopos Estáveis de Carbono e Enxofre. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA, 7., Belém, SBG-NO. **CD-ROM**.

WIRTH, K.R.; GIBBS, A.K., OLSZEWSKI Jr., 1986. U-Pb ages of zircons from the Grão-Pará Group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, **16** (2):195-200.