



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA - CCMN  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IGEO  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**Estilos tectônicos superpostos na Formação  
Serra Pelada, Província Mineral de Carajás**

**Renan Monteiro de Barros Cavalcanti**

Apoio:



*Rio de Janeiro, novembro / 2010*



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza  
Instituto de Geociências  
Departamento de Geologia

**Estilos tectônicos superpostos na formação Serra Pelada,  
Província Mineral de Carajás**

Cavalcanti, R.M.B.

**Trabalho de conclusão de curso de Graduação**

**Orientadores:**

Felipe Mattos Tavares  
Rudolph Allard Johannes Trouw

*Rio de Janeiro, novembro / 2010*

# **ESTILOS TECTÔNICOS SUPERPOSTOS NA FORMAÇÃO SERRA PELADA**

RENAN MONTEIRO DE BARROS CAVALCANTI

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO REQUISITO OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA “TRABALHO FINAL DE CURSO” (IGLU08/RUD).

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOLOGIA REGIONAL E ECONÔMICA

ORIENTADORES: MSC. FELIPE MATTOS TAVARES  
PROF. DR. RUDOLPH ALLARD JOHANNES TROUW

APROVADA POR:

---

Prof. Dr. Rudolph A. J. Trouw

---

Prof. Dr. Renata Silva Schmitt

---

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane

RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL  
NOVEMBRO DE 2010

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar aos meus pais (Fernando Alves Cavalcanti e Ana Maria Monteiro de Barros Cavalcanti) por todo o amor. Por todos os anos investidos pacientemente e integralmente pela formação do meu caráter, além de ensinar-me, que o verdadeiro “caminho das pedras” é somente através do conhecimento e do trabalho.

A minha companheira, amiga e mulher, por ter sido tão paciente e carinhosa comigo. Por suportar amorosamente todos os meus anseios e alegrias destes tempos mais árduos.

Ao amigo sincero, orientador dedicado, Felipe Mattos Tavares, por ter me proporcionado a honra e o prazer deste trabalho, um dos grandes mentores responsáveis por me tornar um geólogo aprendiz.

Ao Grão Mestre Joel Gomes Valença por todo o conhecimento e sabedoria transmitida incansavelmente. A benção Joel G. Valença!!

Aos camaradas fiéis, parceiros da vida e de várias aventuras geológicas: Ovídio Gonçalves Júnior, Hugo H. Kussama (Colômbia), Marcos Vinícius Monteiro Carvalho (Bombeiro), Marcos Vinícius F. Fontainha (Kengo), André P. Negrão (Seninha), Lucas Balsini Garcindo, Ancelmo Pedrassi, Paulo Roberto (Betão), Alexandre Oliveira (Camarão), Hugo Polo, Leandro Bravo, Rodrigo (Digão), Wander Araújo (Abacaxi), Renan Ramos (Barba), Pedro Felipe M., Fernando David (aliado de várias batalhas), Bruno Calil (Brunão) entre tantos outros.

A todos os amigos não geólogos que suportaram as minhas inúmeras ausências, em diversos momentos ímpares.

Ao Diretório Acadêmico Joel Gomes Valença (D.A), por ter sido palco de inúmeros e incríveis momentos, e por todos que ali estiveram e contribuíram e contribuem para a manutenção do diretório.

## RESUMO

Cavalcanti, R.M.B. **Estilos tectônicos superpostos na Formação Serra Pelada, Província Mineral de Carajás.** *Trabalho de Conclusão de Curso* – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Formação Serra Pelada é uma unidade neoarqueana inserida na porção norte da Província Mineral de Carajás, pertencente ao Domínio Carajás. Localizada a sudeste do estado do Pará, constitui uma seqüência de rochas metassedimentares da região homônima formada essencialmente de metarenitos e metassiltitos discordantes das rochas metavulcanosedimentares do grupo Rio Novo. As observações de campo permitiram o agrupamento das estruturas em quatro famílias, sendo uma primária, associada à sedimentação, duas de caráter dúctil (D1 e D2) e uma terceira de caráter rúptil-dúctil (DR). A primeira fase dúctil (D1) foi responsável pela geração do sinclinal recumbente de Serra Pelada e suas dobras parasíticas, além da foliação tectono-metamórfica principal, com orientação média 177/20. A foliação S1, por diferenças reológicas, se desenvolveu como uma clivagem espaçada nos níveis mais arenosos e, nos níveis mais silto-argilosos, como uma clivagem ardosiana. Intercrescidos nestes planos ocorrem minerais micáceos de fácies sub-xisto verde. As dobras D1 possuem planos axiais paralelos a S1 e eixos caindo aproximadamente 8 graus para SW, com vergência para NNW. As estruturas D2 são oblíquas em relação à S1, representadas por dobramentos suaves a abertos e por uma clivagem de crenulação pouco penetrativa, com orientação média 133/75, concentradas principalmente em regiões de charneiras D1. As superfícies S2 são marcadas por dissolução no domínio da clivagem e pelo crescimento ocasional de minerais micáceos, indicando condições de metamorfismo semelhantes às de D1. Estruturas DR são representadas por falhas e/ou juntas que integram um terceiro estágio evolutivo do arranjo estrutural. Ocorrem fraturas subverticais E-W, pares de fraturas em “X” com orientação NW-SE e NE-SW, dobras de arrasto e raras dobras em caixa. Não foram reconhecidos indicadores suficientes para interpretar a cinemática dessas estruturas, porém regionalmente feições subparalelas a SR foram interpretadas como um sistema de cisalhamento transcorrente sinistral E-W raso. O objetivo desse trabalho é contribuir para o desenvolvimento de um modelo tectônico mais abrangente para a região de Serra Pelada, através da caracterização dos arranjos estruturais observados em campo e em lâminas delgadas, em escala de ultradetalhe. Além de contribuir com os estudos a cerca da evolução metalogenética do depósito de Au-PGE de Serra Pelada, onde o seu metalotecto tem influência estratigráfica e estrutural.

**Palavras-Chave:** Serra Pelada; Estilos Tectônicos; Província Mineral de Carajás.

## ABSTRACT

Cavalcanti, R.M.B. **Superimposed tectonic styles in the Formation Serra Pelada, Carajás Mineral Province.** End of Course Work (BSc Geology) - Department of Geology, Institute of Geosciences, Federal University of Rio de Janeiro.

The Serra Pelada Formation is a Neoproterozoic unit inserted in the northern portion of the Carajás Mineral Province, belonging to the Carajás Domain. Located in the southeast of Pará state, it is a sequence of metasedimentary rocks constituted mainly of siltstones, metarenites and metavolcanosedimentary rocks, lying unconformably on top of the Rio Novo Group. Field observations allowed grouping of structures in four families, S<sub>0</sub>, associated with sedimentation, two phases of ductile deformation (D<sub>1</sub> and D<sub>2</sub>) and a third phase of brittle-ductile character (DR). The first ductile phase (D<sub>1</sub>) was responsible for generating the recumbent syncline of Serra Pelada and its parasitic folds, and the main tectono-metamorphic foliation, with average orientation 177/20. The S<sub>1</sub> foliation developed as a spaced cleavage in more sandy levels and as a slaty cleavage in silt-clay levels. Micaceous minerals define the cleavage planes and developed probably in sub-greenschist facies conditions. The D<sub>1</sub> folds have axial planes parallel to S<sub>1</sub>, verging to NNW and axes plunging about 8 degrees to SW. D<sub>2</sub> structures are oblique in relation to S<sub>1</sub>, represented by gentle to open folds with sparsely penetrative crenulation cleavage, with average orientation 133/75, concentrated mainly in hinge regions of D<sub>1</sub> folds. The S<sub>2</sub> surfaces are marked by dissolution in the cleavage domains and the occasional growth of micaceous minerals, indicating metamorphic conditions similar to those of D<sub>1</sub>. DR structures are represented by faults and/or joints that represent a third evolutionary stage of the structural arrangement. E-W subvertical fractures occur, fractures in "X"- like pairs oriented NW-SE and NE-SW, drag folds and few box folds. Insufficient indicators were recognized in order to interpret the kinematics of these structures, but regionally features subparallel to S<sub>1</sub> were interpreted as a shallow sinistral strike-slip shear system E-W (Cinzento shear). The aim of this monograph is to propose a general tectonic model for the region of Serra Pelada, through the characterization of the structural arrangements observed in the field and in thin sections, in ultra detailed scale. It may also contribute to studies on the metallogenic evolution of the Au-PGE deposit at Serra Pelada, influenced by stratigraphic and structural controls.

**Keywords:** Serra Pelada, Tectonic Styles, Carajás Mineral Province.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>iv</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>v</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E SEUS ACESSOS .....	3
1.3 METODOLOGIA APLICADA AO TRABALHO .....	5
1.4 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICO.....	6
<b>2 - GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	<b>8</b>
2.1 GRUPO RIO NOVO .....	10
2.2 GRUPO RIO FRESCO / FORMAÇÃO ÁGUAS CLARAS .....	10
2.2.1 FORMAÇÃO SERRA PELADA.....	11
2.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	13
2.4 O DEPOSITO DE Au-EGP DE SERRA PELADA .....	17
<b>3 - LITOESTRATIGRAFIA DO MORRO DAS MALVINAS E ADJACÊNCIAS</b> <b>18</b>	
3.1 AMBIENTE DE SEDIMENTAÇÃO .....	26
<b>4 - CARACTERIZAÇÃO DA DEFORMAÇÃO DA FORMAÇÃO SERRA PELADA</b> .....	<b>27</b>
4.1 SEÇÕES GEOLÓGICAS .....	27
4.2 CARACTERIZAÇÕES DAS FASES DE DEFORMAÇÃO .....	39
4.2.1 FASE DE DEFORMAÇÃO D1 .....	40
4.2.2 FASE DE DEFORMAÇÃO D2.....	47
4.2.3 FASE DE DEFORMAÇÃO D <sub>R</sub> .....	53
4.3 CORRELAÇÃO DAS FASES LOCAIS COM A GEOLOGIA REGIONAL	56
<b>5 - CONCLUSÕES</b> .....	<b>57</b>
<b>6 - BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>59</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1 - fotos históricas de Serra Pelada, considerado o maior garimpo a céu aberto do mundo. Inicialmente o garimpo se estendia apenas pela grota Rica (depósitos aluvionares), mas em maio de 1980 as primeiras ocorrências de ouro supergênico começaram atrair cada vez mais garimpeiros para a região do entorno do morro das Malvinas. A intervenção do DNPM em março de 1982, que realizou o rebaixamento do lençol freático e a escavação de taludes de segurança, estimulou ainda mais a extração artesanal. 2
- Figura 1.2\_- mapa de localização com principais acessos terrestres (as linhas pretas contínuas representam rodovias principais); O polígono laranja representa a folha Serra Pelada (SB-22-X-C-VI), onde se localiza a área de estudos (estrela). (p. 4) 4
- Figura 1.4a - fotografias mostrando alguns aspectos geomorfológicos presentes na região de Serra Pelada. Em A, B e C; unidades morfológicas contrastante, serras de grande amplitude e alta declividade com regiões de relevo arrasado (padrão domos e quilhas). Em B; vegetação de pouca densidade com destaque para espécimes típicos da fauna regional (babaçu). Em D; Fotografia panorâmica para a região onde se localiza a antiga cava garimpeira de Serra Pelada (lago de Serra Pelada). 7
- Figura 1.4b - Imagem SRTM sombreada da região de Serra Pelada, mostrando lado a lado áreas de serras e planícies. A estrela marca o garimpo. 7
- Figura 2 - no mapa superior, as Províncias Estruturais do Brasil; no mapa logo abaixo a Província Mineral de Carajás (PMC); em linhas contínuas detalhe para a Folha Serra Pelada (SB-22-X-C-VI); abaixo o mapa regional e seção que compreende toda a unidade (Formação Serra Pelada) em estudo no presente trabalho, destacado pelo retângulo tracejado; a área de estudo está marcada pela estrela. 9
- Figura 2.2.1 - mapa geológico de detalhe compilado de Colossus Minerals Inc. para a região de Serra Pelada e adjacências. Em linha roxa o contorno da cava garimpeira. Abaixo Imagem Ikonos exibindo a região da cava, correspondente a mesma região acima. O traço da seção (SSW-NNE) corresponde à localidade conhecida como “Morro das Malvinas”, onde foi realizado trabalho de ultradetalhe estrutural. 13
- Figura 2.3a - mapa relativo a PMC por Pinheiro & Holdsworth (2000). Sistema de falhas transpressivo Carajás – Cinzento, relacionadas a um mesmo regime tectônico. 16
- Figura 2.3b - mapa proposto por Rosière *et al.* (2006) para PMC, considerando dois eventos subseqüentes, compressivo e transcorrente. 16

Figura 3a - afloramento de dolarenitos fino a médios (“milharinha”)	18
Figura 3b - afloramentos do filito cinza grafitoso. A) níveis claros e escuros refletindo maior ou menor contribuição de matéria carbonosa. B) planos íngremes de acamamento sedimentar (S0). C) acamamento sedimentar subhorizontal.	20
Figura 3c - metassiltitos ricos em óxidos de ferro intercalados com os metarenitos finos a muito finos (filito vermelho), encontrados adjacentes a região do antigo garimpo. Em A, afloramento mostrando através das linhas relativas aos planos de acamamento sedimentar (S0), antiformal apertado. (martelo orientado aproximadamente paralelo a foliação (S1). Em B, afloramento de chão onde é possível perceber a relação entre S0 orientados quase na horizontal e S1 orientados aproximadamente 30° a partir do S0. Destaca-se ainda uma melhor propagação da foliação S1 no nível de composição mais fina. Em C, afloramento mostrando mergulho dos estratos com relação à horizontal. Em D, afloramento mostrando as típicas e ritmadas intercalações composicionais, ao centro detalhe de falha com cinemática aparente sinistral.	22
Figura 3d - aspecto microscópico do metassiltitos ricos em óxidos de ferro intercalados com os metarenitos finos a muito finos (filito vermelho). Em A (Nx) e B (N//), é possível distinguir entre os níveis claros e escuros a intercalação entre os metassiltitos e os metarenitos. Onde no nível escuro (devido aos óxidos de ferro) há domínio de filossilicatos (sericita). Nota-se em ambas a relação oblíqua entre S0 (linha limite entre claro e escuro) e S1 (representado pela orientação dos micáceos). C (Nx) e D (Nx) representam respectivamente domínios mais quartzosos e domínio intermediário entre quartzo e sericita, ambas as fotomicrografias em nicóis cruzados. Em F, detalhe para a turmalina dobrada.	23
Figura 3e - em A, dobras intraformacionais na parte inferior da amostra (fluxo de sedimento liquefeito) e acamamento sedimentar (S0) definido pelo contato entre estratos vermelhos e brancos. Em B, estrutura convoluta. Em C, acamamentos sedimentares com distintas laminações. Destaque para acamamento com estratificação ondulada simétrica na parte central da fotografia e falha com cinemática aparente sinistral. (quase ortogonal ao S0)	24
Figura 3f - em A, além da estratificação gradativa, observe a estrutura de carga (estrutura em chamas: língua de metassiltito na camada superior de metarenito devido à desigualdade na distribuição de carga) ao centro. Indicado pela seta amarela, estratificação <i>flaser</i> . Metassiltito com estrutura de marcas de onda e linsen.	25
Figura 4.1a - composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada - I	31
Figura 4.1b - composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada – II	32

Figura 4.1c - composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada – IIIa	33
Figura 4.1d - composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada – IIIb	34
Figura 4.1e - composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada – IV	35
Figura 4.1f - composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada – Va	36
Figura 4.1g - composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada – Vb	37
Figura 4.1h - composição de fotografia, estereogramas e seção geológica referente à Seção integrada	38
Figura 4.2a- aspecto microscópico mostrando as principais estruturas observáveis. Em A (N//), pode-se observar S0 (contraste entre nível claro e escuro), S1 (linhas escuras subparalelas ao S0) e S2 (linhas escuras orientadas subverticalmente). Em B (N//), da esquerda para direita, há uma diminuição da persistência da clivagem espaçada S2 (linhas escuras orientadas horizontalmente) até um limite vertical mais ou menos ao centro da imagem. Diferenças reológicas explicam esse desenvolvimento diferenciado da clivagem S2, onde à esquerda existe uma litologia mais competente (metassiltitos) contrastando a uma menos competente (metarenito) à direita. Em C (N//), aspecto microscópico mostrando diferenças reológicas. Em D (Nx), na parte superior das fotomicrografias há domínio de minerais micáceos (sericita) com desenvolvimento nítido de clivagem S2 (orientadas NE-SW da foto), em contraposição ao domínio quartzoso localizado na parte inferior.	39
Figura 4.2.1a: Projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 132 medidas de pólos do acamamento sedimentar S0.	40
Figura 4.2.1b - projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 82 medidas da foliação principal S1.	41
Figura 4.2.1c - fotografias mostrando as diversas ocorrências da foliação principal (S1) e sua relação com o acamamento sedimentar (S0); Em A, afloramento exibindo foliação principal (paralela ao martelo) com ângulo de aproximadamente 30° em relação ao acamamento. Já em B, a relação da foliação S1 com o S0 é quase de 90°; Em C, afloramento de chão onde o S0 está paralelo ao martelo. Na fotografia D, detalhe da lineação de interseção entre a foliação ardósiana (S1) e os planos de acamamento sedimentar.	41
Figura 4.2.1d - Porfiroblasto de Oxido de Fe (pré ou sin-D1), com sombra de pressão assimétrica, relação <i>stair stepping</i> com indicação cinemática sinistral.	42

- Figura 4.2.1e: em A e B (Nx) aspecto microscópico da foliação S1 um (sericita) orientados á partir do canto superior esquerdo para o canto inferior direito, como acessórios turmalinas ao centro e opacos. 42
- Figura 4.2.1f - projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 16 medidas de eixos de dobra  $D_1(E_{D1})$ . 43
- Figura 4.2.1g - fotografias ilustrando as várias formas de dobramento parasítico; afloramento de sinclinal apertado em A e anticlinal em B; em C descontinuidade rúptil (SR) associado à região de charneira; grande bloco rolado de um dos taludes detalhados anteriormente, representativo a um par sinforme / antiforme; em E, paralelo ao martelo, estruturas S0 exibindo dobras em “S” evoluindo para dobras em “caixa”; sincinal em F, salientado pelas reentrâncias das superfícies de acamamento sedimentar. 44
- Figura 4.2.1h - afloramentos mostrando as diversas geometrias das dobras parasíticas; destaque na foto C para S0 verticalizado e compondo dobras tipo “M”; em D, superfícies dobradas (anticlinal, com eixo entrando na fotografia) apresentando flancos dobrados. 45
- Figura 4.2.1i - aspecto macroscópico da fase de deformação D1; em A e C, dobras parasíticas em escala de amostra de mão, destaque para a linha de charneira e lineação de interseção no flanco direito da dobra em C; em B anticlinal com eixo entrando na fotografia. Em D, Estrutura *climb ripple* de ponta á cabeça (a seta preta indica topo do afloramento), localizadas no flanco invertido de uma das dobras parasíticas do sinclinal de Serra Pelada. 46
- Figura 4.2.1j - B representa uma amostra de mão, mostrando estruturas primárias (estratificação cruzada) alojadas em região de charneira de dobra (dobra parasítica, D1). Observar a superfície de reativação (acamamento sedimentar, S0) dobrada. 47
- Figura 4.2.2a - projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 40 medidas de  $S_2$  (clivagem de crenulação). 48
- Figura 4.2.2b - aspecto megascópico da segunda foliação sobreposta (S2-clivagem de crenulação). Detalhe para a relação de corte entre a foliação S1(ardosiana) e S2. 48
- Figura 4.2.2c - fotomicrografia mostrando aspecto da foliação S2 (clivagem de crenulação); Em A (N//) foliação S2 bem marcada, definida pela dissolução do domínio da clivagem e crescimento de minerais micáceos orientados paralelos aos planos axiais da crenulação (linhas escuras subverticais). 49
- Figura 4.2.2d - fotomicrografia mostrando aspecto da foliação S2 (clivagem de crenulação), marcada pelo contraste das cores de interferência das sericitas nos flancos, destacando regiões de vale e charneiras de microdobras (crenulação); nicóis cruzados (acima) e paralelos (abaixo). 50

- Figura 4.2.2e - fotomicrografias mostrando detalhe de fase de deformação D2, onde está representada pelo dobramento de cristal de turmalina; essencialmente sericita, além de quartzo, turmalinas e opacos como mineralogia observada; nicóis cruzados. 50
- Figura 4.2.2f - aspecto microscópico das dobras D2, nicóis cruzados (abaixo) e paralelos (acima); assimetria de crenulação percebido através da orientação de micas; cristal de turmalina em corte transversal ao eixo maior, no canto inferior esquerdo. 51
- Figura 4.2.2g - dobras D2; fotomicrografia em nicóis cruzados (direita) e paralelos (esquerda), exibindo foliação principal (S1) dispostas em dobras apertadas simétricas (foliação S1 crenulada), impostas pelo segundo estágio de deformação (D2); detalhe ao centro, turmalinas sin-D1 em seção basal. 51
- Figura 4.2.3a - projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 45 medidas de falhas e fraturas; aparenta ter quatro famílias principais (S<sub>3</sub>). 52
- Figura 4.2.3b - fotografias mostrando o aspecto megascópico das famílias de estruturas rúpteis (S<sub>3</sub>); Em A, detalhe de falhas exibindo certa perturbação dos estratos; Em B feixes de falhas gerando blocos escalonados; Em C e D, falhas exibindo certa deformação nos estratos afetados. Em E, dobra em caixa D3. Em F, falhas com movimento sinistral aparente. 53
- Figura 4.2.3c - fotografias mostrando o aspecto megascópico das famílias de estruturas rúpteis (S<sub>3</sub>); Em A, afloramento de chão exibindo falha com preenchimento argiloso com cinemática aparentemente sinistral; detalhe de estrutura rúptil rasa (*slickenside*) em B; feixes de falhas gerando basculamento do S<sub>0</sub> e ainda escalonamento dos blocos afetados (C). 54

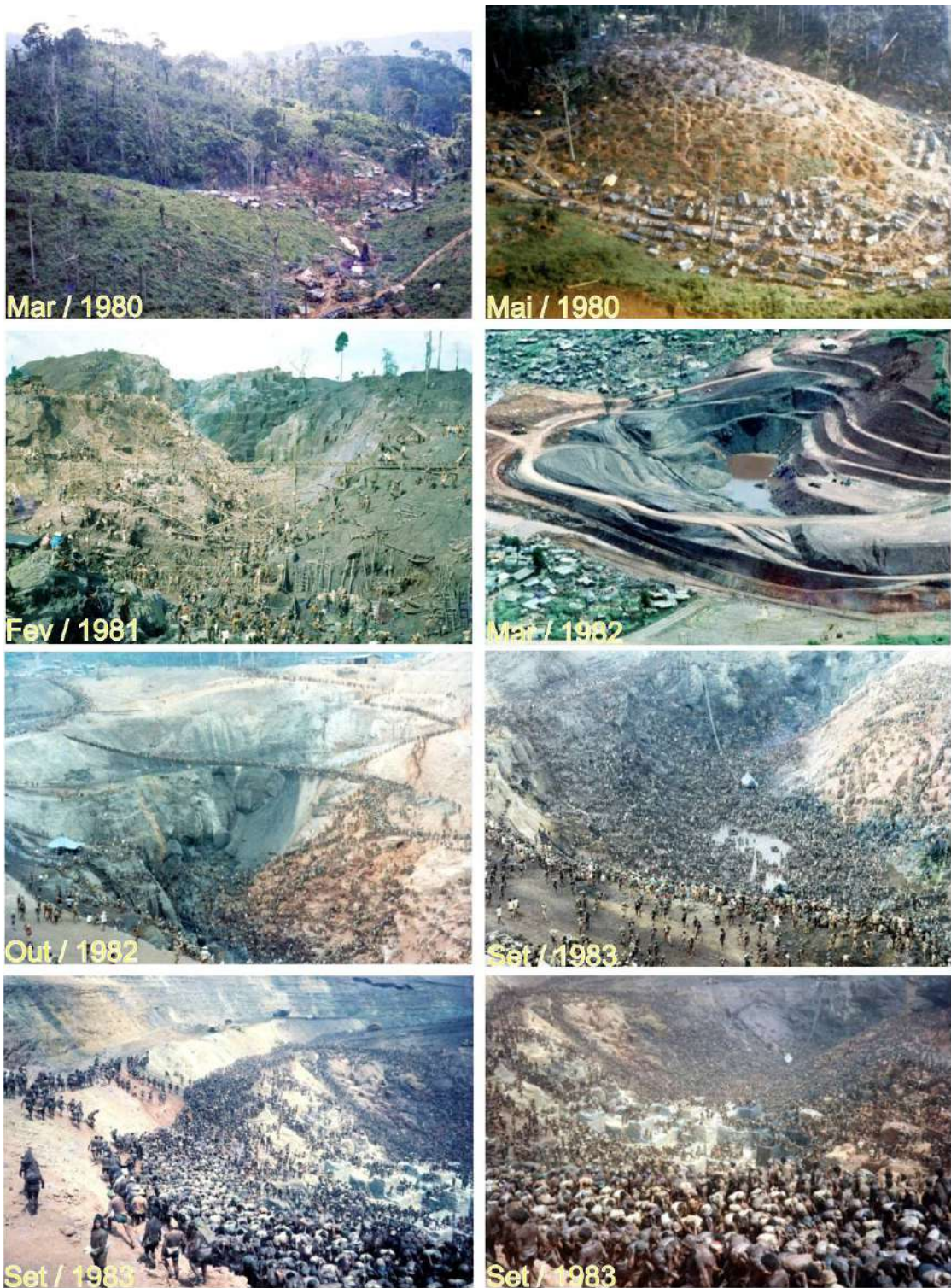
## 1 - INTRODUÇÃO

O garimpo de Serra Pelada, localizado no sudeste do estado do Pará, ficou mundialmente conhecido pela maior corrida do ouro já registrada no Brasil, durante a década de 1980. Mobilizou mais de 50.000 pessoas em um complexo de mineração artesanal explorado por quase uma década. A porção garimpada representou a parte superior (concentração supergênica) de um depósito de Au-EGP de classe mundial, com reservas estimadas em mais de 50 t de Au, metade ainda não explorada (fig.1).

Inúmeros trabalhos de cunho geológico já foram realizados na região. A DOCEGEO foi responsável pela proposição dos primeiros modelos estratigráficos e tectônicos para Carajás, no final da década de 80. Estudos mais específicos enfocando a geologia estrutural levaram à criação de diversos modelos tectônicos.

O presente trabalho foi realizado com recursos financeiros e com apoio logístico e institucional do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), através do projeto “Geologia e Recursos Minerais da Folha Serra Pelada (SB-22-X-C-VI)”. Justificou-se pela necessidade de se testar em campo os modelos de evolução tectônicas anteriormente propostos para a região de Serra Pelada, baseado em estudos de geologia estrutural de ultra-detalle em rochas que ocorrem adjacentes à região da antiga cava.





Créditos: Geol. Breno Augusto dos Santos

Figura 1: fotos históricas de Serra Pelada, considerado o maior garimpo a céu aberto do mundo. Inicialmente o garimpo se estendia apenas pela grota Rica (depósitos aluvionares), mas em maio de 1980 as primeiras ocorrências de ouro supergênico começaram a atrair cada vez mais garimpeiros para a região do entorno do morro das Malvinas. A intervenção do DNPM em março de 1982, que realizou o rebaixamento do lençol freático e a escavação de taludes de segurança, estimulou ainda mais a extração artesanal.

## **1.1 OBJETIVOS**

O principal objetivo desse trabalho foi caracterizar detalhadamente as famílias de estruturas superpostas na Formação Serra Pelada, a fim de contribuir com o entendimento da evolução tectônica desta unidade e da porção NE da Província Mineral de Carajás, a partir de descrição dos arranjos estruturais em campo, na escala de ultradetalhe, e em lâminas delgadas. Secundariamente, também foi objetivo desse trabalho contribuir com a compreensão do metalotectos da mineralização de Au-EGP de Serra Pelada, considerando que sua natureza é em parte estrutural.

## **1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E SEUS ACESSOS**

O garimpo de Serra Pelada, palco do estudo, se localiza no município de Curionópolis, sudeste do estado do Pará, 550 km a sul de Belém. O principal acesso à região estudada se tem a partir da cidade de Marabá (PA), que se conecta ao restante do país por via aérea. Desta cidade, é possível alcançar o garimpo inicialmente pela rodovia PA-150, e a partir daí pela PA-257 até o km 16, por onde se percorre 35 km de estrada não pavimentada até a vila de Serra Pelada (fig. 1.2).



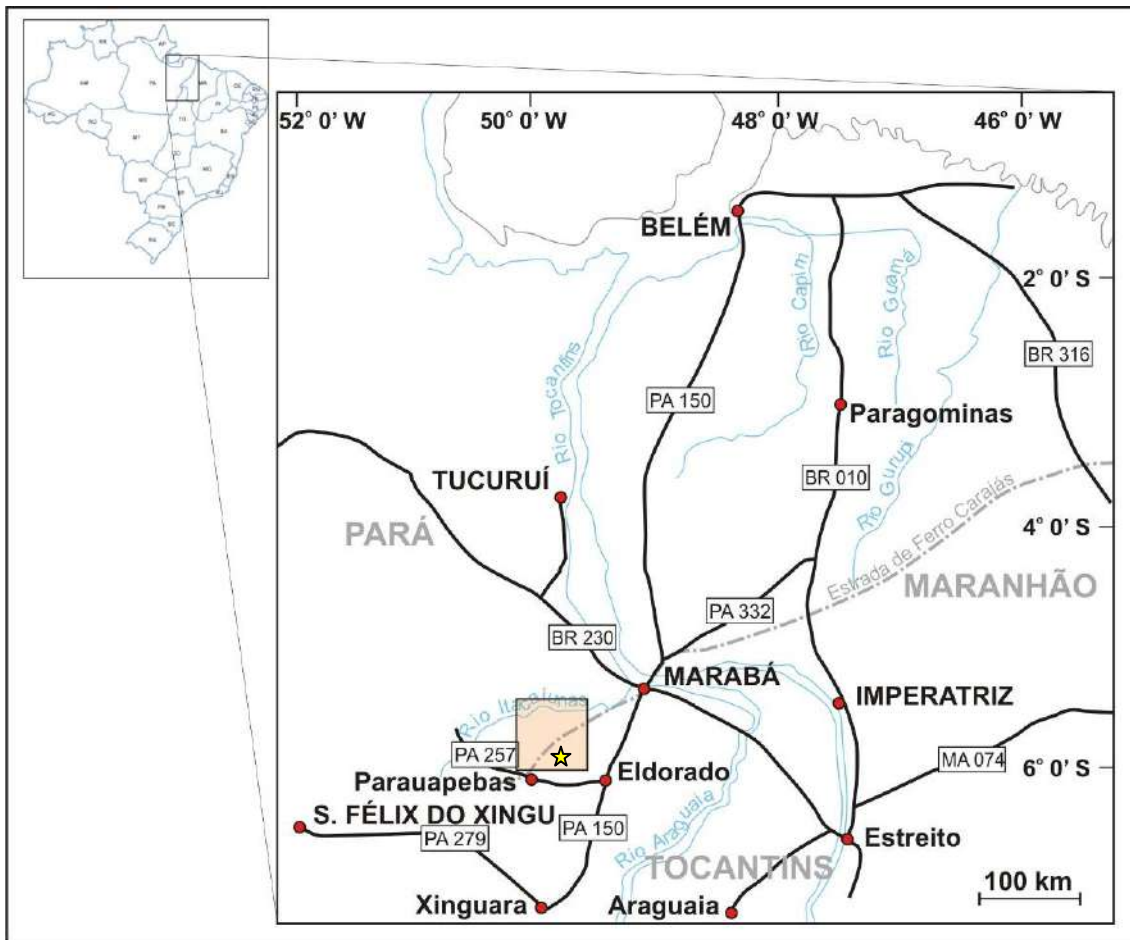


Figura 1.2: mapa de localização com principais acessos terrestres (as linhas pretas contínuas representam rodovias principais); O polígono laranja representa a folha Serra Pelada (SB-22-X-C-VI), onde se localiza a área de estudos (estrela).

### 1.3 METODOLOGIA APLICADA

Este estudo foi desenvolvido durante duas campanhas que totalizaram 35 dias de trabalho, ao decorrer do segundo semestre de 2009. Foram descritas detalhadamente as estruturas de cinco bancadas do talude adjacente à antiga cava do garimpo de Serra Pelada. A seguinte metodologia de trabalho foi utilizada, após a revisão bibliográfica:

1. Identificação e descrição dos tipos litológicos aflorantes;
2. Identificação, descrição megascópica e medição de 315 estruturas tectônicas observadas, planares e lineares, de natureza dúctil e rúptil;
3. Separação preliminar das tramas tectônicas superpostas;
4. Elaboração de croquis geológico-estruturais dos taludes estudados;
5. Coleta de amostras orientadas;

Após os trabalhos de campo, foram realizadas em laboratório as seguintes atividades:

6. Confecção de estereogramas e análise estatística dos elementos estruturais medidos em campo;
7. Descrição petrográfica e microestrutural de 14 lâminas delgadas, conforme metodologia de Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J. 1996;
8. Confecção de seções geológico-estruturais detalhadas dos taludes;
9. Elaboração de um modelo tectônico;
10. Confecção de relatório final do trabalho.

## 1.4 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A área de estudo se localiza no extremo NE da Província Mineral de Carajás. Trata-se de uma região com um sistema de relevo residual (CPRM, 1994). Na área de Serra Pelada, é possível observar lado a lado unidades morfológicas contrastantes, variando entre serras de grande amplitude e alta declividade, como as serras Leste e do Sereno e, entre estas, regiões de relevo arrasado. O desenvolvimento desse sistema está intimamente ligado ao tipo litológico que o constitui (quartzitos, formações ferríferas, xistos, metarenitos, metabasaltos, etc.) e ao controle estrutural (fig. 1.4a).

Regionalmente, o padrão de drenagem dendrítico é predominante, contudo, o padrão retangular-dendrítico eventualmente está presente, indicando controle por sistemas de fratura. Algumas drenagens principais e secundárias apresentam alternância de cursos mais retos e curso mais meandantes, truncados. Tal fato sugere controle estrutural sobreposto, onde feições atuais de algumas unidades se mostram ora com relevos com extensões positivas, ora com relevo arrasado, para rochas similares, sugerindo a atuação de neotectônica.

Há duas drenagens nas proximidades da cava do garimpo, a grota Rica e o rio Sereno. Este último aparenta ter controle estrutural devido a seu curso NNW/SSE coincidir com lineamentos estruturais observáveis por imagem de satélite (fig. 1.4b).

Nota-se na região estudada uma vegetação dominada por mata secundária de capoeiras, conhecida localmente como “juquirá”, além de pastagens de gramíneas exóticas e aglomerados de palmáceas típicas do Pará (ex.: açaí, buriti, babaçu). Muito impactante para o autor foi observar esta cobertura vegetal, atualmente dominante na paisagem, em contraste com as pequenas ilhas de floresta ombrófila densa, resíduos da exuberante floresta amazônica que no passado recente cobria toda a área em questão.



Figura 1.4a: fotografias mostrando alguns aspectos geomorfológicos presentes na região de Serra Pelada. Em A, B e C; unidades morfológicas contrastante, serras de grande amplitude e alta declividade com regiões de relevo arrasado (padrão domos e quilhas). Em B, vegetação de pouca densidade com destaque para espécimes típicos da fauna regional (babaçu). Em D; Fotografia panorâmica para a região onde se localiza a antiga cava garimpeira de Serra Pelada (lago de Serra Pelada).

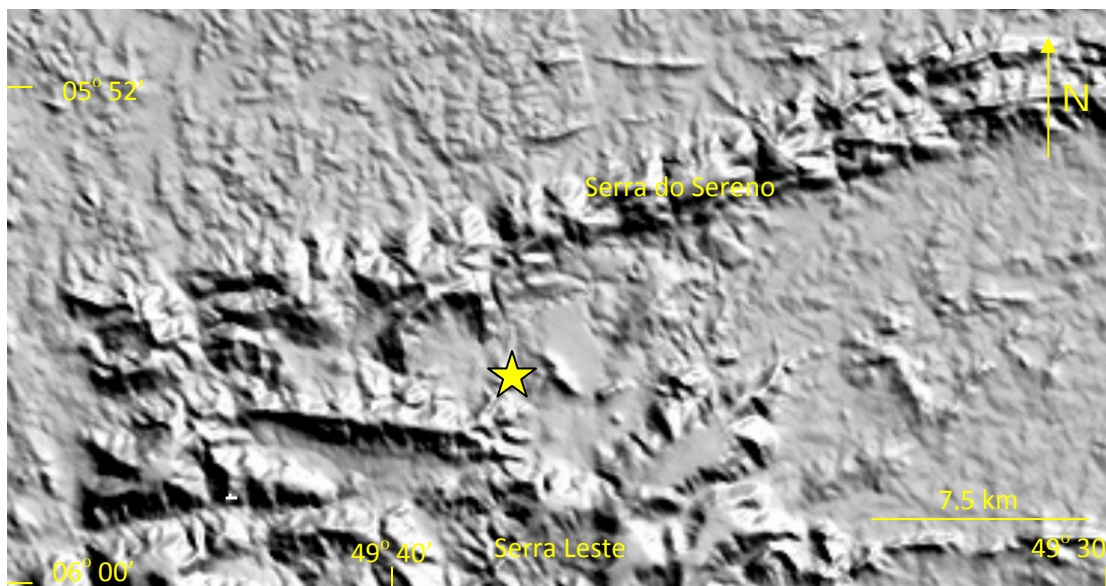


Figura 1.4b: Imagem SRTM sombreada da região de Serra Pelada, mostrando lado a lado áreas de serras e planícies. A estrela marca o garimpo.

## 2 - GEOLOGIA REGIONAL

Localizada na borda SE do Escudo Brasil Central, a Província Mineral de Carajás – PMC (Santos *et al.* 2000, Santos 2003) – é uma região formada e estabilizada tectonicamente no Arqueano e supostamente não afetada pelas orogêneses do Ciclo Transamazônico. Representa a porção crustal mais antiga do Cráton Amazônico. Limita-se ao norte e ao sul por segmentos da Província Transamazonas, a oeste pela Província Amazônia Central e a leste pelo Cinturão Araguaia (fig. 2).

Santos (2003) dividiu a PMC em duas associações litotectônicas distintas, baseado em anomalias magnetométricas não coincidentes com contatos geológicos, os domínios Rio Maria e Carajás. O primeiro, mais a sul, é caracterizado por uma crosta juvenil mesoarqueana, com seqüências de *greenstone belts* e granitóides tipo TTG. Em contraste, o Domínio Carajás é uma região de crosta continental predominantemente neoarqueana. Em ambos os domínios ocorrem ainda magmatismo granítico anorogênico, com idades próximas a 1.88 Ga, bem como um sistema de diques basálticos fanerozóicos.

No Domínio Carajás, é possível observar um conjunto de seqüências meta-vulcanossedimentares (Grupo Rio Novo e seus cronocorrelatos) assentadas sobre um embasamento gnáissico de alto grau (ex. Complexo Xingu). Estas são cortadas por intrusivas representadas pelo Complexo Luanga e por granitóides de alto K (Granito Estrela e correlatos).

Este sistema constitui o embasamento para uma cobertura sedimentar mais jovem, representada pelo Grupo Rio Fresco / Formação Águas Claras (localmente e informalmente designada de Formação Serra Pelada).



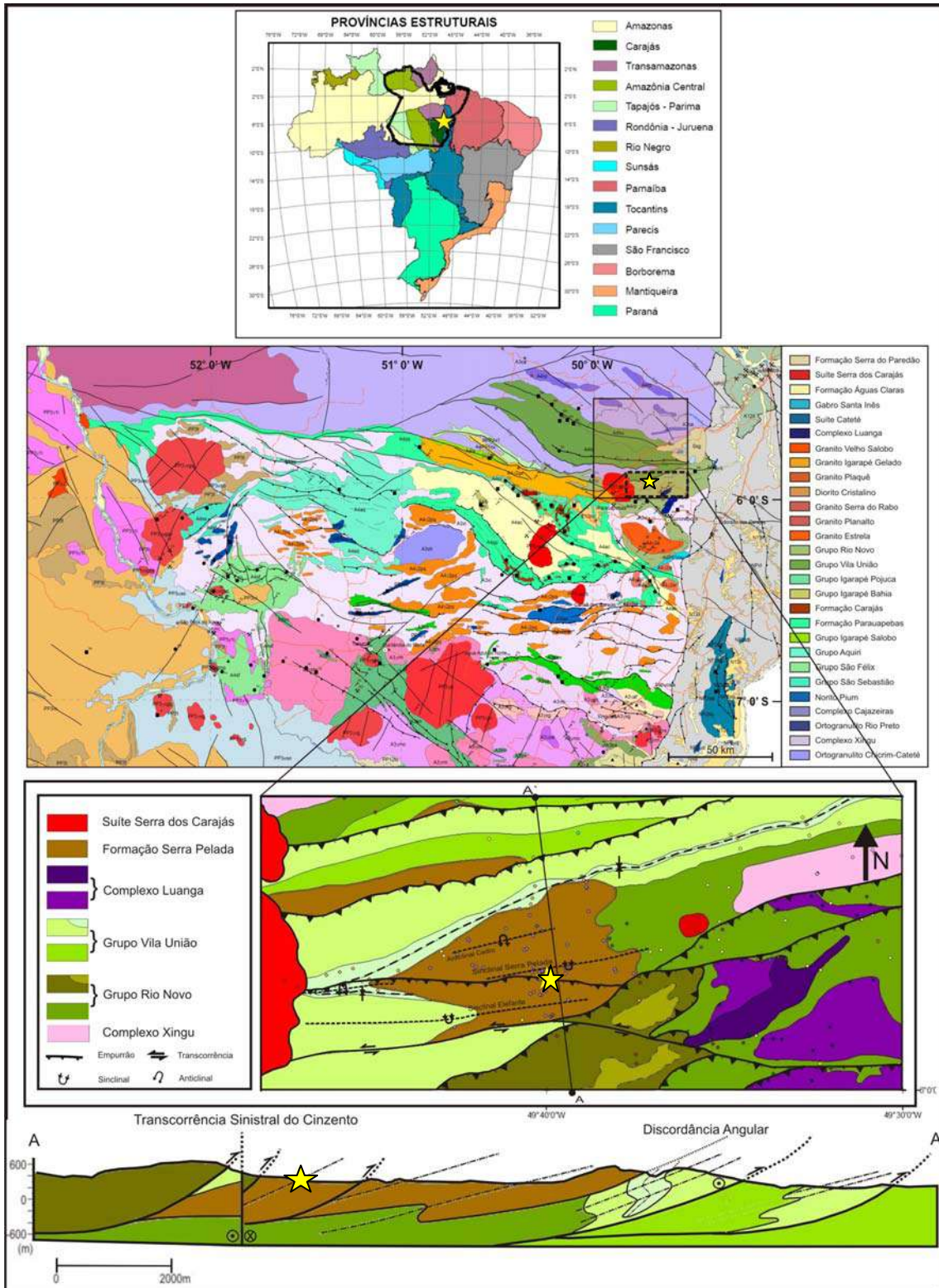


Figura 2: no mapa superior, as Províncias Estruturais do Brasil; no mapa logo abaixo a Província Mineral de Carajás (PMC); em linhas contínuas detalhe para a Folha Serra Pelada (SB-22-X-C-VI); abaixo o mapa regional e seção que compreende toda a unidade (Formação Serra Pelada) em estudo no presente trabalho, destacado pelo retângulo tracejado; a área de estudo está marcada pela estrela.

## 2.1 GRUPO RIO NOVO

O Grupo Rio Novo é uma seqüência meta-vulcanossedimentar neoarqueana, que neste trabalho se entendeu como porção basal do Supergrupo Itacaiúnas. Está assentado sobre rochas mesoarqueanas de alto grau, representadas por associações granulíticas (Ortogramulito Chicrim-Cateté e Diopsídio-Norito Pium) e ortognaisses migmatíticos (Complexo Xingu). Na área de estudos, constitui toda a extensão aflorante do embasamento da Formação Serra Pelada.

Segundo Araújo e Maia (1991) e Oliveira et al. (1994), é constituído por metamafitos e metaultramafitos (actinolita-xistos, talco-xistos, antofilita-cloritá-talco-xistos, antofilita-tremolita-xisto e serpentinitos), quartzitos, formações ferríferas bandadas, além de xistos micáceos, grafitosos, manganésíferos e ferruginosos.

O Grupo Rio Novo ainda não possui uma idade de formação definitiva. Porém se atribui a mínima de  $2763 \pm 7$  Ma (U-Pb em zircão, Machado *et al.* 1991), através da datação do Complexo Máfico-Ultramáfico Luanga, intrusivo na unidade. O conjunto foi submetido a condições metamórficas de fácies xisto verde baixo a alto e processos deformacionais dúcteis polifásicos, além de eventos rúpteis, associados a hidrotermalismo.

## 2.2 GRUPO RIO FRESCO / FORMAÇÃO ÁGUAS CLARAS

O Grupo Rio Fresco / Formação Águas Claras foi definido por Araújo *et al.* (1988) como uma seqüência sedimentar formada por metapelitos e metarenitos, em contato discordante com as seqüências meta-vulcanossedimentares do Supergrupo Itacaiúnas (grupos Grão-Pará e Igarapé Pojuca).

Representa uma cobertura siliciclástica neoarqueana, individualizada em duas unidades litoestratigráficas gradacionais por Nogueira *et al.* (1995). O Membro Inferior é constituído por siltitos, pelitos e arenitos muito finos

subordinados, com estruturas tipo laminação plano-paralela, estratificação cruzada *hummocky*, marcas onduladas e de sobrecarga, relacionadas a uma plataforma marinha influenciada por tempestades. O Membro Superior é constituído por arenitos finos a grossos e subordinados, ortoconglomerados e pelitos com estratificação do tipo plano-paralela, cruzada acanalada, *hummocky* e tabular, interpretadas como depósitos litorâneos e fluviais entrelaçados.

A Formação Águas Claras é cortada por diques e soleiras máficas, com idade de  $2708 \pm 37$  Ma (U-Pb em zircão, Mougeot *et al.* 1996), sendo esta a sua idade mínima de sedimentação.

### **2.2.1 FORMAÇÃO SERRA PELADA**

A Formação Serra Pelada é cronocorrelata ao Grupo Rio Fresco / Formação Águas Claras. Porém, devido à grande distância física entre as unidades e à diferente associação de litofácies, optou-se por utilizar nesse trabalho a classificação descrita abaixo.

Esta seqüência essencialmente metassedimentar foi designada como Formação Serra Pelada primeiramente por Jorge João *et al.* (1982), possuindo melhor exposição na área de garimpo homônima. Apresenta na base discordância angular com o Grupo Rio Novo, e é cortada por falhas de empurrão, que podem colocar seu embasamento tectonicamente superposto à unidade, bem como por intrusões graníticas de idade paleoproterozóica e por falhamentos mais jovens. Possui ocorrência geográfica fragmentada, relacionada ao empilhamento tectônico da unidade com o seu embasamento e a feições erosivas locais (*outliers*).

Constitui-se predominantemente por filitos sericíticos a quartzo sericíticos (derivados de siltitos, argilitos e argilitos siltíficos) e por metarenitos e metaconglomerados. Seus litotipos podem ser agrupados em duas unidades informais. A primeira (SP1) é composta predominantemente por rochas de granulometria mais grossa, como metarenitos imaturos e metaconglomerados monomíticos a polimíticos (com clastos do Grupo Rio Novo). A segunda (SP2)



é formada por uma associação de metassiltitos carbonosos (filitos carbonosos), metassiltitos ricos em óxidos de ferro (*red beds*), metarenitos finos a muito finos e dolarenitos finos a médios. Observam-se ainda corpos de até ~50 m de espessura meta-ígneos, de composição diorítica, que se encaixam em ambas as unidades e que estão associados a auréolas de metamorfismo de contato.

O ambiente de sedimentação ainda não foi bem definido. Berni (2009) identificou ambiente de leque subaquoso, reconhecido por seqüência inicial mais grossa composta essencialmente de metarenitos com lentes de metaconglomerados. Estes por sua vez sobrepostos por unidade pelítica composta de metassiltitos carbonosos e vermelhos (ricos em oxi-hidróxidos de ferro), e outra unidade composta essencialmente de metarenitos com níveis centimétricos de metaconglomerado polimítico. (fig.2.2.1)

As rochas da Fm. Serra Pelada foram submetidas a um regime tectono-metamórfico de muito baixo grau (sub-xisto verde), evidenciado pelo crescimento de minerais metamórficos orientados (essencialmente sericita e clorita), que formam uma clivagem ardosiana e uma clivagem de crenulação pouco penetrativa. Dados ainda não publicados da CPRM definem este episódio deformacional como Evento Sereno, representando uma compressão NNW-SSE, com transporte tectônico para NNW, de provável idade neoarqueana. A unidade foi ainda cortada por eventos rúpteis posteriores, desde o Paleoproterozóico até o Fanerozóico.

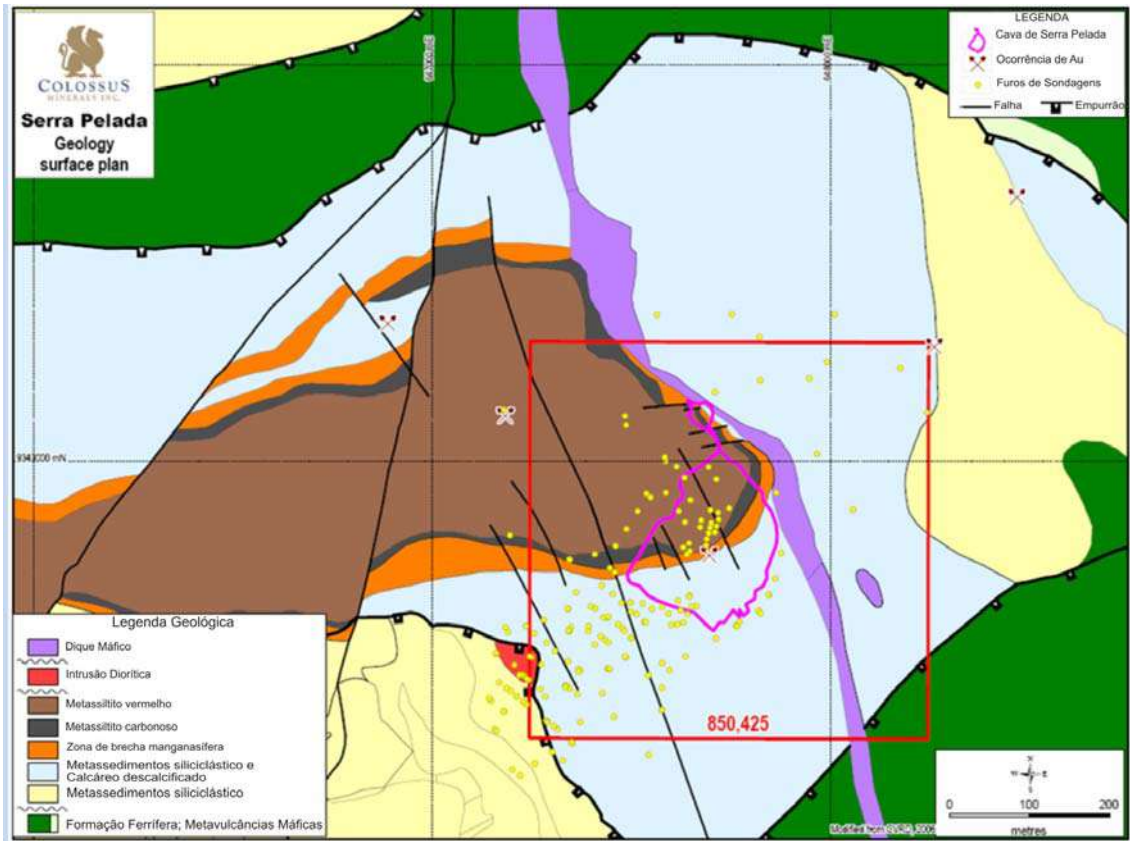


Figura 2.2.1: mapa geológico de detalhe compilado de Colossus Minerals Inc. para a região de Serra Pelada e adjacências. Em linha roxa o contorno da cava garimpeira. Abaixo Imagem Ikonos exibindo a região da cava, correspondente a mesma região acima. O traço da seção (SSW-NNE) corresponde à localidade conhecida como “Morro das Malvinas”, onde foi realizado trabalho de ultradelatse estrutural.

## 2.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL

Diversos trabalhos acerca da evolução geotectônica da Província Mineral de Carajás (PMC) foram realizados ao longo dos anos. Existem duas propostas de maior destaque que serão discutidas a seguir. A primeira, de Pinheiro & Holdsworth (2000), define um modelo de evolução tectônica essencialmente dominado por eventos transpressivos, com diversas reativações do mesmo sistema. Já Rosière *et al.* (2005) propõem um sistema iniciado por compressão e progressivamente submetido a transcorrência.

Segundo Pinheiro & Holdsworth, a PMC sofreu deformação em um sistema transcorrente sinistral dominado por transpressão, que compreende extensas zonas de cisalhamentos de orientação E-W a WNW-ESE representadas pelas zonas de cisalhamento Carajás (ao sul) e Cinzento (ao norte). Os autores adotaram o termo Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas para este sistema, com estruturação regional de geometria sigmoidal e dobramentos como resultado de transpressão. Consideraram ainda que a região foi submetida à alternância de eventos transpressionais e transtensionais (fig. 2.3a).

Rosière e colaboradores acreditam que a estruturação da PMC é dominada por um sistema de dobramentos com eixos de caimento moderado para WNW, interceptados por falhas transcorrentes de orientação plano axial. As dobras constituiriam pares sinforme / antiforme com assimetria em S, e desenvolvimento local de xistosidade nas rochas meta-vulcanossedimentares. Para estes autores, a Zona de Cisalhamento Carajás foi instalada ao longo do rompimento do par sinforme / antiforme da dobra de Carajás, como resultado de uma cinemática sinistral, produto da intensificação do dobramento durante os estágios mais tardios de uma compressão norte-sul, iniciada por um processo do tipo domos-e-quilhas. De forma similar, a Zona de Cisalhamento Cinzento ocorre na porção norte da Província Mineral de Carajás, entre a Serra Norte e a Serra do Salobo (fig 2.3b).

A CPRM, a partir de mapeamento geológico-estrutural do extremo NE da PMC realizado em 2009 e 2010, propôs um novo modelo tectônico, ainda em avaliação, no qual se determinou a superposição regional de três eventos

dúcteis compressivos e ao menos dois eventos rúpteis principais dominados por transcorrência.

O primeiro (D1) afeta todas as unidades arqueanas, exceto a Fm. Serra Pelada, e recebeu a designação preliminar de Evento Itacaiúnas. Seus produtos mais evidentes são uma foliação de alto ângulo, mergulhando para N ou S, e uma lineação mineral e/ou de estiramento *down dip* conspícua. Trata-se de um sistema dominado por cisalhamento puro, a partir de compressão N-S, associado a metamorfismo de fácies xisto verde a anfibolito.

O segundo (D2) e o terceiro (D3) afetam todas as unidades, sendo responsáveis por duas crenulações oblíquas nas rochas estruturadas por D1, e por clivagem ardosiana de baixo ângulo e crenulação pouco penetrativa na Fm. Serra Pelada. Dobras D2, como o sinclinal recumbente de Serra Pelada, possuem vergência para NNW. Representam duas fases evolutivas de um mesmo evento progressivo, a partir de compressão NNW-SSE dominada por deformação rotacional com componente de cisalhamento simples, com o desenvolvimento de empurrões e transporte tectônico para NNW, associado a metamorfismo de fácies sub-xisto verde (zona da clorita), com mudança tardia no ângulo de tensões, provavelmente associada a uma reacomodação crustal. Foi denominado preliminarmente como Evento Sereno,

D4 e D5 agrupam as principais estruturas rúpteis, representadas por famílias de falhas subverticais de orientação E-W, ENE-WSW, NNW-SSE e NNE-SSW, encaixadas preferencialmente em estruturas pretéritas (D1, D2), associadas a veios com preenchimentos minerais diversos. Estão freqüentemente associadas a brechas tectônicas, com material cataclásico, por vezes associadas a hidrotermalismo ferro-potássico.



## 2.4 O DEPOSITO DE Au-EGP DE SERRA PELADA

O depósito de Au-EGP de Serra Pelada não se enquadra claramente em nenhum modelo metalogenético proposto na literatura.

Grainger *et al.* (2002, 2007) definem a mineralização como um membro distal de um sistema tipo IOCG (*Iron Oxide – Copper – Gold* ou, em português, depósitos de óxido de ferro, cobre e ouro associados), com percolação de fluidos por falhas majoritariamente E-W e secundariamente NNW-SSE. Tallarico *et al.* (2000) associam o depósito a um *Skarn* arqueano relacionado a intrusões dioríticas, sugerindo concentração da mineralização a partir de dobramentos. Villas & Santos (2001) consideram os dioritos como fonte dos metais preciosos, porém interpretam a concentração do minério em charneiras de dobramentos como resultado de alteração hidrotermal associada a percolação de fluidos por falhas.

Para todos os autores fica clara a importância do sinclinal de Serra Pelada como agente estruturador da mineralização, seja como remobilizador de minério disseminado ou como trapa estrutural.

### 3 - LITOESTRATIGRAFIA DO MORRO DAS MALVINAS E ADJACÊNCIAS

Neste capítulo serão apresentados brevemente os litotipos aflorantes no morro das Malvinas, foco principal deste trabalho, e em suas adjacências. Ali ocorre a melhor exposição da unidade de topo da Formação Serra Pelada (SP2). A partir deste capítulo, todos os dados e considerações ao longo do trabalho foram desenvolvidos pelo autor.

Aflora na superfície uma associação de filitos cinzas (carbonosos), filitos vermelhos (ricos em óxidos de ferro) e meta-dolarenitos finos a médios, de coloração amarelada. Em subsuperfície, de acordo com observações de testemunhos de sondagem feitas por Berni (2009), ocorre ainda um corpo lenticular de metarenito fino entre os dois pacotes filíticos, que não foi estudado neste trabalho.

#### Meta-dolarenitos finos a médios

Estratigraficamente, os meta-dolarenitos representam a base da seqüência SP2. São popularmente conhecidos como “milharina”, alusão a uma farinha fina e amarela. São geralmente puros, com arcabouço constituído por grãos de quartzo de granulometria fina a média e localmente grauváquicos. A matriz é predominantemente dolomítica (20-85%) com pequena quantidade de calcita (1-15%) associada (Tallarico *et al.* 2000). Em afloramento, observa-se uma rocha extremamente friável, devido à descalcificação avançada da matriz (fig. 3a).





Figura 3a: afloramento de dolarenitos fino a médios (“milharinha”)

### Filitos cinzas carbonosos

Os filitos carbonosos constituem o próximo litotipo aflorante da unidade SP2. Possuem uma coloração acinzentada típica, causada por uma pequena concentração de matéria carbonosa (<1 %  $C_{total}$ ). Sua mineralogia principal é formada por filossilicatos (80-90% sericita) e quartzo (10-20 %). Rutilo, zircão e óxidos de ferro ocorrem como acessórios.

A sericita é de granulação muito fina (<0,05mm), presente como agregados orientados de cristais alongados, que formam uma clivagem ardosiana. Frequentemente, a sericita é coberta por matéria carbonosa, adquirindo tonalidade escurecida. O quartzo ocorre em grãos anédricos, variando entre 0,05-0,3mm em meio aos filossilicatos e à matéria carbonosa. A rocha tem textura lepidoblástica, definida pelos filossilicatos orientados.

O bandamento composicional é definido principalmente por níveis claros e escuros, refletindo maior ou menor contribuição de matéria carbonosa (fig. 3b).



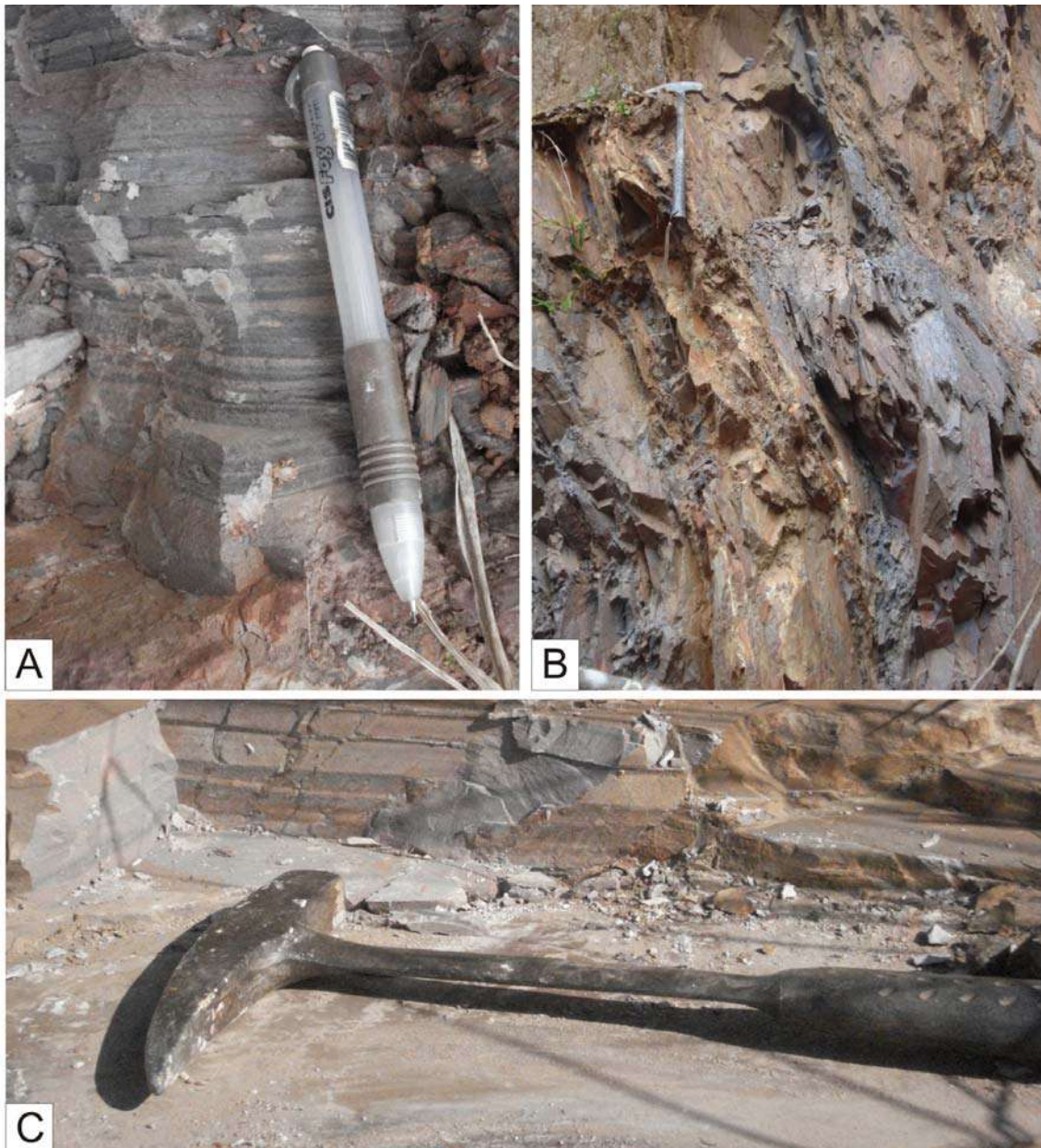


Figura 3b: afloramentos do filito cinza grafitoso. A) níveis claros e escuros refletindo maior ou menor contribuição de matéria carbonosa. B) planos íngremes de acamadamento sedimentar (S0). C) acamadamento sedimentar subhorizontal.

### Filitos vermelhos

Trata-se de um pacote de metapelitos a metassiltitos ricos em óxidos de ferro e metarenitos finos a muito finos intercalados, que podem ser agrupados numa mesma seqüência metassedimentar. Caracterizam-se por exibir ritimicidade na mudança entre bandas micáceas avermelhadas e bandas claras, predominantemente arenosas. (fig. 3c)

A rocha apresenta acamadamento sedimentar bem preservado, definido pela variação granulométrica e composicional, que se observa em pacotes amalgamados de granodescrescência ascendente. Nos estratos mais finos, observa-se laminação plano-paralela e nas camadas mais arenosas, por vezes é possível observar estratificações cruzadas de médio a pequeno porte e microestratificações cruzadas cavalgantes. Também são comuns nestas últimas dobras convolutas e estruturas de carga. Na interface entre estratos de granulometrias distintas, é possível observar ainda estruturas tipo *wavy* e *flaser* (figs. 3c, 3e, 3f).

A mineralogia dos níveis avermelhados é composta essencialmente por sericita (50-60 %), óxi-hidróxidos de ferro (20-30 %), quartzo (<10-20 %) e clorita, turmalina, zircão e rutilo como acessórios. Já os níveis claros são constituídos fundamentalmente por grãos de quartzo, envoltos em uma matriz sericítica (20 a 30 %).

A sericita, geralmente de granulação muito fina (<0,05mm), forma agregados de cristais alongados e orientados, intercrescidos com raros cristais de clorita. Nestes níveis, onde há uma maior concentração de micas, as estruturas tectônicas (clivagem ardosiana e de crenulação), são mais evidentes.

O quartzo ocorre em grãos anédricos, variando entre 0,05-0,4mm. Exibe extinção ondulante indicando que já foi submetido à deformação. Por vezes podem aparecer orientados pelo eixo maior conforme a clivagem ardosiana S1 ou pela crenulação S2 (figs. 3c, 3d).

Turmalina, rutilo e zircão ocorrem como cristais idiomórficos a subidiomórficos, disseminados, por vezes concentrados em níveis subparalelos ao acamadamento sedimentar e/ou à clivagem ardosiana. Variam entre 0,05-0,7mm (fig.3d).

As camadas avermelhadas possuem textura lepidoblástica, definida pelos filossilicatos orientados na foliação principal, enquanto as camadas claras possuem textura granular (primária) a granoblástica.

Nos litotipos considerados foi possível identificar uma paragênese metamórfica de fácies sub-xisto verde, zona da clorita, pela presença de raros cristais de clorita intercrescidos com sericita.

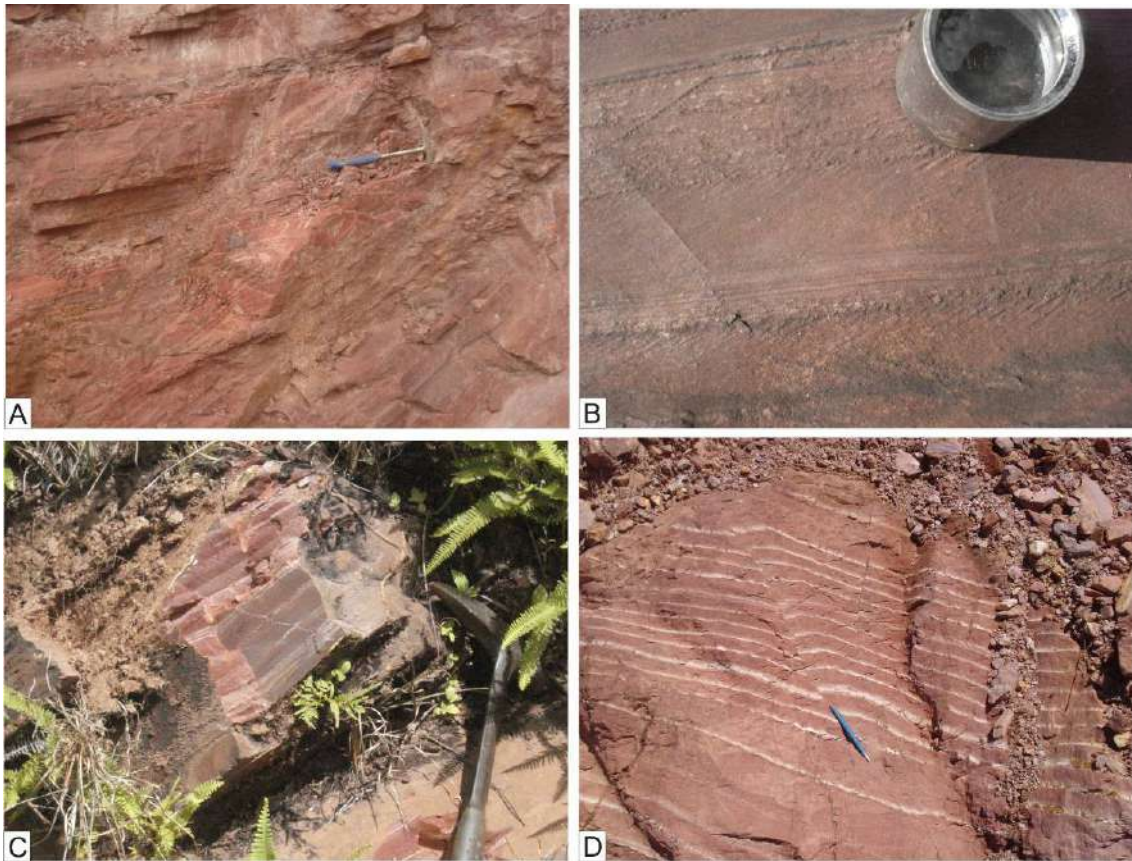


Figura 3c: metassiltitos ricos em óxidos de ferro intercalados com os metarenitos finos a muito finos (filito vermelho), encontrados adjacentes a região do antigo garimpo. Em A, afloramento mostrando através das linhas relativas aos planos de acamadamento sedimentar (S0), antiformal apertado. (martelo orientado aproximadamente paralelo a foliação (S1)). Em B, afloramento de chão onde é possível perceber a relação entre S0 orientados quase na horizontal e S1 orientados aproximadamente 30° a partir do S0. Destaca-se ainda uma melhor propagação da foliação S1 no nível de composição mais fina. Em C, afloramento mostrando mergulho dos estratos com relação à horizontal. Em D, afloramento mostrando as típicas e ritmadas intercalações composicionais, ao centro detalhe de falha com cinemática aparente sinistral. As fotografias têm orientação SSW-NNE.



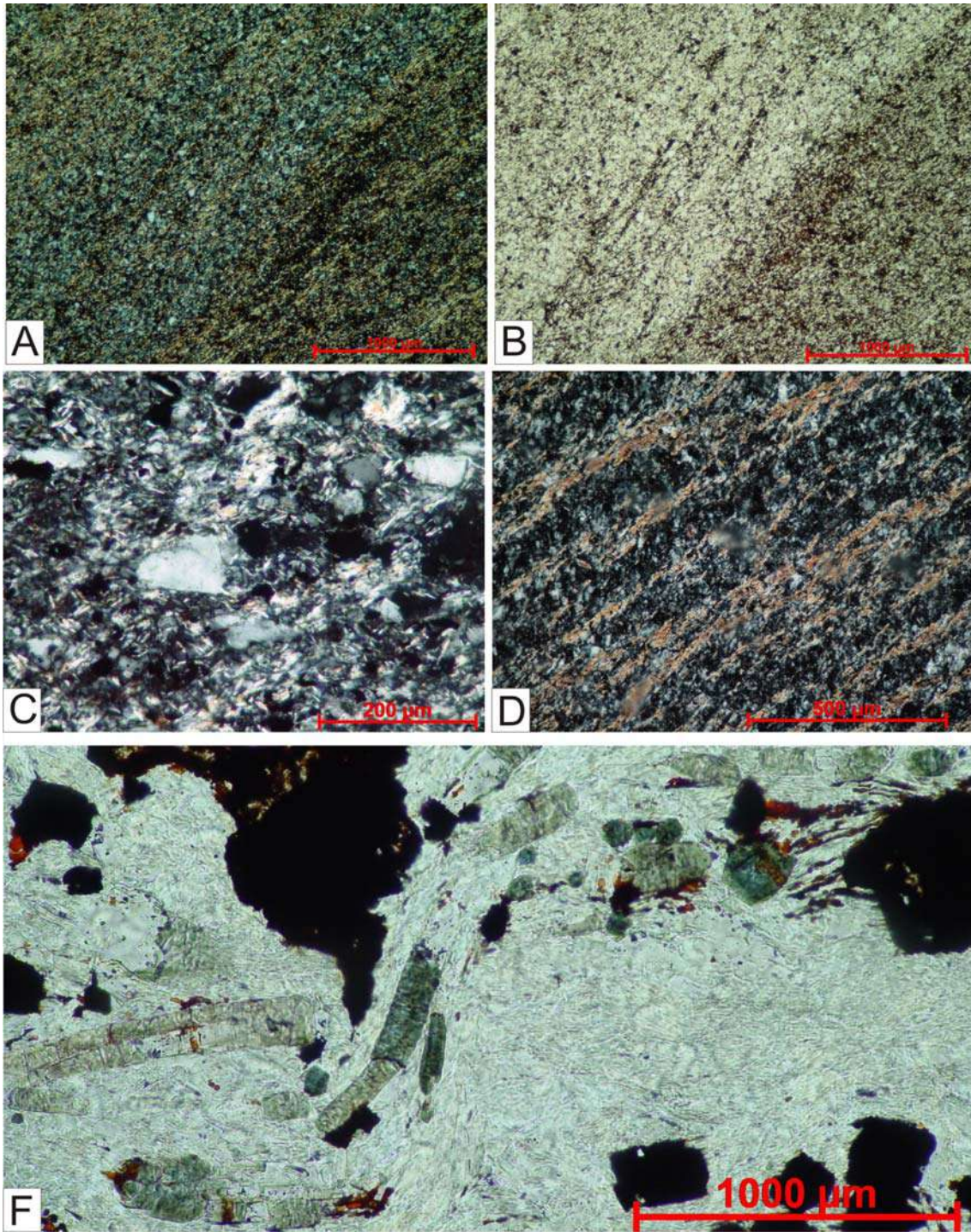


Figura 3d: aspecto microscópico do metassiltitos ricos em óxidos de ferro intercalados com os metarenitos finos a muito finos (filito vermelho). Em A (Nx) e B (N//), é possível distinguir entre os níveis claros e escuros a intercalação entre os metassiltitos e os metarenitos. Onde no nível escuro (devido aos óxidos de ferro) há domínio de filossilicatos (sericita). Nota-se em ambas a relação oblíqua entre S0 (linha limite entre claro e escuro) e S1 (representado pela orientação dos micáceos). C (Nx) e D (Nx) representam respectivamente domínios mais quartzoso e domínio intermediário entre quartzo e sericita, ambas as fotomicrografias em nicóis cruzados. Em F, detalhe para a turmalina dobrada.





Figura 3e: em A, dobras convolutas na parte inferior da amostra (fluxo de sedimento liquefeito) e acamadamento sedimentar (S0) definido pelo contato entre estratos vermelhos e brancos. Em B, também estrutura convoluta. Em C, acamamentos sedimentares com distintas laminações. Destaque para acamamento com estratificação ondulada simétrica na parte central da fotografia e falha com cinemática aparente sinistral (quase ortogonal ao S0). Fotografias com orientação aproximadamente SSW-NNE.

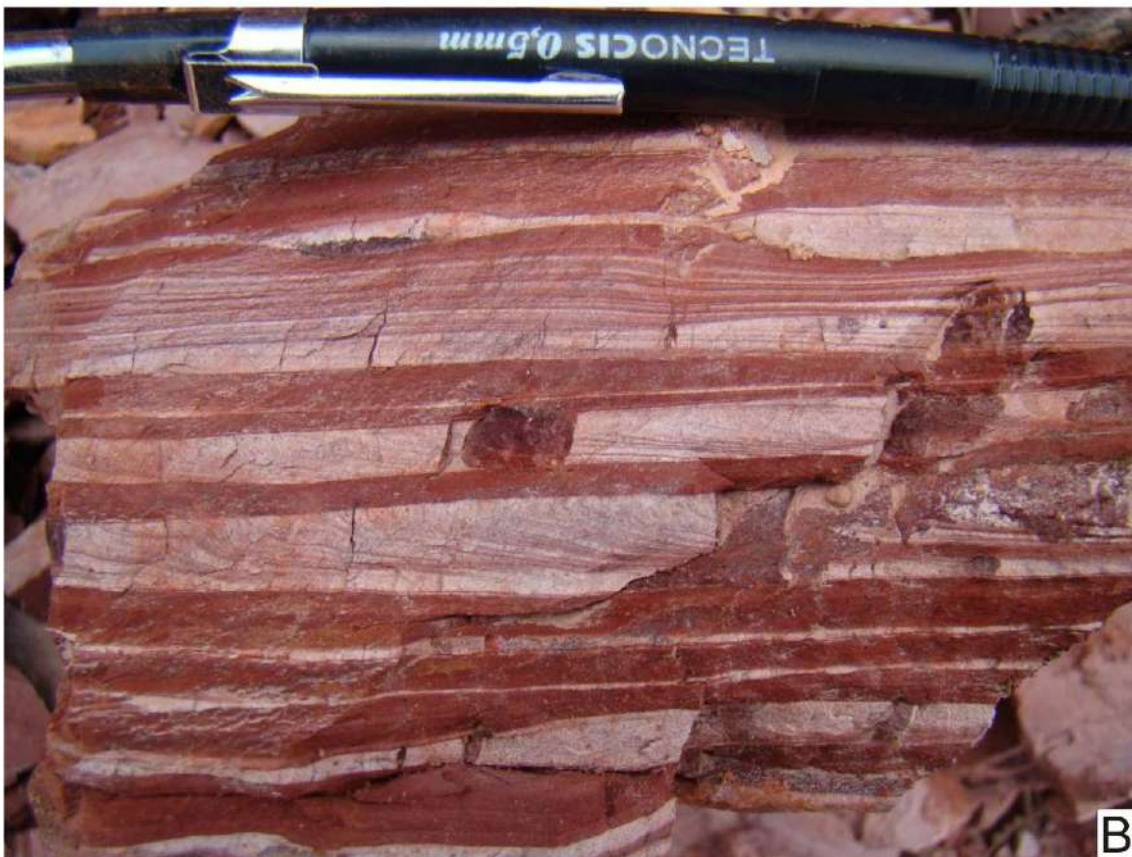


Figura 3f: em A, além da estratificação gradativa, observe a estrutura de carga (estrutura em chamas: língua de metassiltito na camada superior de metarenito devido à desigualdade na distribuição de carga) ao centro, resultando em dobra. Indicado pela seta amarela, estratificação *flaser*. Em B, Metassiltito com estrutura de marcas de onda e linsen.

### 3.1 AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO

A observação dos protólitos das rochas da região de Serra Pelada, juntamente com as estruturas sedimentares preservadas, sugere um ambiente sedimentar sob ação de processos de deposição por influência da gravidade (fluxos de massa). Na área de exposição do morro das Malvinas, há ocorrência de uma amálgama de pacotes que variam de arenito fino, geralmente com micro-estratificação cruzada, a siltito e a pelito, com laminação plano-paralela.

Esta seqüência foi interpretada como a porção distal de um leque subaquoso, resultado de diversos pulsos sedimentares, provavelmente associados a fluxos de turbidez. Não foi possível definir se tais fluxos estão associados a um ambiente marinho plataformal ou a um ambiente lacustre.

Berni (2009) define a seqüência de topo (SP2) como turbidítica distal. De acordo com essa interpretação, a Formação Serra Pelada (SP1 e SP2) representaria uma seqüência turbidítica incompleta, compreendendo os horizontes A a D da série de Bouma. Assim, os litótipos encontrados no morro das Malvinas e adjacências podem ser interpretados como pertencentes aos horizontes C e início de D (limitado pela presença de areia fina e silte).



## **4 - CARACTERIZAÇÃO DA DEFORMAÇÃO NA FORMAÇÃO SERRA PELADA**

Neste capítulo serão apresentados os resultados do trabalho de caracterização das estruturas observadas no pacote de filito vermelho aflorante no morro das Malvinas. Inicialmente serão expostos os dados coletados em cinco seções geológicas de ultradetalhe, realizadas nos taludes da antiga cava do garimpo de Serra Pelada (I, II, III, IV e V), assim como a integração desses dados em uma única seção. Posteriormente, serão caracterizadas e detalhadas as fases de deformação observadas e finalmente será apresentada uma proposta de integração desses dados com o contexto geotectônico regional.

### **4.1 SEÇÕES GEOLÓGICAS**

Para a realização das seções, foram criados fotomosaicos da seqüência de afloramentos correspondente a cada bancada, além de modelos esquemáticos desenvolvidos em campo e detalhados sobre as montagens fotográficas. Também foram incorporados estereogramas das medidas estruturais coletadas em cada conjunto de afloramentos. Todas as seções apresentadas possuem orientação NNE-SSW. As fotografias de detalhes serão apresentadas também no item 4.2, caracterização das fases de deformação.

Foram reconhecidas quatro famílias de estruturas, sendo uma primária, associada à deposição sedimentar, duas de caráter dúctil (D1 e D2) e uma terceira, que agrupa as estruturas de caráter rúptil a rúptil-dúctil (D<sub>R</sub>).

#### Seção / Bancada-I:

Esta seção (fig. 4.1a) representa a bancada de mais alta cota topográfica. Nela é possível observar uma grande exposição de dobras parasíticas e ainda estruturas de caráter rúptil. De SSW para NNE, observa-se inicialmente um conjunto de dobras D1 com assimetria em S, que gradativamente mudam para um padrão tipo M. Os eixos destas dobras mergulham suavemente para WSW, com expressivo espalhamento anti-horário das medidas para S observável no estereograma. Trata-se provavelmente de



uma rotação dos eixos relacionada à superposição de deformações. As estruturas rúpteis observadas são pequenos falhamentos geralmente associados a regiões de charneiras de dobras D1 (orientam-se aproximadamente paralelos a estruturas plano-axiais).

#### Seção / Bancada-II:

Nesta bancada (fig. 4.1b), a continuidade lateral de afloramentos é prejudicada pela existência de um grande cone de dejeção. A SSW desta cobertura, é possível observar um padrão estrutural muito semelhante ao da seção I, contendo dobras com assimetria em S que gradativamente adquirem um padrão tipo M. Na outra porção exposta do afloramento, observa-se a predominância das dobras em M. Ao analisar os estereogramas, observa-se um grande espalhamento das medidas de S0, evidenciando aqui uma zona de charneira com dobras parasíticas de uma dobra maior D1. O espalhamento das medidas de eixos D1 também é expressivo, indicando novamente a superposição de eventos tectônicos, o que também é evidenciado pela presença de crenulações D2 e fraturas D<sub>R</sub>. O estereograma de estruturas rúpteis não mostra um padrão claro de concentração das medidas, pelo fato de estarem somadas diferentes famílias de fraturas.

#### Seção / Bancada-III:

Localiza-se junto ao pavimento onde está situado o mirante da antiga cava. Por apresentar uma longa extensão lateral e um pequeno desnível vertical, esta seção foi segmentada em a e b (figs. 4.1c e d). Na primeira (a) observa-se a contínua exposição do acamadamento sedimentar com baixo mergulho para SSE, subparalelo à foliação S1, bem como o flanco inferior (sinclinal) de uma dobra com assimetria em Z. Na segunda (b) observa-se o flanco superior (anticlinal) da mesma dobra assimétrica. Nota-se no flanco invertido uma estrutura sedimentar revirada (microestratificação cruzada cavalgante). O caráter subparalelo de S0 com relação a S1 observado no segmento 3a é evidenciado pela relativa coincidência de distribuição de medidas nos estereogramas. Já na bancada 3b, onde a maior parte das medidas foi feita no flanco invertido da dobra, é possível observar um

descolamento entre os estereogramas. Em ambas as seções, um leve espalhamento de S1 está provavelmente associado à atuação de D2 e/ou D<sub>R</sub>. Um maior número de medidas de crenulações S2 pôde ser efetuado nessa bancada, indicando planos axiais íngremes de direção N45E e eixos com mergulho suave para SW. Estruturas rúpteis não mostraram um padrão definitivo no estereograma.

#### Seção / Bancada-IV:

Nesta bancada não foi possível efetuar a montagem do fotomosaico correspondente, pela instabilidade e pequena dimensão do pavimento. A seção esquemática apresentada (fig. 4.1e) é baseada no croqui detalhado elaborado em campo, evidenciando múltiplos dobramentos parasíticos D1 com assimetria em Z, ressaltado pela variação da orientação do acamamento sedimentar (S0). Foi ainda registrada a presença de uma expressiva estrutura rúptil, com diversas ramificações de fraturas sigmoidais, tratando-se de uma zona de falha com movimento sinistral (aparente). A existência desta estrutura modifica o ângulo e a direção de caimento tanto de planos S1 quanto de S2, o que indica basculamento entre os blocos falhados.

#### Seção / Bancada-V:

Esta seção foi dividida em duas (a e b) pela sua extensão lateral (figs. 4.1f e g). Há uma grande exposição de dobras D1 tipo M, com planos axiais de baixo mergulho, onde se identifica um alto ângulo entre S0 e S1. Foi possível reconhecer aqui uma maior penetratividade da crenulação S2. Observa-se no conjunto que os planos S0 dobram levemente, assim como os planos S1, configurando um antiformal aberto D2, de plano axial íngreme, com estilo tectônico contrastante em relação às dobras D1 observadas em outras bancadas. Observam-se ainda diversas falhas D<sub>R</sub>, especialmente no segmento Va, com movimentação sinistral reversa. Há uma segunda família de estruturas D3, que representam uma zona de falha no segmento Vb, associadas a fraturamentos sigmoidais e a discretas dobras de arraste com aparente movimento dextral. Esta estrutura é responsável pelo espalhamento das medidas S2 registradas no respectivo estereograma, indicando novamente o basculamento entre os blocos fracionados por D<sub>R</sub>. Os segmentos Va e Vb em

conjunto representam o núcleo da charneira do megasinclinal D1 exposto no morro das Malvinas. Trata-se naturalmente de uma zona de fraqueza, o que permitiu a instalação tanto de redobramento D2 mais expressivo quanto de falhamentos  $D_R$ .

#### Seção Integrada:

Foi realizada a partir da compilação de todas as seções, na mesma escala, sobrepostas à fotografia panorâmica, mostrando a dimensão da megadobra D1 presente no morro das Malvinas, sendo o traço vermelho aproximadamente a forma teórica do seu invólucro (fig. 4.1h). É possível notar que a área de estudos representa uma porção do flanco superior do sinclinal de Serra Pelada. Observam-se dobras parasíticas de diversas escalas, variando entre apertadas e por vezes abertas. De SSW para NNE, há inicialmente padrões de dobramento em S, M e Z, que em conjunto indicam a presença de uma dobra parasítica assimétrica de maior comprimento de onda que aquelas expostas no afloramento. Na seqüência, há uma grande concentração de dobras em M e de estruturas pós-D1 superpostas, que indicam a proximidade com o núcleo da charneira principal. No conjunto, é possível observar a vergência para NNW da estrutura, quase ortogonal às direções de eixos D1. Foi possível reconhecer ainda um redobramento D2, na parte central do sinclinal, conferindo uma inflexão aberta.

## Seção / Bancada - I

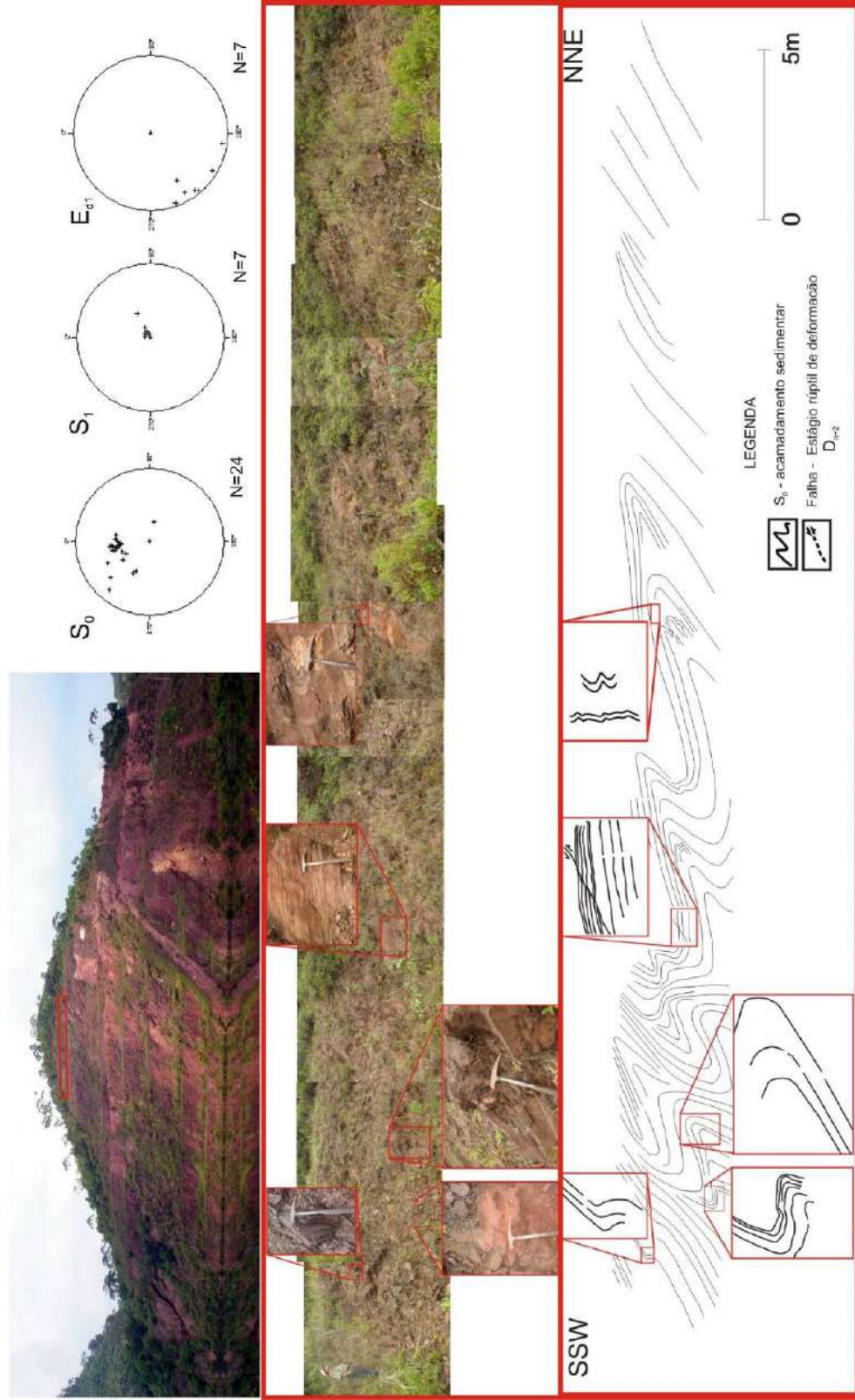


Figura 4.1a: composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada - I

## Seção / Bancada - II

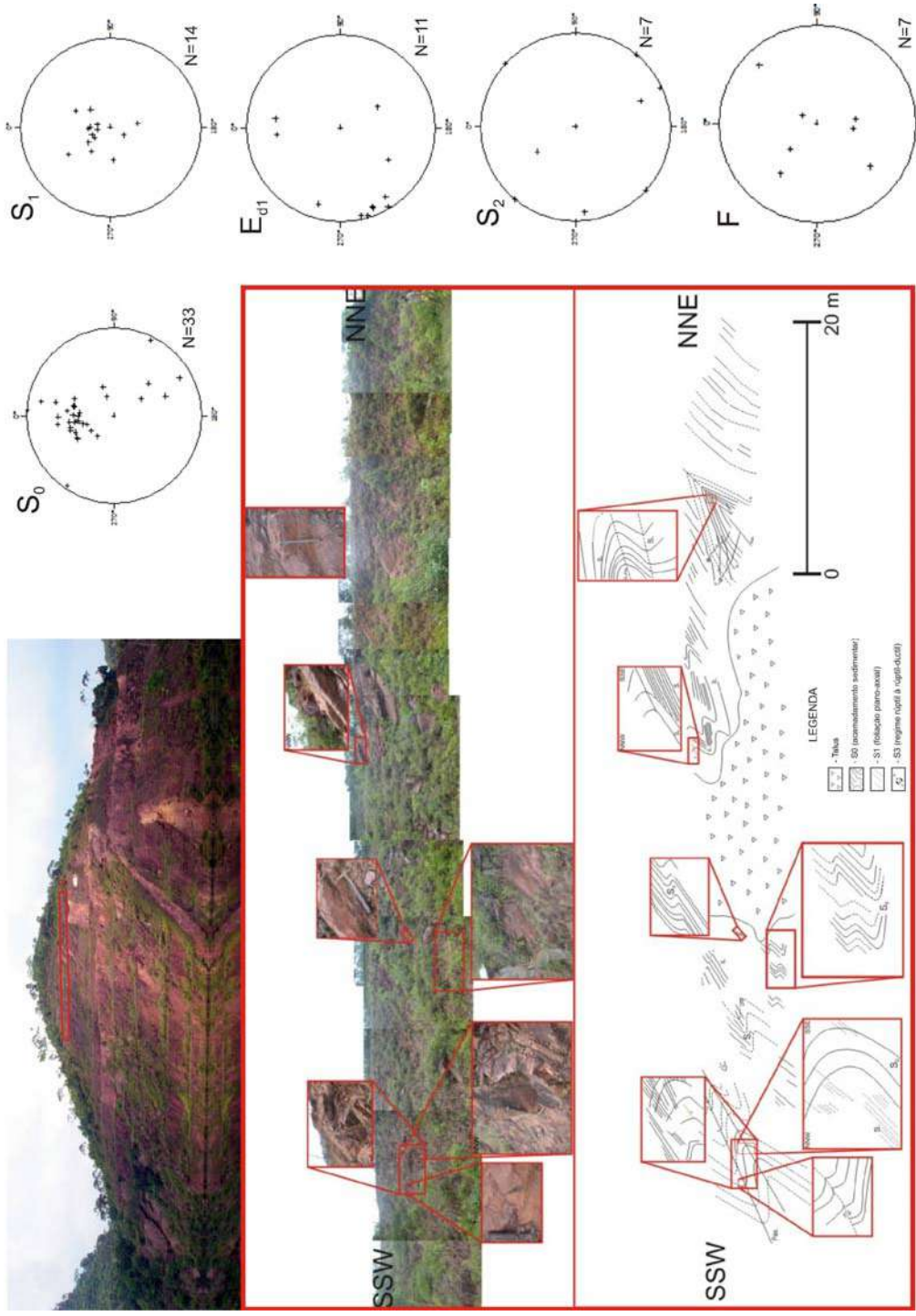


Figura 4.1b: composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada - II



# Seção / bancada - IIIa

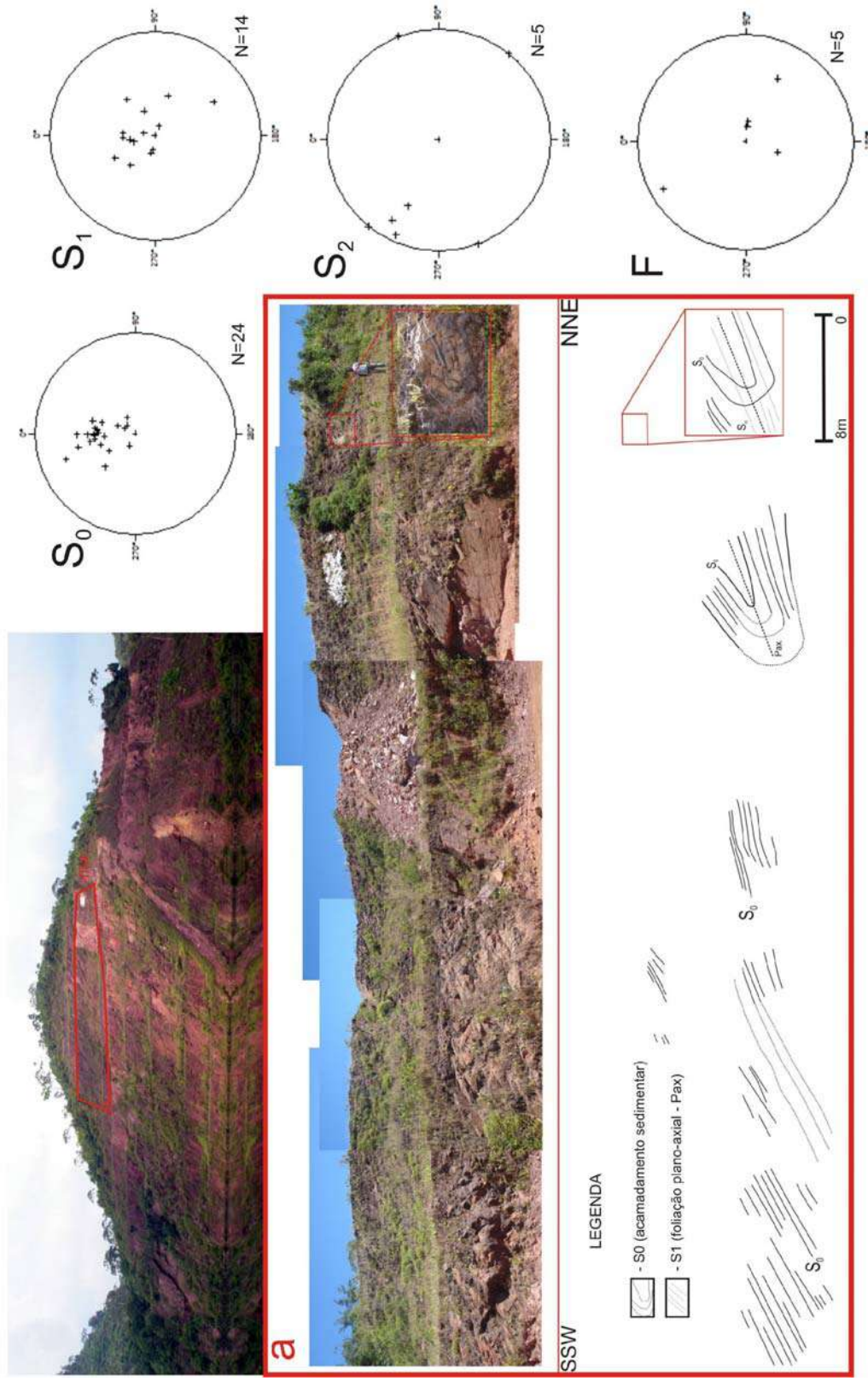


Figura 4.1c: composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada - IIIa

## Seção / Bancada - IIIb

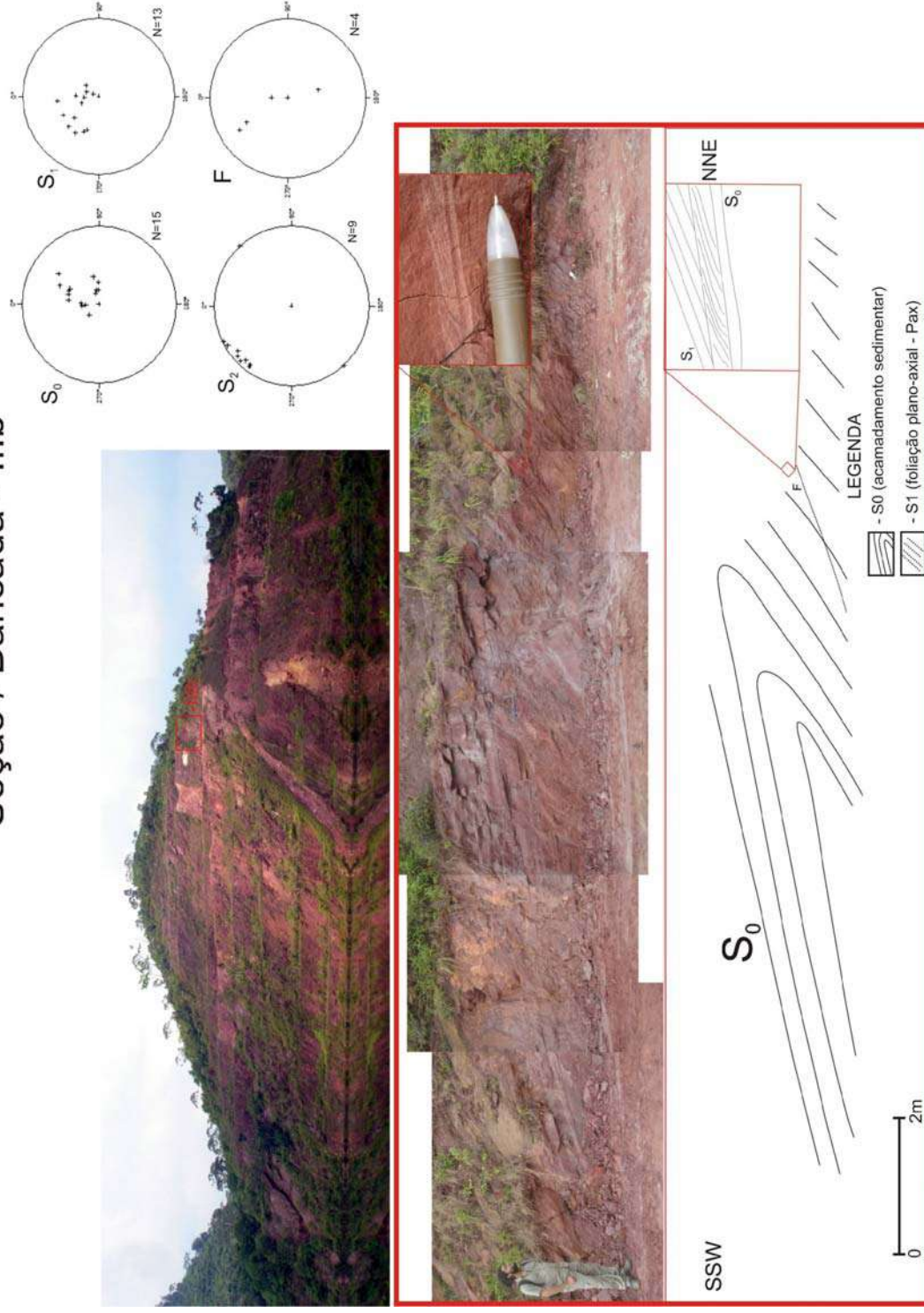


Figura 4.1d: composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada - IIIb

## Seção / Bancada - IV

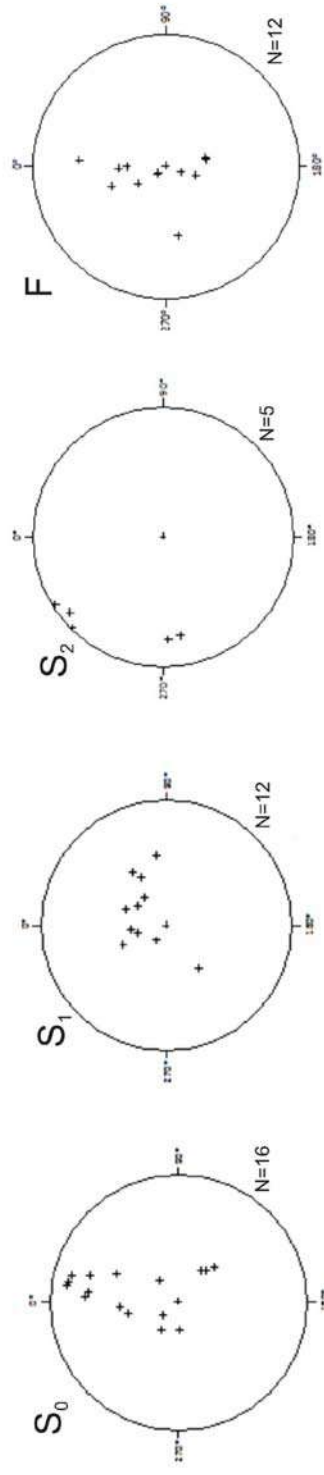
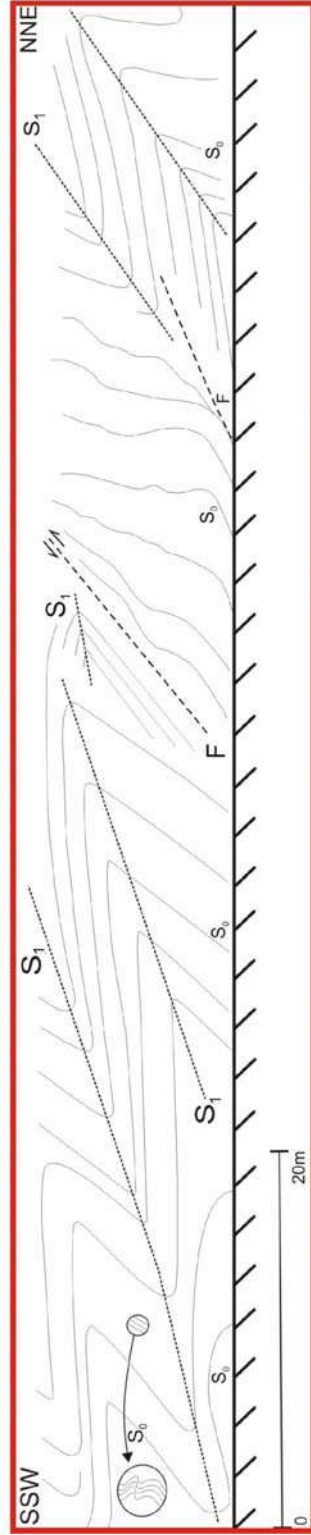


Figura 4.1e: composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada - IV



## Seção / Bancada - Va

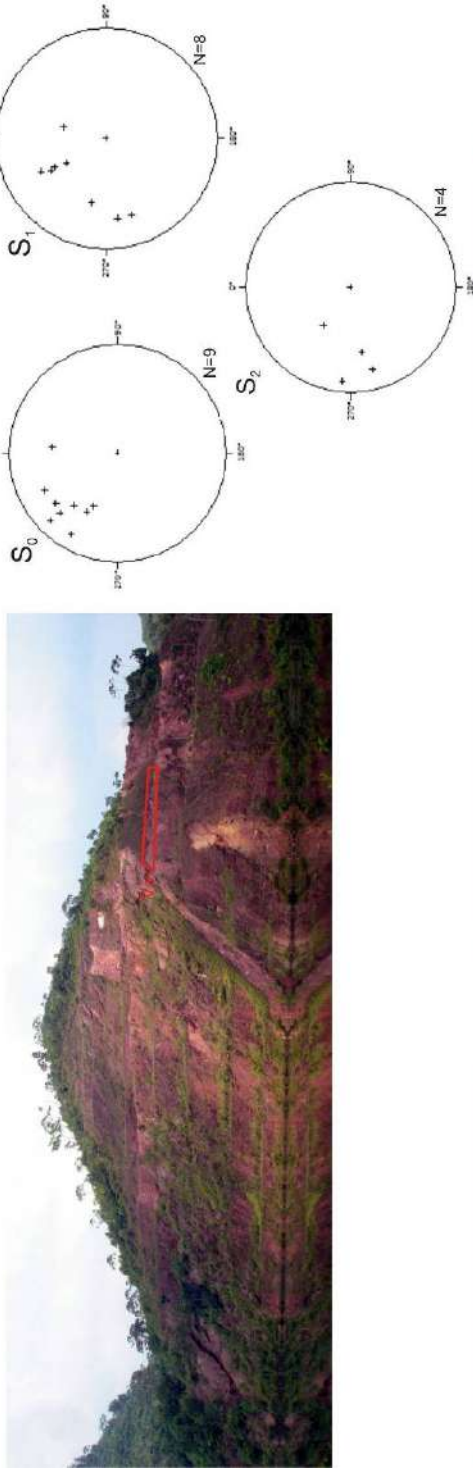


Figura 4.1f: composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada - Va

# Seção / Bancada - Vb

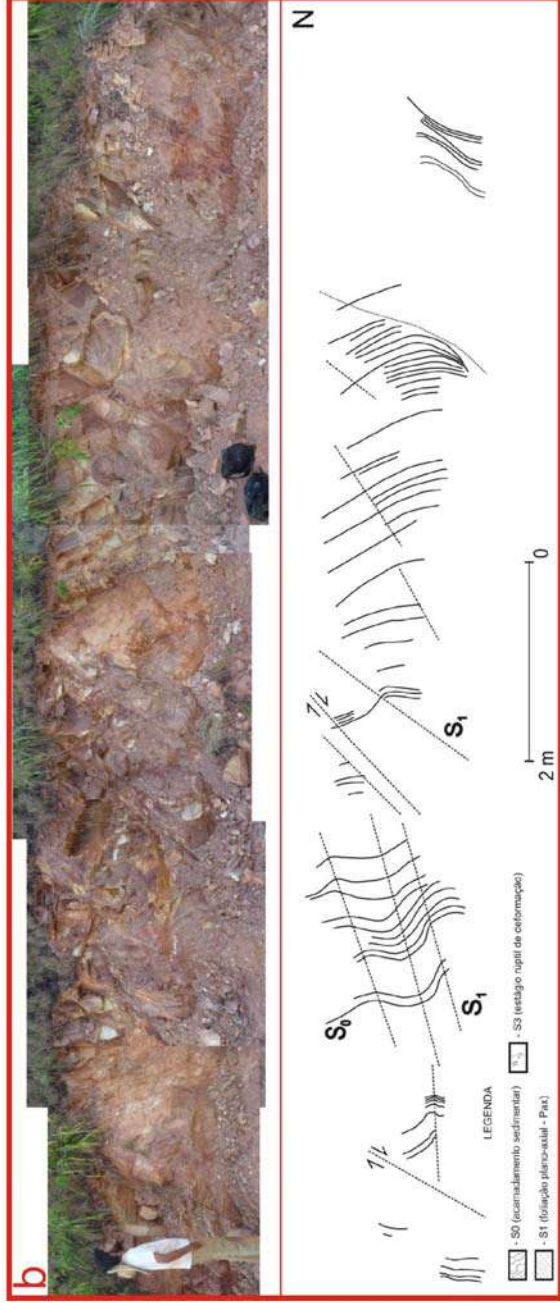
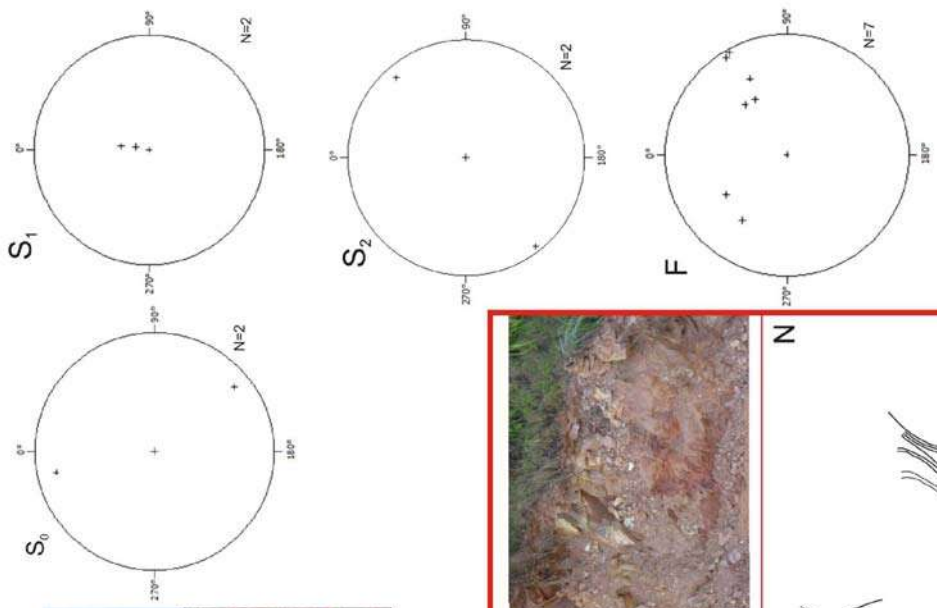
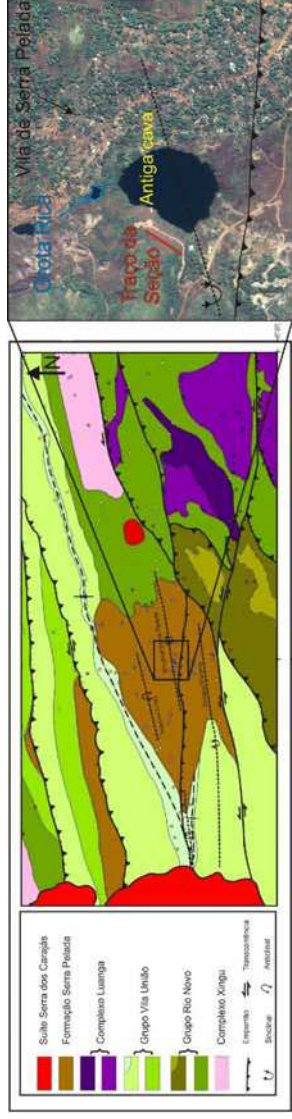


Figura 4.1q: composição de fotografias, estereogramas e seção geológica referente à bancada - Vb





# Seção Integrada Serra Pelada

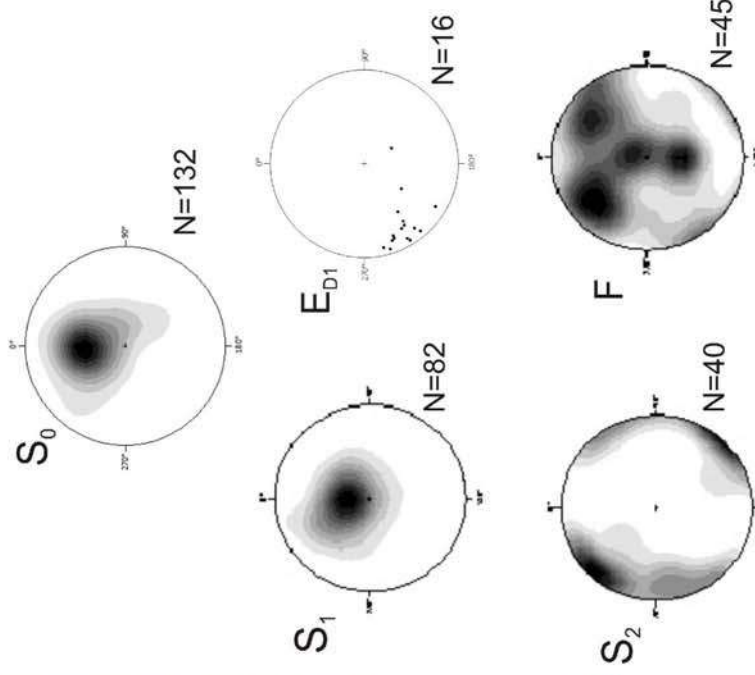
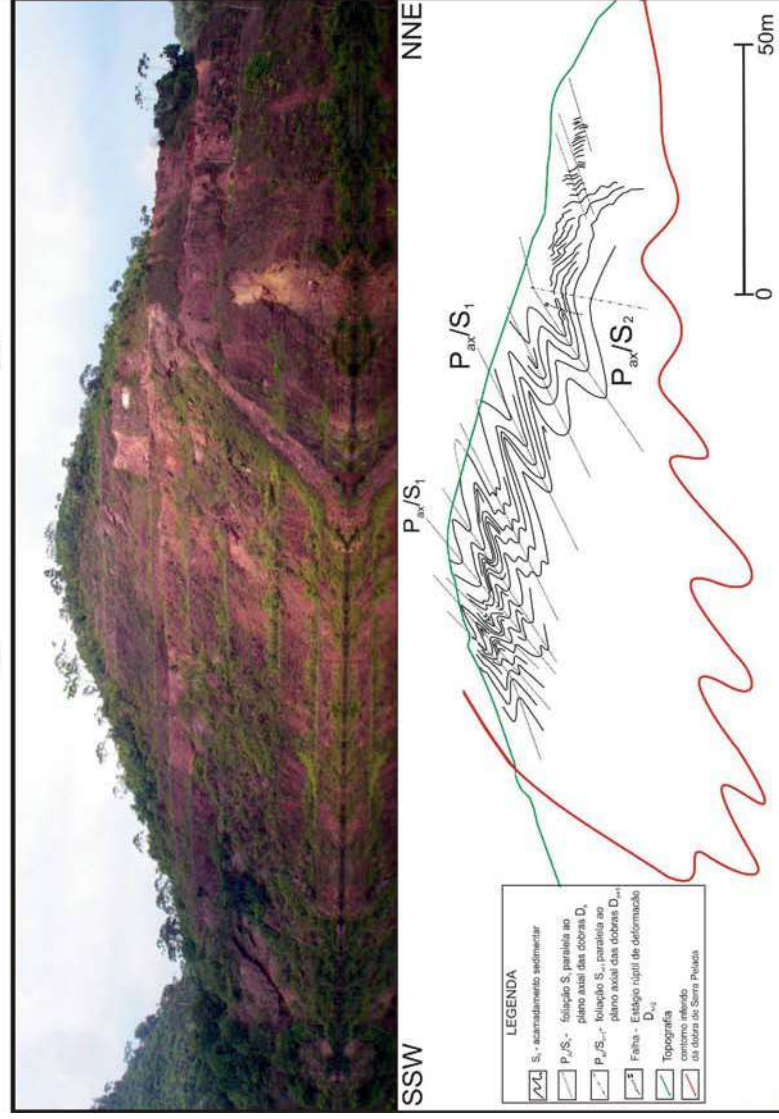


Figura 4.1h: composição de fotografia, estereogramas e seção geológica referente à Seção integrada

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS FASES DE DEFORMAÇÃO

As observações de campo e as análises microestruturais permitiram o agrupamento das estruturas em três famílias locais, duas de caráter dúctil (D1 e D2) e uma terceira de caráter rúptil a rúptil-dúctil ( $D_R$ ), uma vez que as estruturas sedimentares foram tratadas no capítulo anterior (fig. 4.2a).

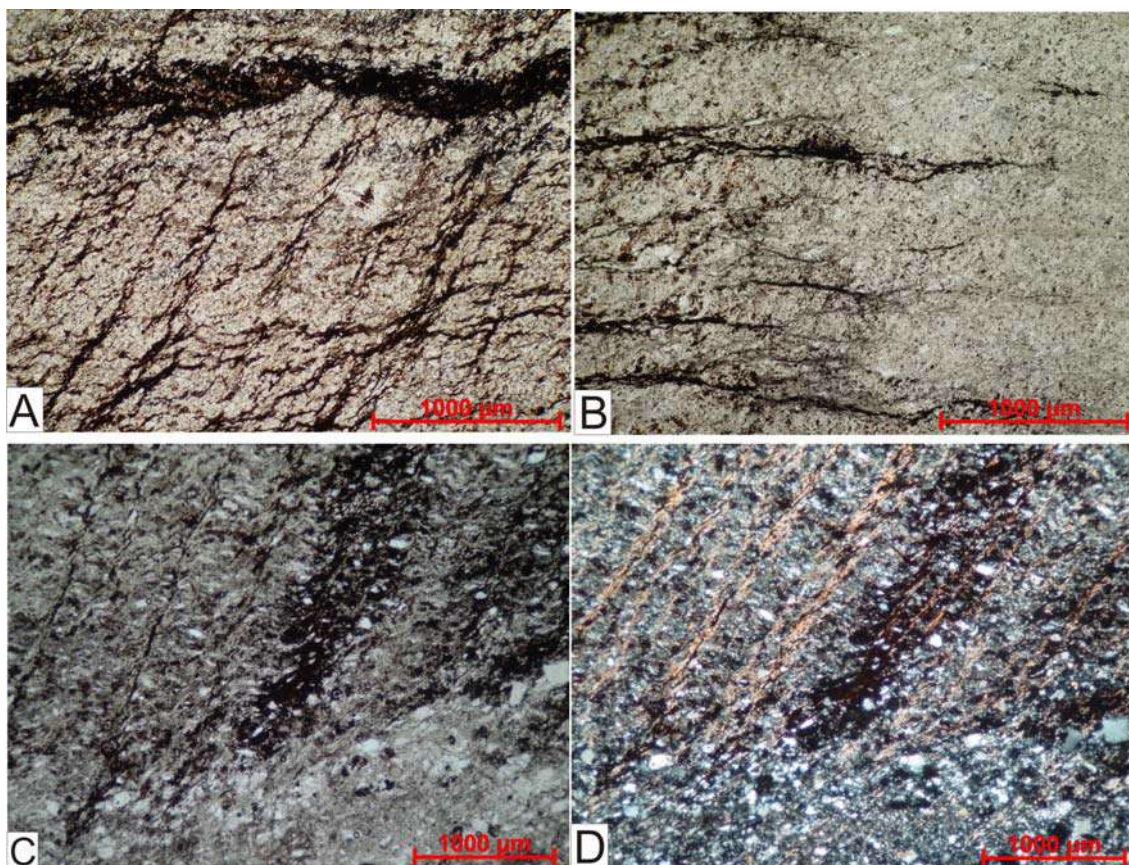


Figura 4.2a: aspecto microscópico mostrando as principais estruturas observáveis. Em A (N//), pode-se observar S0 (contraste entre nível claro e escuro), S1 (linhas escuras subparalelas ao S0) e S2 (linhas escuras orientadas subverticalmente). Em B (N//), da esquerda para direita, há uma diminuição da persistência da clivagem espaçada S2 (linhas escuras orientadas horizontalmente) até um limite vertical mais ou menos ao centro da imagem. Diferenças reológicas explicam esse desenvolvimento diferenciado da clivagem S2, onde à esquerda existe uma litologia mais competente (metassiltitos) contrastando a uma menos competente (metarenito) à direita. Em C (N//), aspecto microscópico mostrando diferenças reológicas. Em D (Nx), na parte superior das fotomicrografias há domínio de minerais micáceos (sericita) com desenvolvimento nítido de clivagem S2 (orientadas NE-SW da foto), em contraposição ao domínio quartzoso localizado na parte inferior.

## 4.2.1 FASE DE DEFORMAÇÃO D1

A primeira fase dúctil (D1) foi responsável pela geração do sinclinal recumbente de Serra Pelada e suas dobras parasíticas, além da foliação tectono-metamórfica principal. (Fig. 4.2.1a)

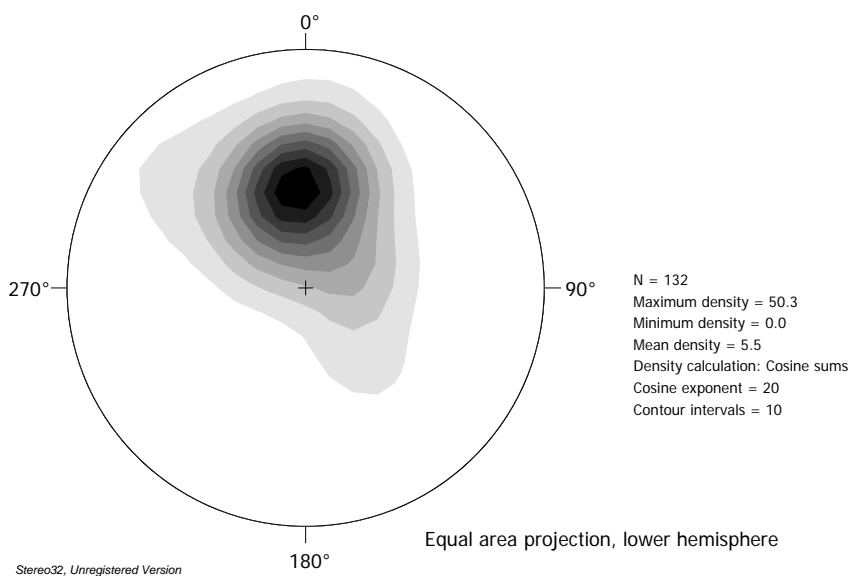


Figura 4.2.1a: Projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 132 medidas de pólos do acamadamento sedimentar S0.

## FOLIAÇÃO S1

A foliação S1, por diferenças reológicas, se desenvolveu como uma clivagem espaçada nos níveis mais arenosos e, nos níveis mais silto-argilosos, como uma clivagem ardosiana. S1 tem orientação média 177/20 (fig.4.2.1b) e intercrescidos nestes planos ocorrem minerais micáceos de fácies sub-xisto verde. No estereograma, é possível observar um leve arqueamento dos dados estruturais, condizente com os redobramentos D2 observados em campo (figs. 4.2.1c, d, e).



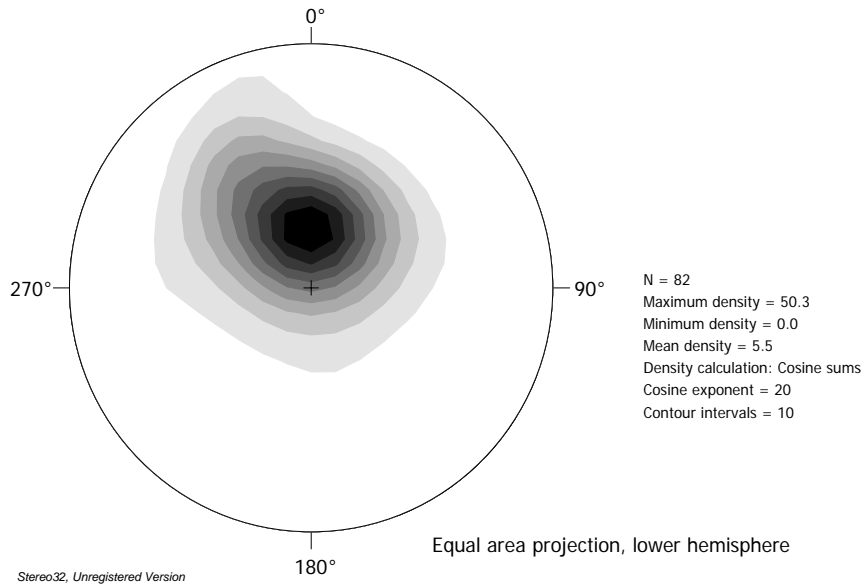


Figura 4.2.1b: Projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 82 pólos de medidas da foliação principal S1.

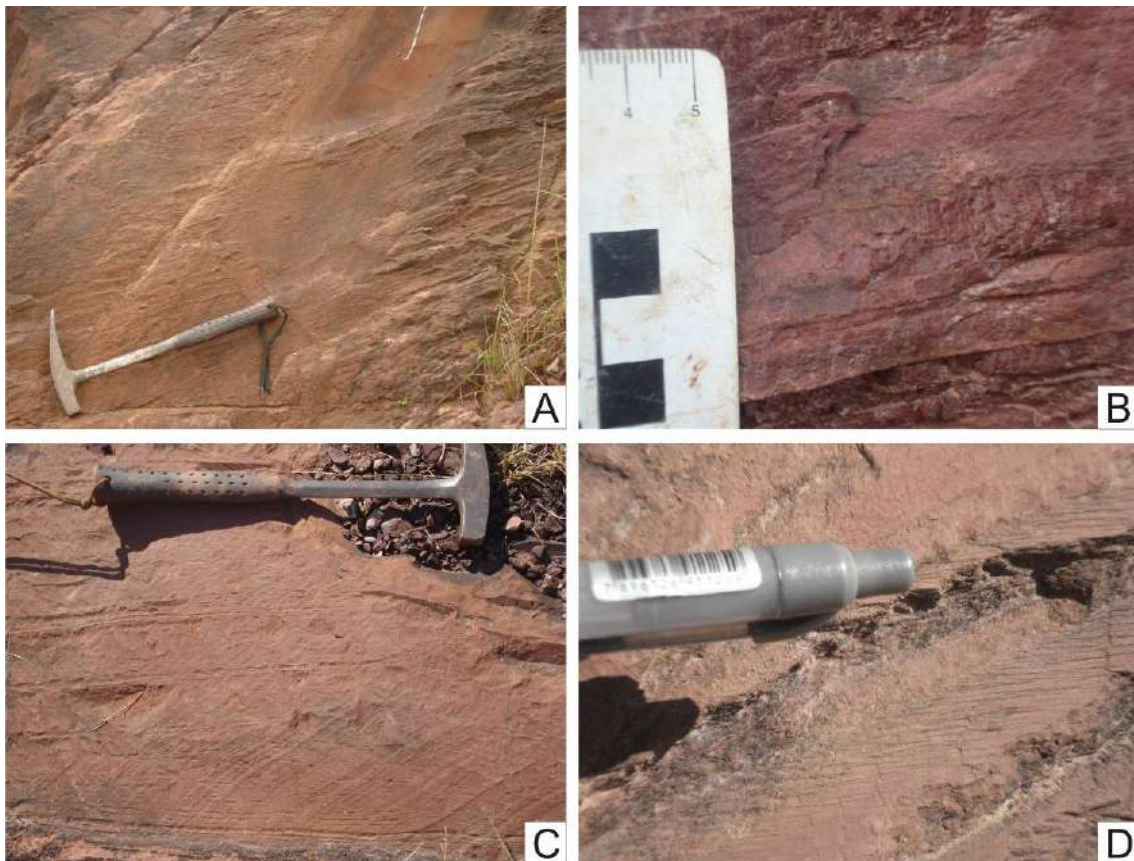


Figura 4.2.1c: fotografias mostrando as diversas ocorrências da foliação principal (S1) e sua relação com o acamamento sedimentar (S0); Em A, afloramento exibindo foliação principal (paralela ao martelo) com ângulo de aproximadamente 30° em relação ao acamamento. Já em B, a relação da foliação S1 com o S0 é quase de 90°; Em C, afloramento de chão onde o S0 está paralelo ao martelo. Na fotografia D, detalhe da lineação de interseção entre a foliação ardósiana (S1) e os planos de acamamento sedimentar.

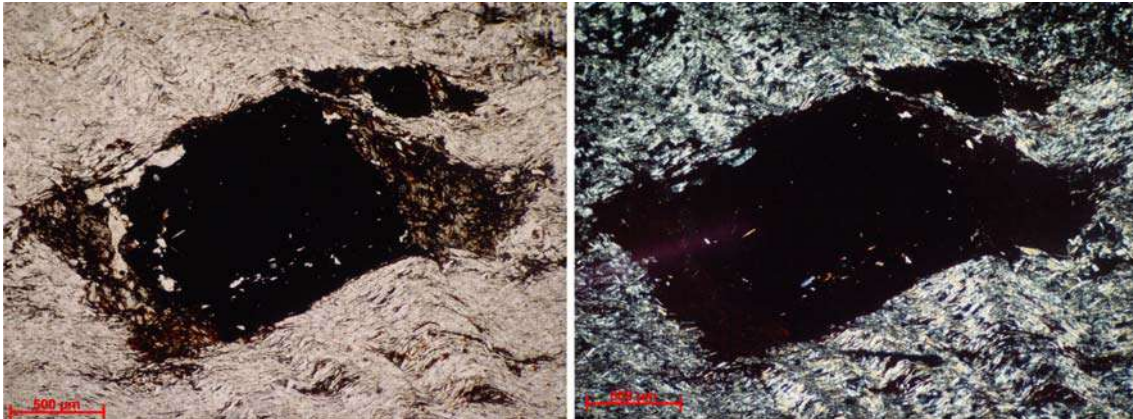


Figura 4.2.1d: Porfiroblasto de Oxido de Fe (pré ou sin-D1), com sombra de pressão assimétrica, relação *stair stepping* com indicação cinemática sinistral.

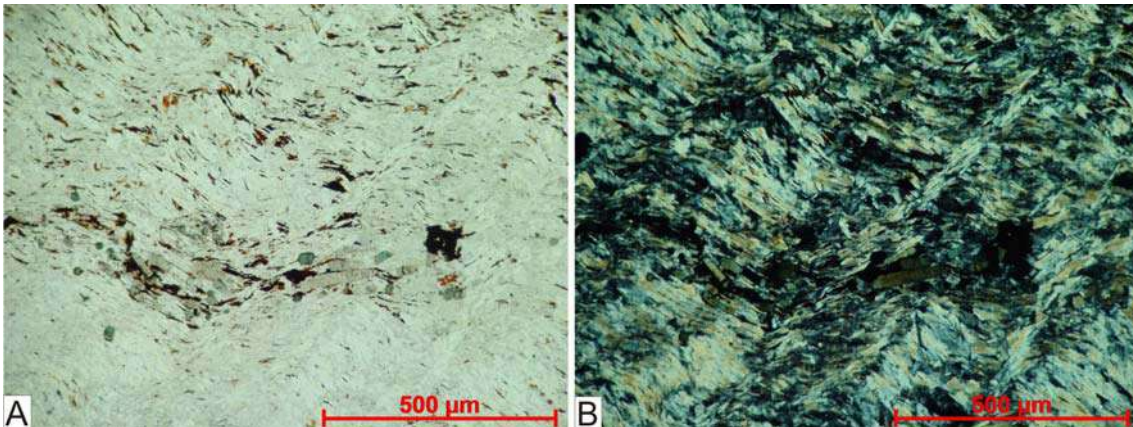


Figura 4.2.1e: em A e B (Nx) aspecto microscópico da foliação S1 um pouco crenulada; mineralogia composta essencialmente de filossilicatos (sericita) orientados á partir do canto superior esquerdo para o canto inferior direito, como acessórios turmalinas ao centro e opacos.

## DOBRAS D1

As dobras D1 foram observadas em várias escalas e possuem planos axiais paralelos à foliação S1 e eixos caindo aproximadamente 8 graus para SW (fig.4.2.1e), como pode ser observado no estereograma a seguir. Apresentam forte assimetria e vergência para NNW, variando de abertas a apertadas (figs 4.2.1f, g, h, i). Neste trabalho foi descrito um conjunto de dobras parasíticas que são responsáveis pela configuração do flanco superior do megasinclinal recumbente de Serra Pelada.

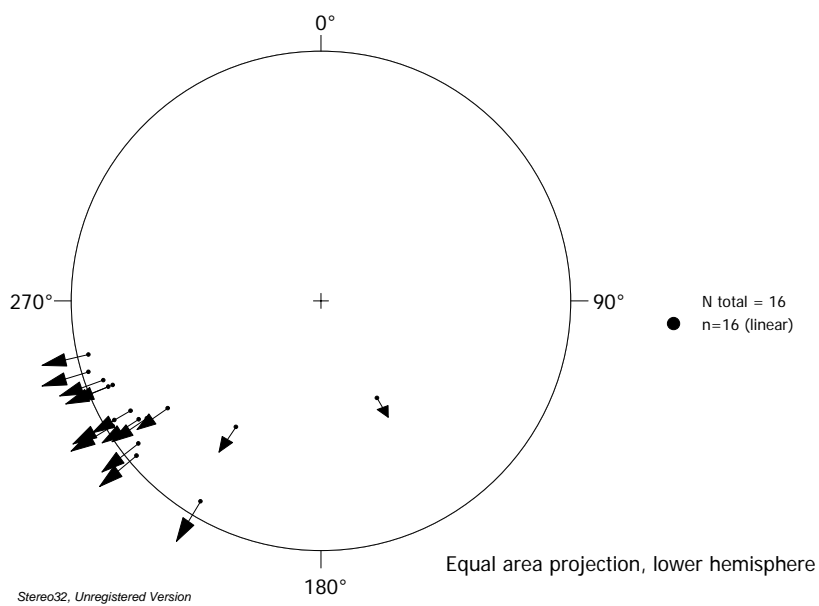


Figura 4.2.1f: Projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 16 medidas de eixos de dobra  $D_1(E_{D1})$ .





Figura 4.2.1g: fotografias ilustrando as várias formas de dobramento parasítico; afloramento de sinclinal apertado em A e anticlinal em B; em C descontinuidade rúptil (S3) associado à região de charneira; grande bloco rolado de um dos taludes detalhados anteriormente, representativo a um par sinforme / antiforme; em E, paralelo ao martelo, estruturas S0 exibindo dobras em “S” evoluindo para dobras em “caixa”; sincinal em F, salientado pelas reentrâncias das superfícies de acamamento sedimentar. As fotografias possuem orientação aproximadamente SSW-NNE.





Figura 4.2.1h: afloramentos mostrando as diversas geometrias das dobras parasíticas em A e B; destaque na foto C para S0 verticalizado e compondo dobras tipo “M”; em D, superfícies dobradas (anticlinal, com eixo entrando na fotografia) apresentando flancos dobrados.



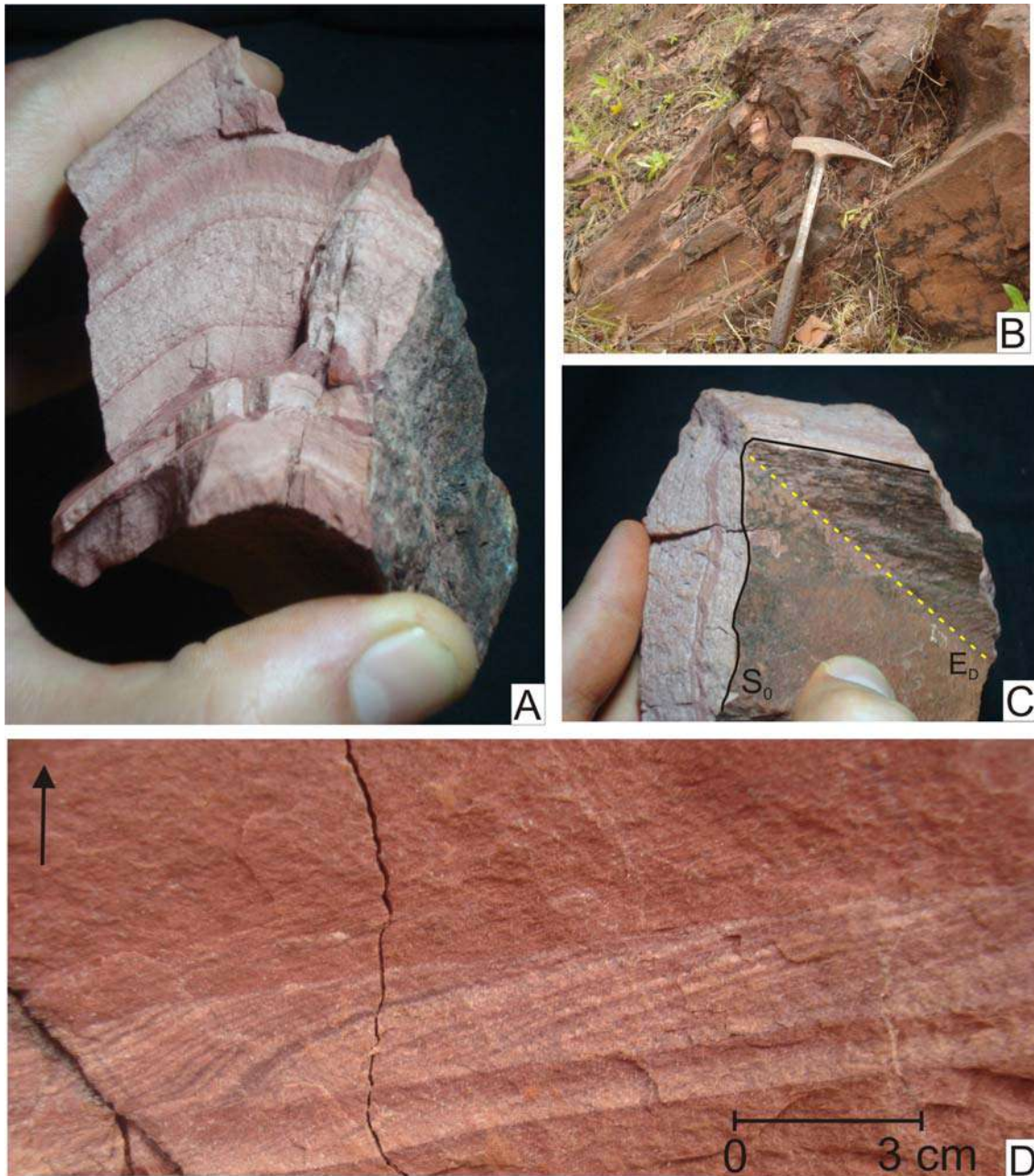


Figura 4.2.1i: Aspecto macroscópico da fase de deformação D1; em A e C, dobras parasíticas em escala de amostra de mão, destaque para a linha de charneira e lineação de interseção no flanco direito da dobra em C; em B anticlinal com eixo entrando na fotografia. Em D, Estrutura *climb ripple* de ponta à cabeça (a seta preta indica topo do afloramento), localizadas no flanco invertido de uma das dobras parasíticas do sinclinal de Serra Pelada.



Figura 4.2.1j: representa uma amostra de mão, mostrando estruturas primárias (estratificação cruzada) alojadas em região de charneira de dobra (dobra parasítica, D1). Observar a superfície de reativação (acamamento sedimentar, S0) dobrada.

#### 4.2.2 FASE DE DEFORMAÇÃO D2

As estruturas D2 são oblíquas em relação a S1, representadas por dobramentos suaves a abertos e por uma clivagem de crenulação pouco penetrativa, com orientação média 133/75, concentradas principalmente em regiões de charneiras D1.

#### FOLIAÇÃO S2

A foliação S2 foi caracterizada como uma clivagem de crenulação, marcada por dissolução no domínio da clivagem e pelo raro crescimento de minerais micáceos, indicando condições de metamorfismo semelhantes às de D1 durante sua formação (fig.4.2.2a). No estereograma, observa-se um espalhamento das medidas de S2, provavelmente associado ao basculamento de blocos por falhamentos pós-D2, observado em campo. A ocorrência de S2 é

relativamente restrita aos flancos de dobras D1 (zonas de fraqueza), evidenciando sua pouca penetratividade (figs 4.2.2b, c, d).

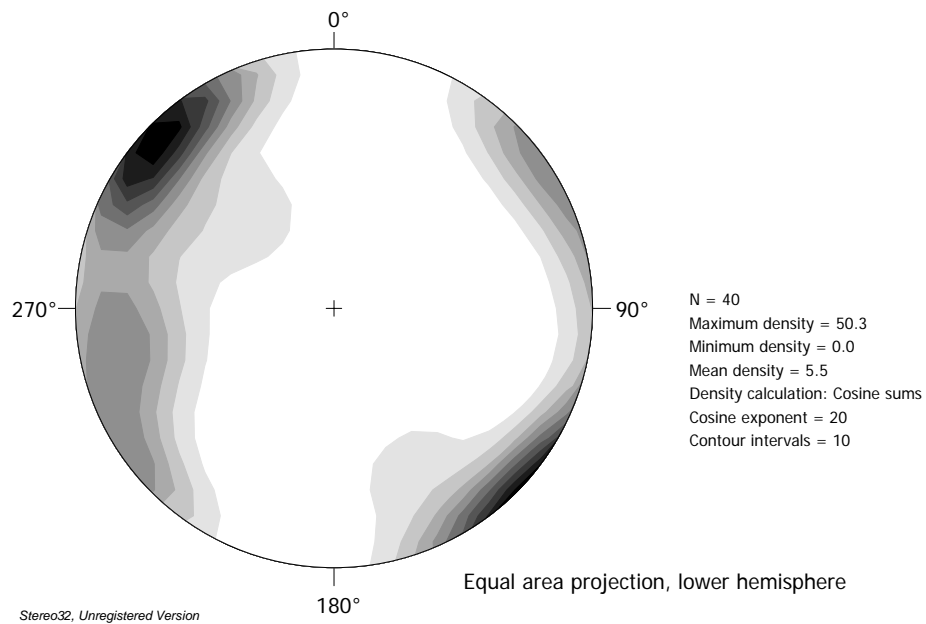


Figura 4.2.2a: Projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 40 pólos medidas de  $S_2$  (clivagem de crenulação).

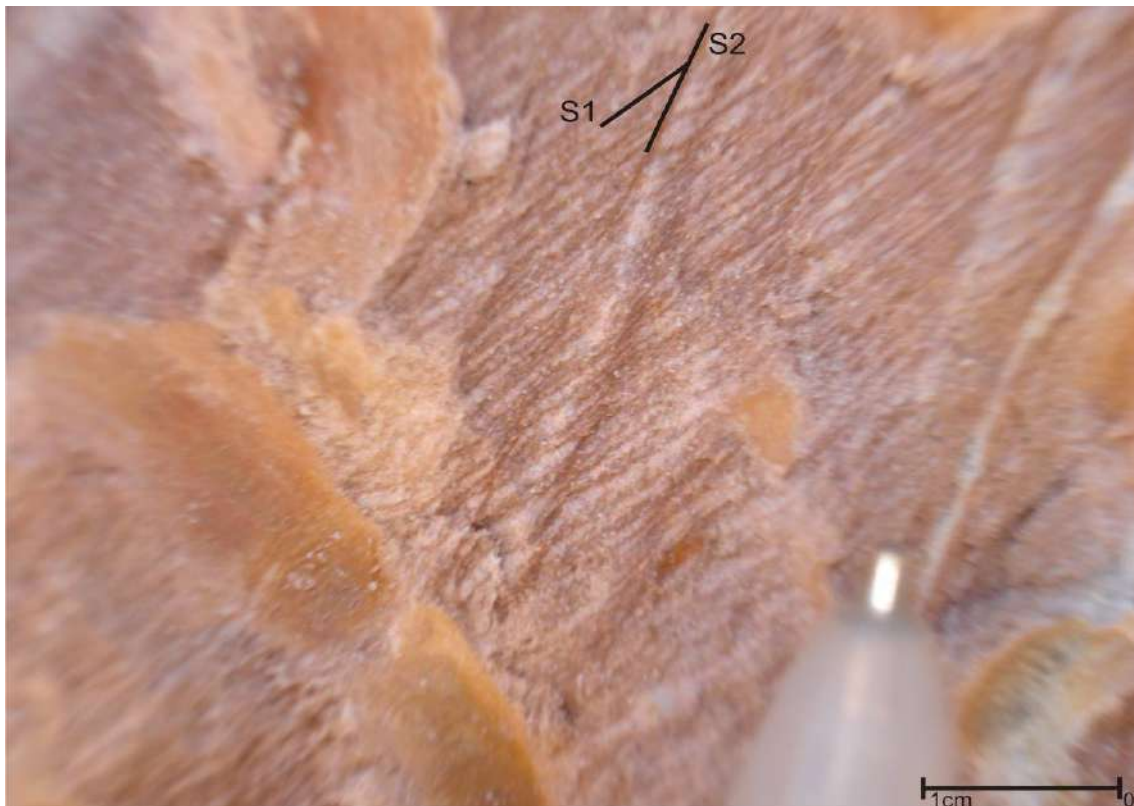


Figura 4.2.2b: aspecto megascópico da segunda foliação sobreposta ( $S_2$ -clivagem de crenulação). Detalhe para a relação de corte entre a foliação  $S_1$ (ardosiana) e  $S_2$ .



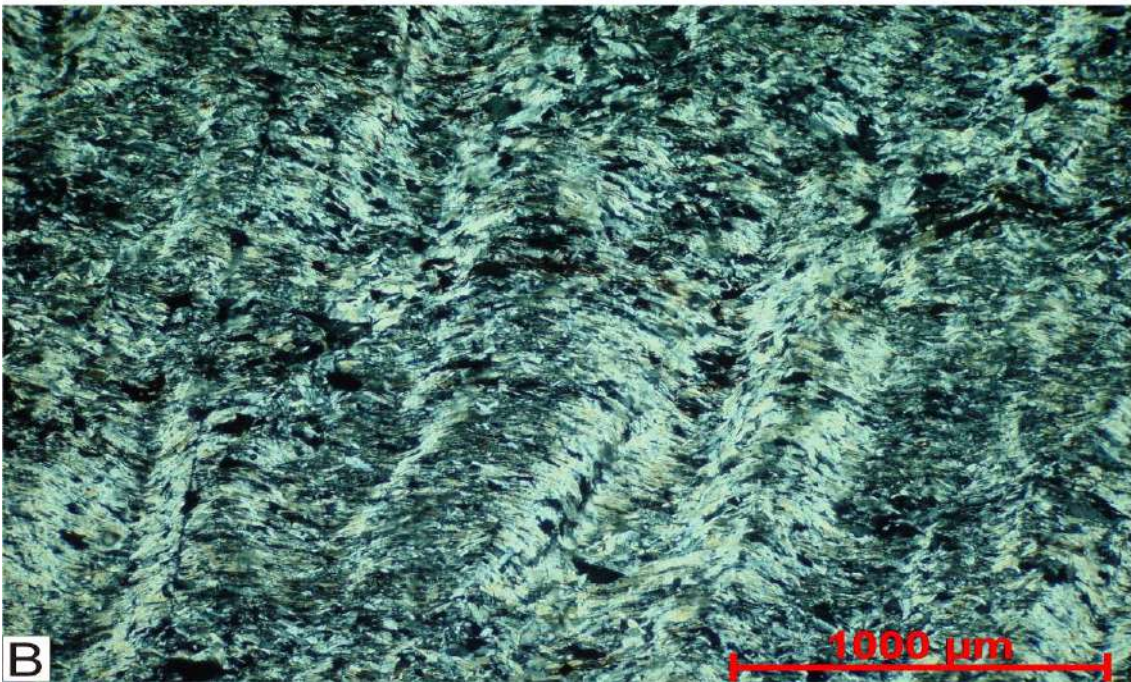
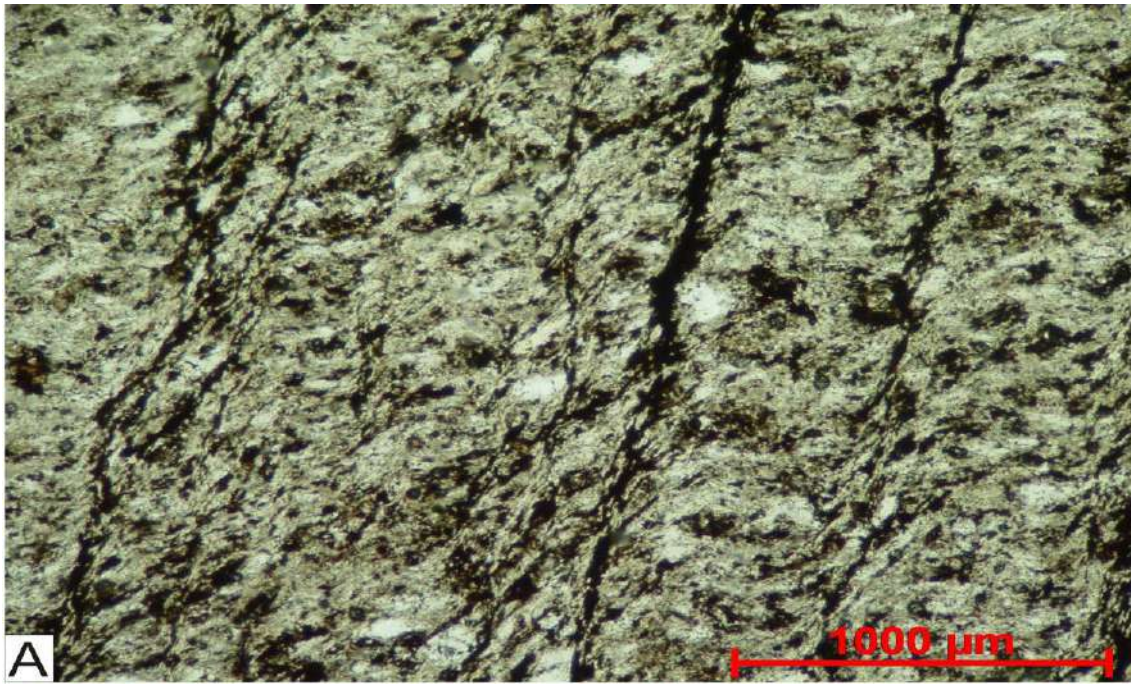


Figura 4.2.2c: em A (N//) foliação S2 bem marcada, definida pela dissolução do domínio da clivagem e material opaco residual paralelo aos planos axiais da crenulação (linhas escuras subverticais). Em B, fotomicrografia mostrando aspecto da foliação S2 (clivagem de crenulação).



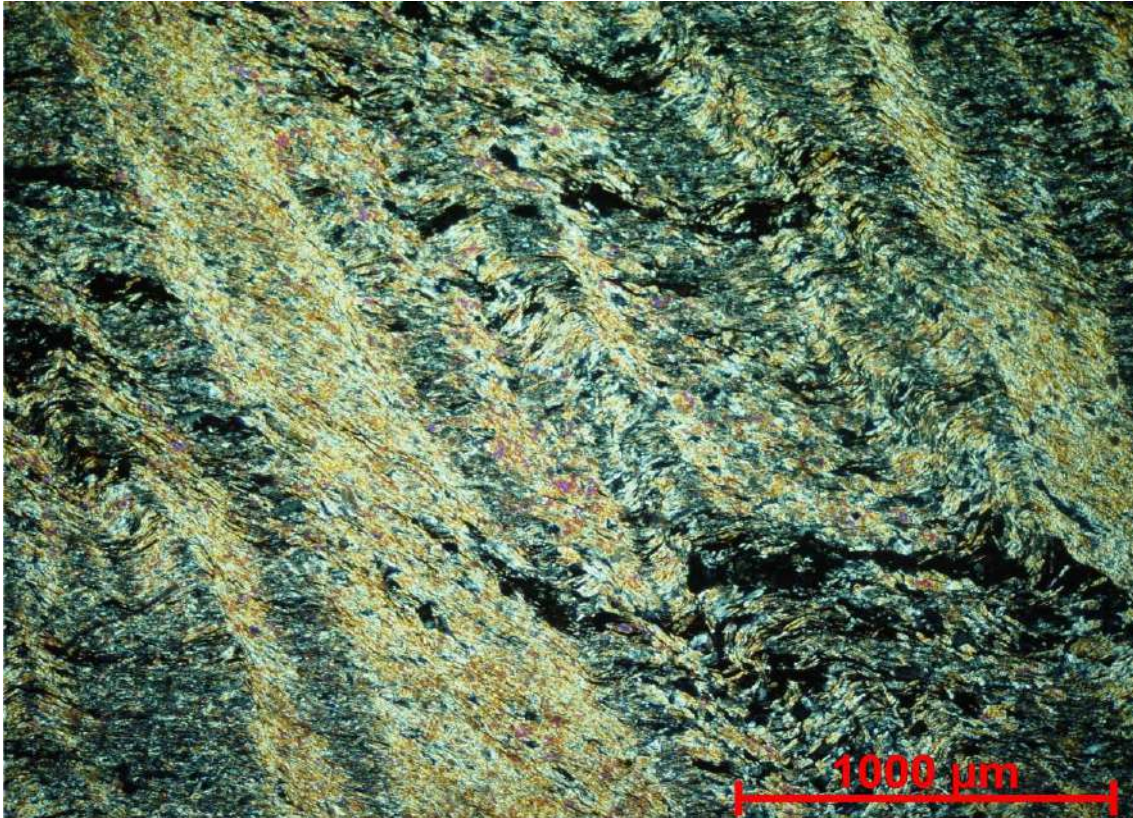


Figura 4.2.2d: fotomicrografia mostrando aspecto da foliação S2 (clivagem de crenulação), marcada pelo contraste das cores de interferência das sericitas nos flancos, destacando regiões de vale e charneiras de microdobras (crenulação); nicóis cruzados (acima) e paralelos (abaixo).



## DOBRAS D2

As dobras D2 têm ocorrência de forma discreta, sendo responsáveis pelo arqueamento suave de S0 e S1 na parte central do sinclinal de Serra Pelada, em evidencia na Seção Integrada apresentada anteriormente. Por vezes, flancos de dobras parasíticas D1 se apresentam ondulados devido ao redobramento D2. Em lâmina, é possível observar que as microdobras (crenulações) são predominantemente simétricas, do tipo *chevron*, ou em caixa, quando nucleiam a partir de porfiroblastos pré-D2 (figs 4.2.2e, f, g).

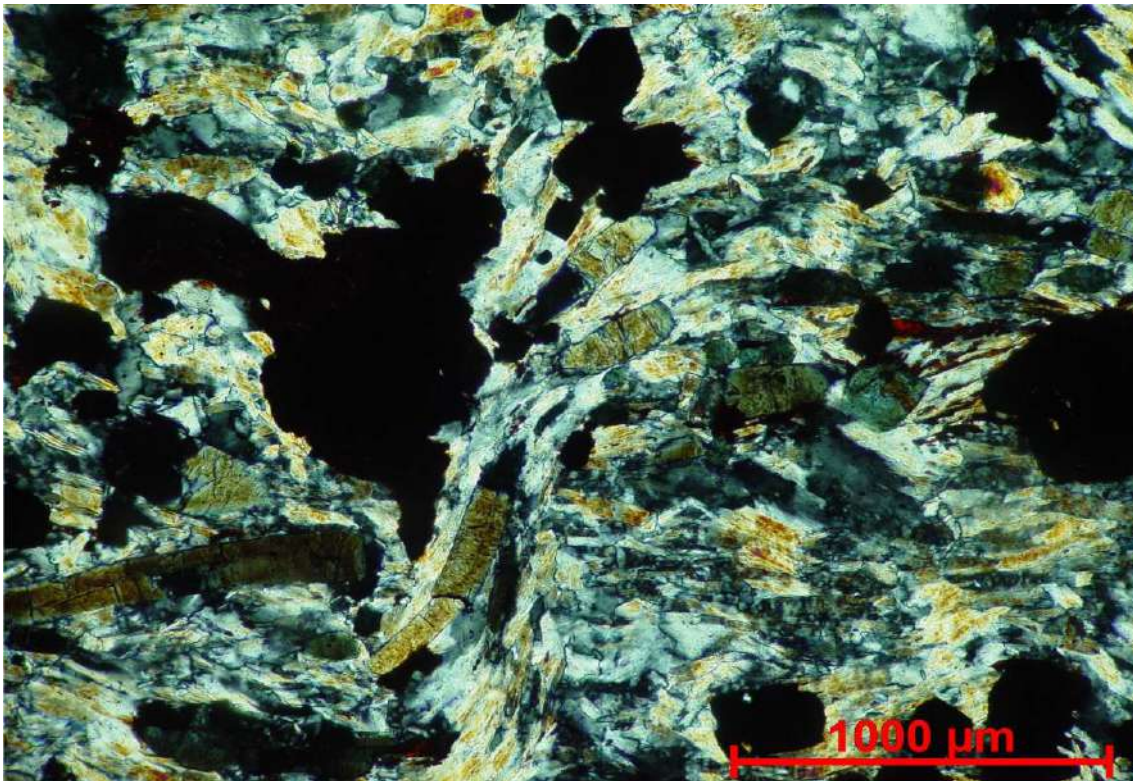


Figura 4.2.2e: fotomicrografias mostrando detalhe de fase de deformação D2, onde está representada pelo dobramento de cristal de turmalina; essencialmente sericita, além de quartzo, turmalinas e opacos como mineralogia observada; nicóis cruzados.



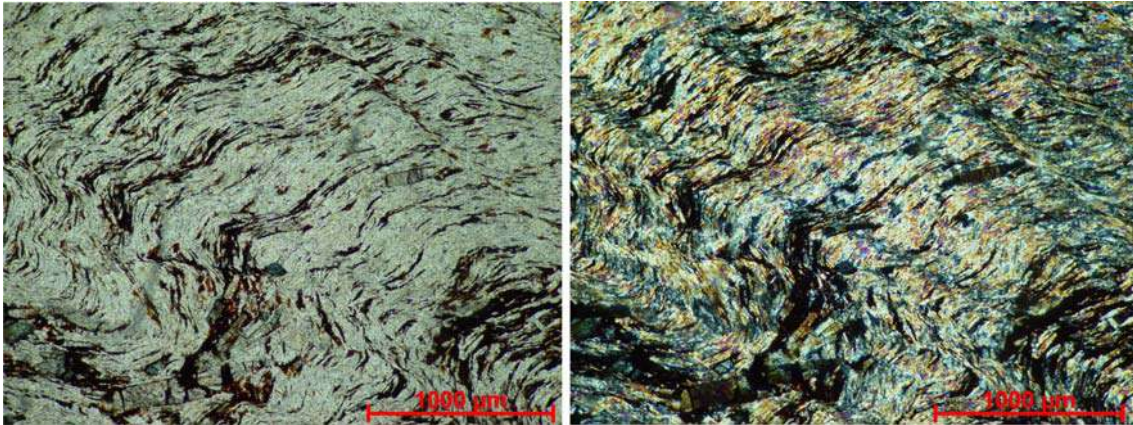


Figura 4.2.2f: aspecto microscópico das dobras D2, nicóis cruzados (direita) e paralelos (esquerda); assimetria de crenulação percebido através da orientação de micas; cristal de turmalina em corte transverso ao eixo maior, no canto inferior esquerdo.

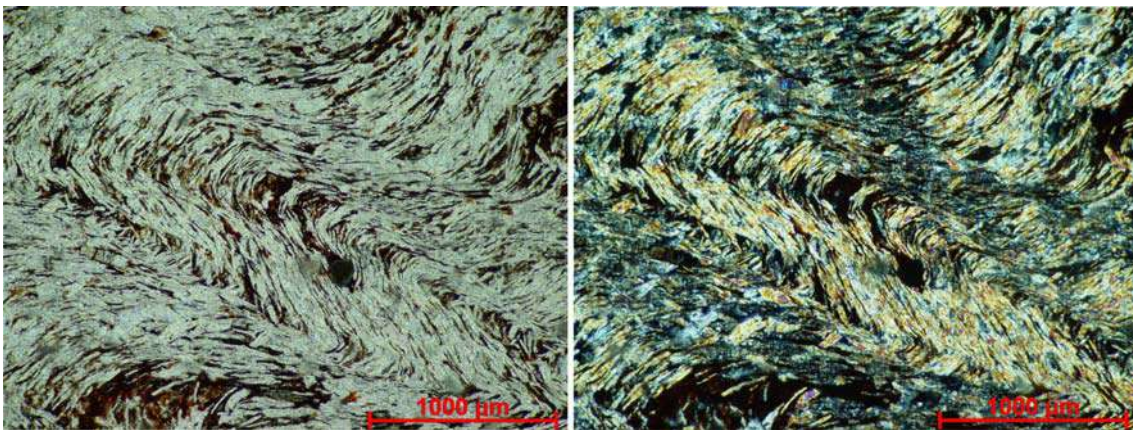


Figura 4.2.2g: dobras D2; fotomicrografia em nicóis cruzados (direita) e paralelos (esquerda), exibindo foliação principal (S1) dispostas em dobras apertadas simétricas (foliação S1 crenulada), impostas pelo segundo estágio de deformação (D2); detalhe ao centro, turmalinas sin-D1 em seção basal.

### 4.2.3. FAMÍLIA DE ESTRUTURAS RÚPTEIS ( $D_R$ )

Estruturas  $D_R$  são representadas por falhas e/ou juntas que integram um ou mais estágios evolutivos do arranjo estrutural, sob regime rúptil a rúptil-dúctil. Ocorrem fraturas subverticais E-W, pares de fraturas em “X” com orientação NW-SE e NE-SW, dobras de arrasto e raras dobras em caixa (fig.4.2.3a). Acredita-se que há a superposição de dois eventos rúpteis na unidade, pela presença de dois pares estruturais no estereograma. Porém a caracterização individual destes não foi possível.

Não foram reconhecidos indicadores suficientes para interpretar a cinemática dessas estruturas, porém regionalmente feições subparalelas a estas foram interpretadas como um sistema de cisalhamento transcorrente sinistral raso, encaixado preferencialmente em zonas de fraqueza pretéritas ( $D_1$ ,  $D_2$ ).

Alguns veios com preenchimento de sílica microcristalina ocorrem encaixados em estruturas  $D_R$  (figs 4.2.3b, c).

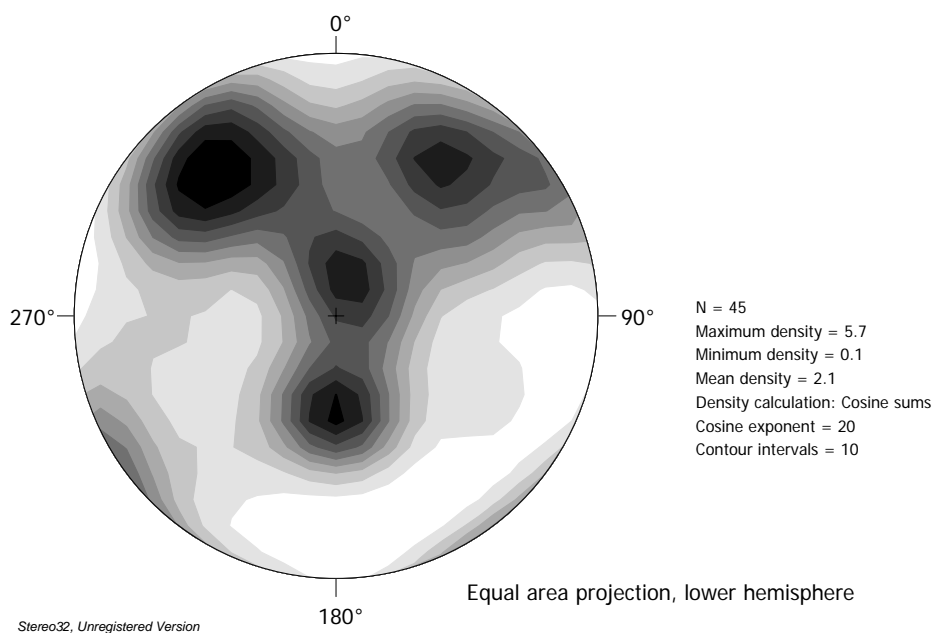


Figura 4.2.3a: Projeção estereográfica equiárea, hemisfério inferior, para 45 medidas de pólos para falhas e fraturas; aparenta ter quatro famílias principais ( $S_R$ ).



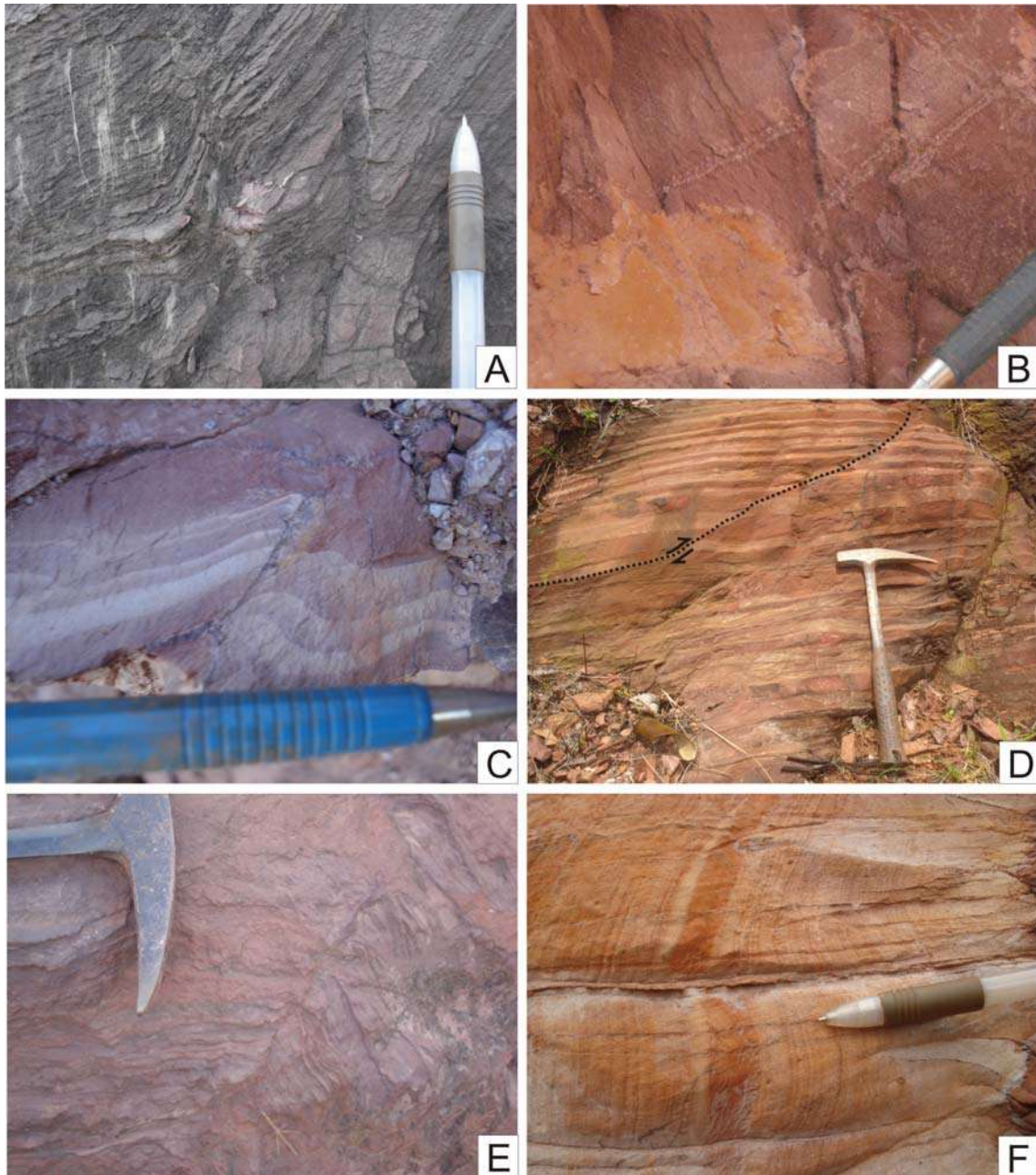


Figura 4.2.3b: fotografias mostrando o aspecto megascópico das famílias de estruturas rúpteis ( $S_R$ ); Em A, detalhe de falhas exibindo certa perturbação dos estratos; Em B feixes de falhas gerando blocos escalonados; Em C e D, falhas exibindo certa deformação nos estratos afetados. Em E, dobra em caixa  $D_R$ . Em F, falhas com movimento sinistral aparente.

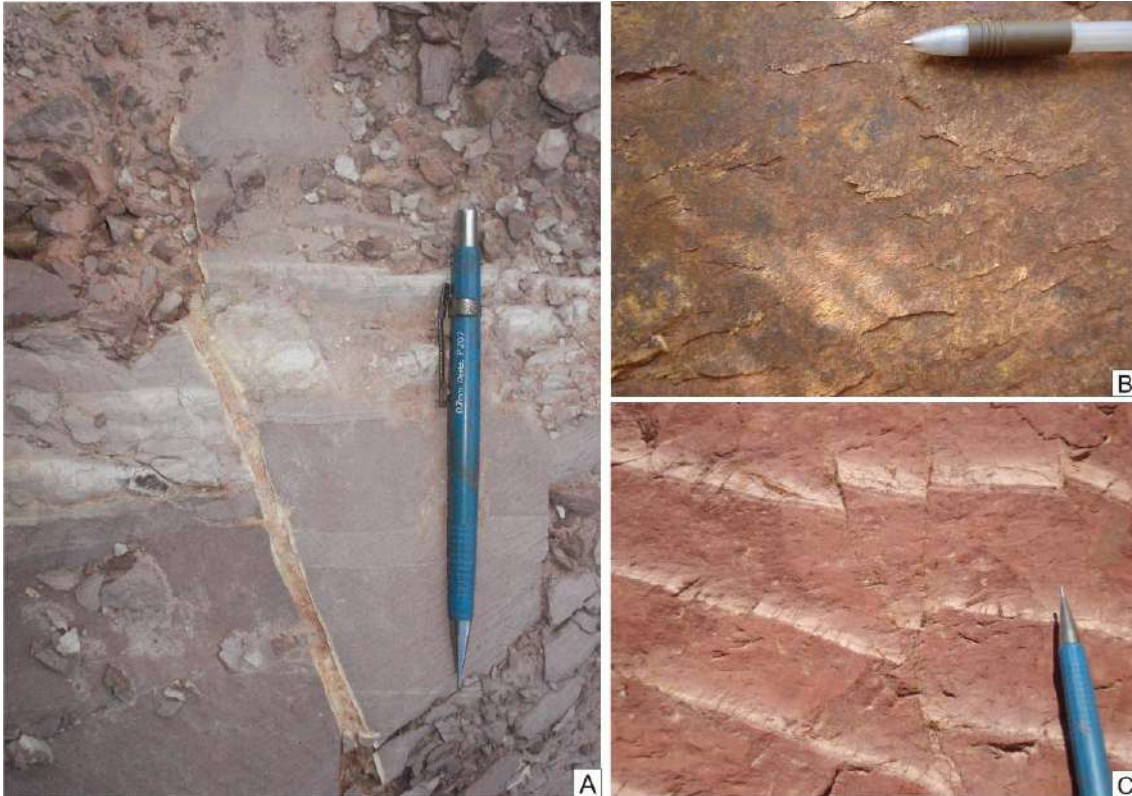


Figura 4.2.3c: fotografias mostrando o aspecto megascópico das famílias de estruturas rúpteis ( $S_R$ ); Em A, afloramento de chão exibindo falha com preenchimento argiloso com cinemática aparentemente sinistral; detalhe de estrutura rúptil rasa (*slickenside*) em B; feixes de falhas gerando basculamento do  $S_0$  e ainda escalonamento dos blocos afetados (C).

#### 4.4. CORRELAÇÃO DAS FASES LOCAIS COM A GEOLOGIA REGIONAL

Este trabalho identificou a superposição de ao menos três regimes tectônicos distintos nas rochas da Formação Serra Pelada. D1 representa uma compressão NNW-SSE dominada por cisalhamento simples. D2 corresponde a uma compressão NW-SE, evidenciada por dobramentos e crenulações simétricas, associadas a um ambiente deformacional raso, próximo ao limite dúctil-rúptil. D<sub>R</sub> provavelmente agrupa dois eventos rúpteis transcorrentes distintos, sendo ao menos um de cinemática sinistral. Não há evidências concretas de transpressão em nenhum dos regimes tectônicos apresentados.

Pelos fatos evidenciados acima, os modelos regionais propostos por Pinheiro & Holdsworth (2000) e Rosière *et al.* (2005) para a Província Mineral de Carajás não são compatíveis com a proposta de superposição de deformações apresentada neste trabalho para a região de Serra Pelada.

A proposta de Pinheiro & Holdsworth, como foi discutido no Capítulo 2, assume que todas as estruturas da PMC têm origem em um mesmo sistema transcorrente sinistral (dominantemente transpressivo), a partir de um esforço tectônico oblíquo a trend estrutural. Estes autores entendem a megadobra de Serra Pelada como resultado de compressão localizada em uma estrutura tipo “rabo de cavalo”. Porém o campo de tensões NNW-SSE, proposto neste trabalho para a geração da estrutura, não se compatibiliza com tal proposta. Igualmente, as caracterizações de outras fases com campos de tensões distintos evidenciam uma complexidade maior que a descrita pelos autores citados para a evolução geotectônica na área estudada.

Rosiére *et al.* propõem um modelo mais próximo ao deste trabalho, sugerindo a presença de duas fases distintas de evolução geotectônica (compressivo e transcorrente). Porém, trata-se de uma análise incompleta, considerando as diversas etapas evolutivas registradas nesse trabalho.

O modelo proposto pela CPRM para a porção NE da PMC caracteriza regionalmente três fases de deformação dúctil e ao menos duas de caráter rúptil. Foi possível correlacionar de forma satisfatória estas com as deformações observadas na área do morro das Malvinas. A fase D1 deste trabalho equivale à fase D2 proposta pela CPRM em nível regional, enquanto que D2 e D<sub>R</sub> equivalem a D3 e D4+D5, respectivamente.

## 5. CONCLUSÕES

A porção de topo da Formação Serra Pelada (SP2) na região do morro das Malvinas é constituída essencialmente de filitos sericíticos a quartzo sericíticos (derivados de arenitos finos a muito finos, siltitos, argilitos e argilitos siltícos) e por metarenitos dolomíticos. Caracterizou-se neste trabalho, para este pacote, um ambiente de sedimentação sub-aquoso, com transporte regido por gravidade (fluxos de turbidez), podendo ser correlacionável tanto a ambiente marinho plataformar quanto a ambiente lacustre.

O trabalho de descrição estrutural de ultradetalhe e a integração dos dados permitiram o reconhecimento do flanco superior de um megassinclinal recumbente (sinclinal de Serra Pelada), com plano axial médio de 177/20 e eixo mergulhando cerca de 5 a 10 graus para SW. Observou-se um conjunto de dobras parasíticas tipo S, M e Z, fortemente a moderadamente assimétricas, com vergência para NNW. Localmente foram observados redobramentos simétricos, suaves a abertos, com planos axiais subverticais de direção NE, bem como falhas / fraturas subverticais E-W e pares de fraturas em “X” com orientação NW-SE e NE-SW.

A caracterização das diferentes famílias de estruturas permitiu o reconhecimento de dois eventos dúcteis superpostos e provavelmente dois eventos de caráter rúptil a rúptil-dúctil. D1 representa compressão NNW-SSE, dominada por cisalhamento simples, com transporte tectônico para NNW. D2 representa compressão NW-SE dominada por cisalhamento puro, associada a um regime tectônico relativamente mais raso. D1 e D2 podem ser eventos progressivos, porém tal correlação não foi possível apenas com a escala adotada neste trabalho. D<sub>R</sub> representa provavelmente a superposição de dois sistemas de falhas distintos, sendo pelo menos um associado a transcorrência sinistral E-W, a partir de esforços na direção NE-SW.

A correlação das fases locais com a geologia regional sugere que D1 e D2 são etapas evolutivas do Evento Sereno (CPRM, inédito). D<sub>R</sub> provavelmente agrupa estruturas tanto de uma reativação rúptil tardia em relação a este evento principal quanto uma fase evolutiva posterior, cujo contexto geotectônico permanece indefinido.



As propostas de outros autores para a estruturação do depósito de Au-EGP de Serra Pelada sugerem que o megassinclinal D1 caracterizado neste trabalho serve como trapa estrutural para a mineralização, a partir da percolação de fluidos hidrotermais por um dos sistemas de falhas  $D_R$ . Essa interpretação é corroborada pelo fato de a charneira D1 ter sido caracterizada, neste trabalho, como uma zona de fraqueza estrutural.

## 6 – BIBLIOGRAFIA

- Almeida, F.F.M.de, Hasui Y., Brito Neves B.B.de, Fuck R.A. 1981. Brazilian structural Provinces: an introduction. *Earth Science Reviews*, **17**: 1-29.
- Araújo, O.J.B. & Maia R.G. 1991. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás: Serra dos Carajás, Folha SB.22-Z-A. Brasília: DNPM/CPRM, 164 pp.
- Araújo, O.J.B., Maia R.G.N., João X.S.J., Costa J.B.S. 1988. A megaestrutura arqueana da folha Serra dos Carajás. In: SBG, Congresso Latino-Americano de Geologia, 7, Anais, p.: 324-338.
- Berni, G.V. 2009. Geologia e alteração hidrotermal do depósito de AU-PGE de Serra Pelada, Curionópolis, Pará. Dissertação de mestrado, IGEO-UFMG, Minas Gerais, 116p.
- Bettencourt, J.S., Girardi V.A.V., Moroni M. 2007. Metasandstone-hosted Au-PGE mineralization of the Serra Pelada deposit, Serra dos Carajás (Pará State, Brazil): A Stable Isotope Reconnaissance Study. Simpósio de Geologia da Amazônia, 10, Belém. Anais, p.: 143-146.
- Brito Neves, B. B. and Cordani U. G., 1991, Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic: *Prec. Research*, 53: 23-40.
- Brito-Neves, B.B.de & Cordani U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Research*, **53**: 23-40.
- Campos Neto, M. C. and Figueiredo, M. C. H., 1995, The Rio Doce Orogeny, Southeastern Brazil: *Jour. South. Amer. Earth Sci.*, **8**: 143-162.
- Colossus Minerals Inc. Mapa geológico de detalhe para a região de Serra Pelada e adjacências.
- Cordani U.G., Tassinari C.C.G., Teixeira W., Basei M.A.S., Kawashita K. 1979. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *In: Congresso Geológico Chileno*, **2**, Actas, p.: 137-148.
- Cordani, U. G. and Brito Neves, B. B., 1982. The geologic evolution of South America during the Archaean and Early Proterozoic: *Rev. Bras. de Geociências*, S. Paulo, **12** (1-3): 78-88.
- Cordani, U. G.; Teixeira, W., Tassinari, C. C. G., Kawashita. K. and Sato, K., 1988. The growth of the Brazilian Shield: *Episodes*, vol **11** (3): 163-167.

- Costa, J.B.S.; Gorayeb, P.S.S.; Hasui, Y. Relações estruturais entre a Faixa Araguaia e o Maciço Goiano na região de Paraíso do Norte – Gurupi - GO. In: congresso brasileiro de geologia, 35., 1988, Belém. Anais... SBG, 1988. v. **5**. p. 2187-2196.
- Costa, J.B.S.; Hasui, Y. Evolução Geológica da Amazônia. In: ROSA-COSTA, M.L.; Angélica, R.S. (Coord.). Contribuições à geologia da Amazônia. Belém: FINEP/SBG–Núcleo Norte, 1997. v. **5**, p. 15-90.
- Costa, J.B.S.; Hasui, Y.; Araújo, O.J.B. Episódios de reativação proterozóica na região norte do Brasil. Revista do IESAM, Belém, v. **1**, n. 1, p. 129-151, 2003.
- Costa, J.B.S.; Siqueira, J.B. Transtração e transpressão ao longo do Lineamento Cinzento (Região da Serra dos Carajás). Revista Brasileira de Geociências, v. **20**, n. 1-4, p. 234-238, 1990.
- CPRM, 1994. 220 p., il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).
- DOCEGEO 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, **35**, Anais, p. 11-54.
- Grainger, C.J., Groves D.I., Tallarico F.H.B., Fletcher I.R. 2007. Metallogeneses of the Carajás Mineral Province, Southern Amazon Craton, Brazil: Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base- and precious-metal mineralisation. Ore Geology Reviews. 2007. 39p
- Grainger, C.J., Groves D.I., & Costa, C.H., 2002- The Epigenetic Sediment Hosted Serra Pelada Au-PGE Deposit and its Potential Genetic Association with Fe-Oxide Cu-Au Mineralisation, Amazon Craton, Brasil, in Porter, T.M.(Ed), Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A global Perspective, Volume **2**, PGC Publishing Adelaide, pp 227-245.
- Jorge João, X.S.; Neves, A.P.; Leal, J.W.L. Ouro da Serra Pelada: aspectos da geologia e garimpagem. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém. Anais... Belém: SBG–Núcleo Norte, 1982. v. **2**, p. 52-62.
- Machado, N.; Lindernmayer, Z.G.; Krogh, T.E. U-Pb Geochronology of archaean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. Precambrian Research, v. **49**, p. 329-354, 1991.
- Mendes, J.C. 1984. *Elementos de Estratigrafia*. T. A. Queiroz, São Paulo. 487p

- Moroni, M.; Girard, V.A.V.; Ferrario A. 2001. The Serra Pelada Au-PGE deposit, Serra dos Carajás (Pará State, Brazil). Geological and Geochemical indications for a composite mineralising process. *Mineralium Deposita*. **36**: 768-785.
- Mougeot, R. et al. Geochronological constraints for the age of the Águas Claras Formation (Carajás Province, Pará State, Brazil). In: congresso brasileiro de geologia, 39., 1996, Salvador. Resumos expandidos... Salvador: SBG, 1996. v. **6**, p. 579-581.
- Nogueira, A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **7**: 177-197.
- Oliveira, J.R.; Silva Neto, C.S.; Costa, E.J.S. Serra Pelada; folha SB.22.X.C. Estado do Pará, escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1994. 220 p., il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).
- Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J. 1996. *Microtectonics*. Springer-Verlag, Berlim Heidelberg New York. 282p.
- Pidgeon, R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.-M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, **166**: 159-171.
- Pinheiro, R.V.L. & Holdsworth R.E. 2000. Evolução tectonoestratigráfica dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**: 597-606.
- Rosière, C.A., Baars F.J., Seoane J.C.S, Lobato. L.M., Silva L.L.da, Souza S.R.C.de, Mendes G.E. 2005. Structure and iron mineralization of the Carajás Province. *Applied Earth Science: IMM Transactions section B*, **115**: 126-133.
- Santos, Breno A. dos. Amazônia: potencial mineral e perspectivas de desenvolvimento (São Paulo: T. A. Queiroz, Ed. da Universidade de São Paulo, 1981), 256 p. [Ilustrado ;Biblioteca de Ciências Naturais, 7.]
- Santos, R.A. Formation of gold-quartz veins controlled Abstract.. Rio de Janeiro, 2000. 1 CD-ROM.

- Schobbenhaus, C., Campos, D. de A., Derze, G. R., and Asmus, H. E., 1984, Geologia do Brasil: Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e Area Oceânica Adjacente - D.N.P.M. - Brasília.
- Tallarico, F.H.B., Coimbra C.R., Costa, C.H.C. 2000. The Serra Leste Sediment Hosted Au-(Pt-Pd) Mineralization, Carajás Province. *Revista Brasileira de Geociências* **30**(2): 226-229.
- Tassinari, C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do cráton amazônico. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B.de Brito Neves (eds.) *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. p.: 471-485.
- Teixeira, W., Tassinari, C. C. G., Cordani, U. G., and Kawashita, K., 1989, A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic implications. *Prec. Research*, **42**: 213-227.
- Villas, R.N. & Santos M.D. 2001. Gold deposits of the Carajás mineral province: deposit types and metallogenesis. *Mineralium Deposita*, **36**: 300-331.