

O Papel das Falhas na História Tectônica do Domo de Monte Alegre, Bacia do Médio Amazonas, PA.

Camila de Almeida¹ (Universidade Federal do Pará, Bolsista ANP/PRH06), Roberto Vizeu Lima Pinheiro²
(Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências).

¹calmeida@ufpa.br

²vizeu@ufpa.br

Resumo

O Domo de Monte Alegre, localizado na região central da Amazônia, está inserido nos domínios do Paleozóico da Bacia do Médio Amazonas. Destaca-se por apresentar uma elevação topográfica anômala no contexto regional, com cotas em torno de 50-100m. Seu centro baixo e plano, arrasado, contrasta com as bordas elevadas onde aparecem “*cuestas*” e “*hogbacks*”. Desenha em planta uma feição circular com eixo maior orientado NE-SW, com cerca de 30 km, e eixo menor NW-SE, com aproximadamente 20 km.

Trabalhos anteriores sugerem que essa estrutura tenha sido formada no Mesozóico associada à intrusão lacolítica de diabásios, promovendo soerguimentos das rochas paleozóicas sobrepostas.

Nas bordas da estrutura, alçadas de modo centrífugo, afloram rochas carboníferas (Formação Faro e Formação Monte Alegre) e permocarboníferas (Formação Itaituba). A parte central dessa estrutura expõe rochas siluro-devonianas (Formação Ererê e Formação Curuá). Estes conjuntos estão cortados por rochas intrusivas básicas do Mesozóico. A parte sul e leste do domo encontram-se truncadas por falhas pós-terciárias, com direções NE-SW e NNE-SSW, colocando em contato lateral rochas do Terciário (Formação Alter do Chão) com rochas paleozóicas (Formação Ererê).

Em análises de sensores remotos (LANDSAT e SRTM) foram identificados lineamentos (alinhamentos de relevo e drenagem) cortando esta estrutura com direções principais N-S, NW-SE e E-W, onde os N-S são truncados pelos NW-SE.

Dados de campo revelam que as rochas nas bordas da estrutura (carboníferas e permocarboníferas) têm acamamento em posições divergentes, organizadas em blocos limitados por falhas NW-SE, N-S e NE-SW.

No centro da estrutura as camadas encontram-se eventualmente dobradas em escala métrica a centimétrica, desenhando *kink bands* e *chevrons*, relacionados a falhas normais N-S. No flanco S-SE e E, onde as rochas paleozóicas estão em contato por falha com as rochas terciárias, as camadas mantêm direções em torno do quadrante ENE-WSW, com mergulhos entre 20° e 30°, chegando até 70° próximo aos planos da falhas. A aba sul do domo é formada por rochas terciárias da Formação Alter do Chão. Estas rochas, nas serras do Ererê e Paituna, têm mergulhos em torno de 05° a 20° para S-SE, localmente rotacionadas por falhas N-S. Desta forma, a estrutura pode ser dividida em cinco compartimentos estruturais maiores onde o acamamento mergulha distintamente para: (I) SW; (II) NE; (III) SE; e domínios IV e V onde as camadas estão dobradas em menor escala (dobras forçadas).

Com base nos dados levantados, admite-se a possibilidade do Domo de Monte Alegre representar uma estrutura de inversão tectônica positiva no contexto na Bacia do Amazonas, basculada em seus diferentes domínios por falhas N-S, NW-SE e NE-SW. A estrutura em braquiantiforme resultante parece representar uma dobra de interferência regional, forçada e posteriormente cortada por falhas pós-terciárias, onde o papel do soerguimento por intrusões mesozóicas pode ganhar destaque secundário.

Palavra-chave: 1. Braquiantiforme; 2. Inversão tectônica.

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo foi desenvolvido na região de Monte Alegre, situada na porção noroeste do Estado do Pará (Figura 1.1), na Mesoregião do Baixo Amazonas, no contexto geológico do flanco norte da Bacia do Amazonas Caputo *et al.* (1972).

Pretende-se fazer uma reavaliação, sob a ótica da tectônica, sobre a geometria desta estrutura e discutir possíveis modelos alternativos para o desenvolvimento cinemático da mesma, destacando o papel das falhas e descontinuidades tectônicas no contexto evolutivo regional da Bacia do Amazonas. Para isso foi selecionada uma área localizada a oeste da cidade de Monte Alegre (PA), com cerca de 400km² onde foram feitos estudos de campo (mapeamento geológico) com apoio de ferramentas de sensoriamento remoto em ambiente computacional SIG (Figura. 1.2).

O quadro geológico da área é desenhado por um substrato pré-cambriano, que compreende terrenos gnáissicos, migmatíticos e granitóides (Complexo Guianense), intrudidos por complexos alcalino-ultramáfico-cabonáticos em *stocks*, sobrepostos por rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Médio-Baixo Amazonas e coberturas terciárias- quaternárias Pastana *et al.*(1999).

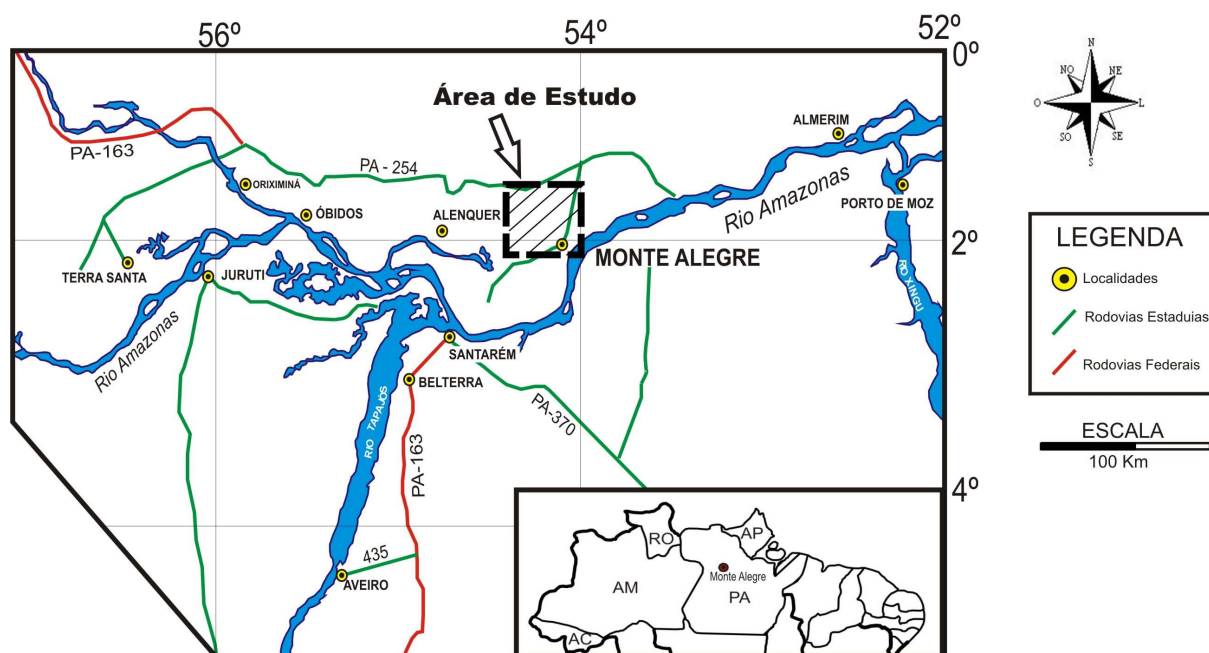


Figura. 1.1 : Mapa de localização da área de estudo, posicionada na região centro-norte da Amazônia (modificado de DDIP, 2003).

As rochas paleozóicas expostas no domo têm idades devonianas (Formação Ererê; Formação Barreirinha; Formação Curiri e Formação Oriximiná) e carboníferas (Formação Faro; Formação Monte Alegre e Formação Itaituba). Estão tectonicamente alçadas e em contato por falhas com rochas terciárias da Formação Alter do Chão Caputo *et al.* (1972).

Sob o ponto de vista regional, esta estrutura circular apresenta-se com forma elipsoidal, com eixo maior de aproximadamente 30km com direção ENE-WSW e eixo menor de direção NNW-SSE com cerca de 20km.

As primeiras referências à presença desta estrutura na Amazônia datam na década de 70, a partir de descrições apresentadas pelo Projeto Radam (1975) e mapeamento pela CPRM (1976).

A presença desta estrutura foi relacionada a um modelo clássico de dobra braquianticlinal gerada por diapirismo magmático devido à injeção lacolítica, acompanhada de diques e soleiras jurotriássicas. Tem sido reconhecida como estrutura única no contexto da Bacia do Médio Amazonas.

A prospecção de petróleo e gás, classicamente, tem reservado especial interesse em estruturas positivas em terrenos sedimentares, representando potenciais armadilhas tectônicas para a definição de reservatórios. A estrutura de Monte Alegre foi alvo de estudos nesse sentido no final da década de 70.

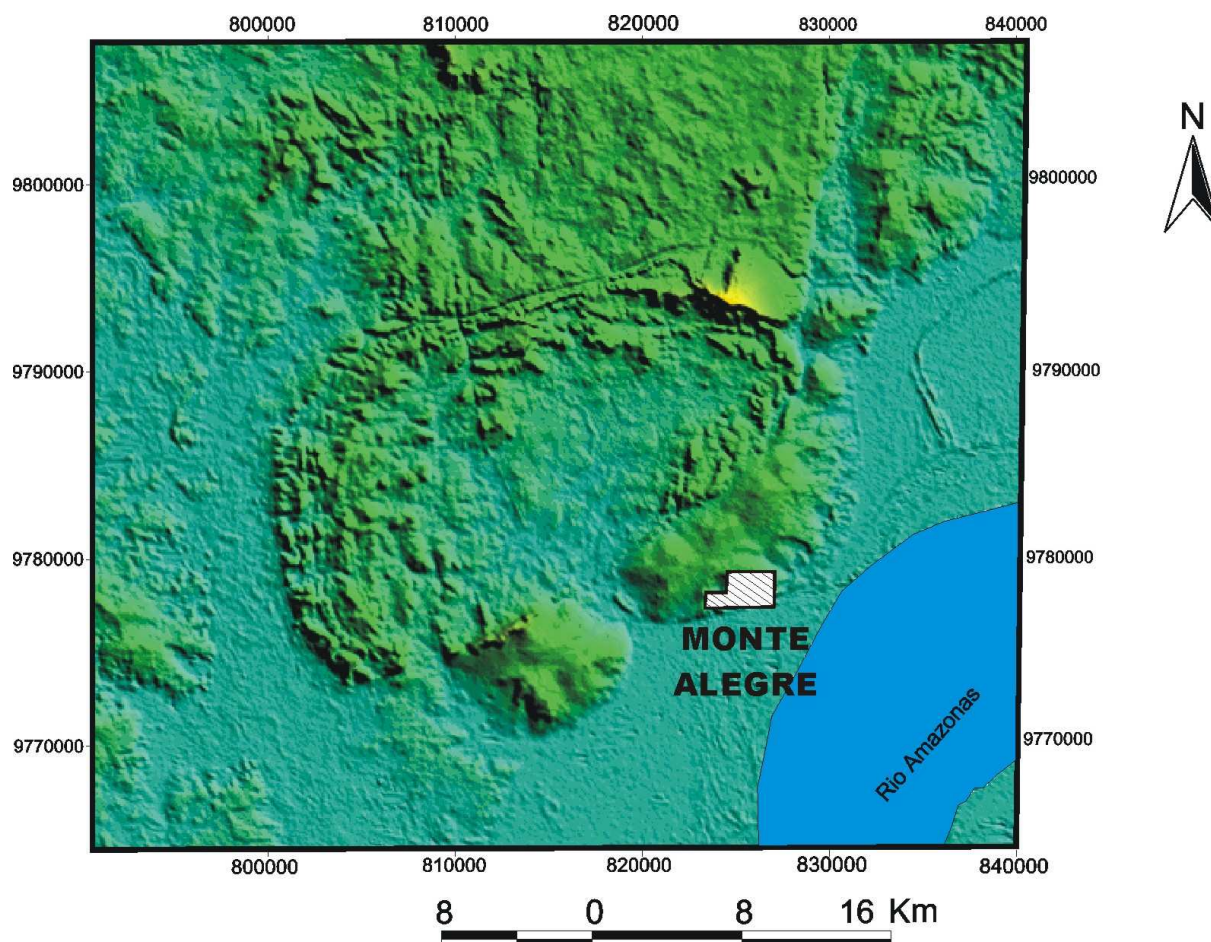


Figura. 1.2: Imagem de RADAR (SRTM) do Domo de Monte Alegre (PA).

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Bacia do Amazonas está situada no norte do Brasil entre os escudos das Guianas e Brasil Central, estando limitada a leste pelo Arco de Gupupá e a oeste pelo Arco de Purus Caputo *et al.* (1972). Nesta região afloram unidades rochosas arqueanas e proterozóicas, paleozóicas, rochas ígneas mesozóicas, e rochas sedimentares terciárias, além de sedimentos recentes depositados pelo Rio Amazonas e seus afluentes próximos.

O embasamento da bacia é formado pelo Grupo Purus (Proterozóico), representado pelo Complexo Guianense, constituído de rochas gnássico-migmatíticas de composição granodiorítica e granítica. Estas rochas definem um relevo baixo, com morros arredondados, onde predominam drenagens organizadas em padrão dendrítico, onde predomina vegetação de floresta densa a terra-firme.

Sobre o embasamento, no início do Paleozóico, ocorreu deposição das rochas sedimentares siluro-devonianas do Grupo Trombetas, compreendendo as formações Autás-Mirim, Nhamundá, Pitinga e Manacapuru Cunha *et al.* (1994). A Formação Autás-Mirim foi originalmente proposta por Caputo *et al.* (1972) para denominar arenitos e folhelhos que ocorrem na base deste grupo. Os arenitos são predominantemente finos a médios, de coloração branca a cinza e os folhelhos são acinzentados e consolidados.

A Formação Nhamundá foi proposta por Lange (1967) para denominar os arenitos que ocorrem na base deste grupo. A Formação Pitinga é constituída por folhelhos e siltitos intercalados por arenito e sílexitos. A Formação Manacapuru constitui a porção superior da Formação Pitinga correspondendo a arenitos finos a médios, com intercalações de siltitos de coloração cinza-escuro (Caputo *et al.*, 1972; RADAM, 1975).

O Grupo Urupadi (Mesodevoniano), por sua vez, é representado pelas formações Maecuru e Ererê (Caputo, 1984), constituído principalmente por arenitos com intercalações de folhelhos seguidos de siltitos micáceos com delgadas intercalações de folhelhos Pastana *et al.* (1976).

O Grupo Curuá (Neodevoniano) é representado pelas formações Barreirinha, Curiri, Oriximiná e Faro Caputo *et al.* (1972), sendo a Formação Barreirinha constituída principalmente por folhelhos cinza-escuro,

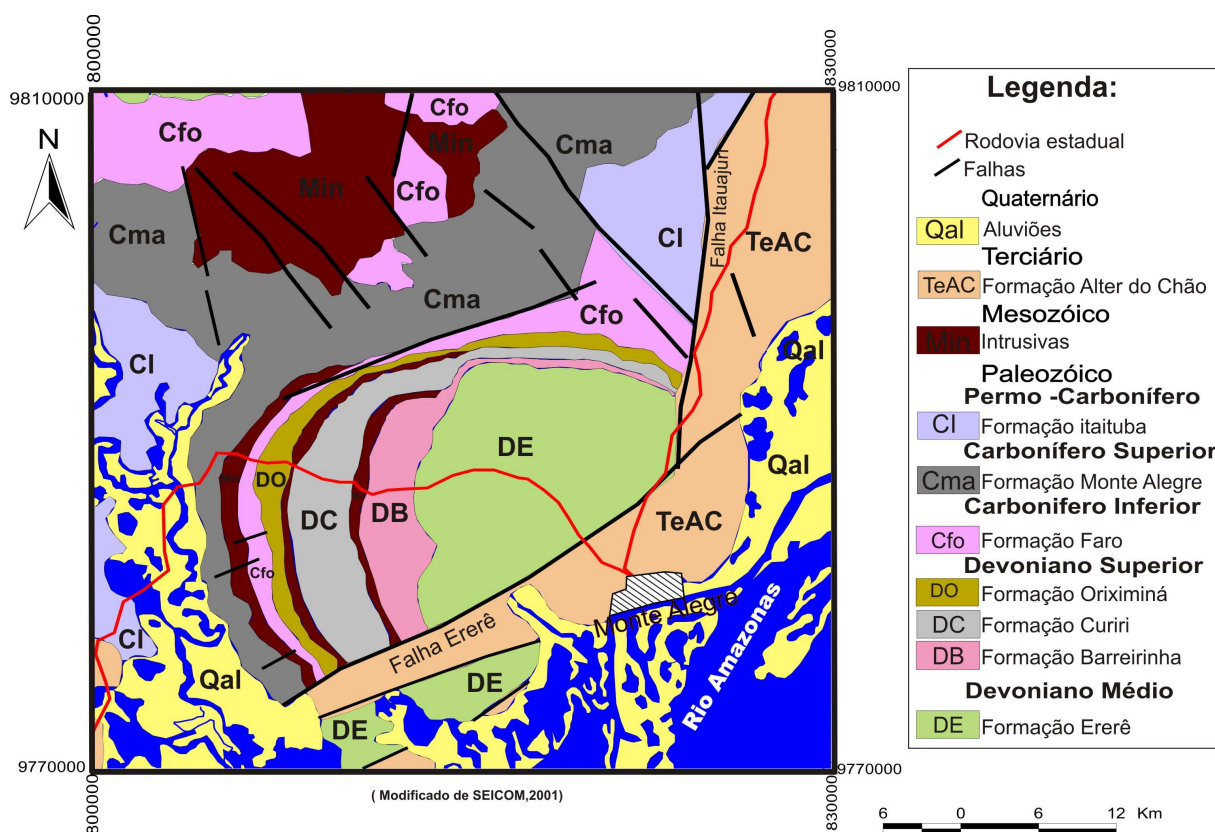


Figura. 1.3: Mapa geológico para a região de Monte Alegre, modificado de Pastana, 1999.

carbonosos radiativos e piritosos. A Formação Curiri apresenta intercalações de folhelhos silticos de coloração cinza à esverdeada com raros níveis de arenito. A Formação Oriximiná é constituída por arenitos finos a médios, de coloração avermelhada a branca, com raras laminações de siltitos e folhelhos. A Formação Faro (Carbonífero Inferior) foi proposta por Caputo *et al.* (1971) correspondendo a arenitos esverdeados finos a médios, intercalados por folhelhos e recobertos por siltitos.

Segundo Caputo *et al.* (1972), o Grupo Tapajós é representado pelas formações Monte Alegre, Itaituba e Formação Andirá. As rochas da Formação Monte Alegre são arenitos grossos com estratificação cruzada de grande porte, com raras intercalações de material conglomerático Pastana *et al.* (1978).

O Mesozóico foi marcado por intensas atividades magmáticas com a injeção de diques e soleiras de diabásios juro-triássicos, afetando praticamente todas as unidades previamente existentes. Estas rochas são amplamente observadas em campo, apresentam coloração cinza esverdeada com porções porfiríticas e com textura ofítica (Pastana, 1999).

No Cenozóico houve a deposição de sedimentos flúvio-lacustre, representados pelo Grupo Javari, destacando-se as rochas da Formação Alter do Chão, composta por pacotes de arenitos intercalados com níveis pelíticos e conglomerados (Tancredi, 1996). Daemon & Contreiras (1971) apontam idade cretácea para as rochas desta formação enquanto Caputo *et al.* (1972) admitem que somente a porção superior desta unidade seria terciária, sendo a parte inferior da mesma de idade cretácea.

Estudos tectônicos realizados na área têm apontado para uma evolução relacionada ao alçamento centrífugo das rochas em um padrão braquianticlinal formado por intrusão de soleiras magmáticas mesozóicas (p.ex. Montalvão *et al.* 1975; Pastana *et al.* 1976). Segundo essa hipótese um lacólito mesozóico teria sido responsável pelo alçamento das camadas em forma semicircular, configurando a geometria dômica quilométrica observada nas imagens e mapas (Figura 1.2).

3. MÉTODOS EMPREGADOS

Para se investigar o domo de Monte Alegre (Montalvão & Oliveira, 1975) escolheu-se uma área com cerca 60 km² cobrindo a estrutura e suas adjacências. O trabalho envolveu inicialmente a interpretação visual de imagens Landsat nas bandas 3, 4 e 5, e imagens de radar em escala 1:30.000, utilizando-se do método “lógico e sistemático”. Complementarmente foi feita a interpretação digital de imagens LANDSAT, SRTM, usando os softwares *Global Mapper V. 8.0* e *Arcview GIS 3.2* para o tratamento das imagens.

Os trabalhos de campo compreenderam: a) reconhecimento regional e mapeamento litoestratigráfico das principais unidades rochosas; b) mapeamento estrutural em escala de detalhe da área utilizando-se a técnica de mapeamento por pontos para definição de compartimentos estruturais, com coleta sistemática de dados relativos à geometria e cinemática das estruturas tectônicas impressas nas rochas aflorantes.

Os dados de campo foram posteriormente tratados em ambiente computacional. Os pontos investigados em campo, obtidos com o GPS, foram identificados em mapa com auxílio do software *GPS trackMakerPro* e posteriormente migrados para o ambiente SIG e para a confecção dos mapas finais. Os dados estruturais foram tratados em softwares de projeção estereográfica (*StereoNet 3.0 for Windows*) como ferramenta complementar de análise e interpretação.

4. RESULTADOS

Na área investigada afloram rochas carboníferas e permocarboníferas a terciárias, distribuídas em forma semicircular (Figura 1.3).

Com base nas observações feitas no campo e com o apoio de imagens SRTM e Landsat, a estrutura foi dividida em cinco setores, de acordo com as variações de posições espaciais das camadas, balizados por falhas NW-SE, N-S e NE-SW (Figura 1.4).

No centro da estrutura as camadas de siltitos (Formação Ererê) encontram-se dobradas em *kink bands* e *chevrons*, em escala métrica a centimétrica, associadas a falhas normais N-S.

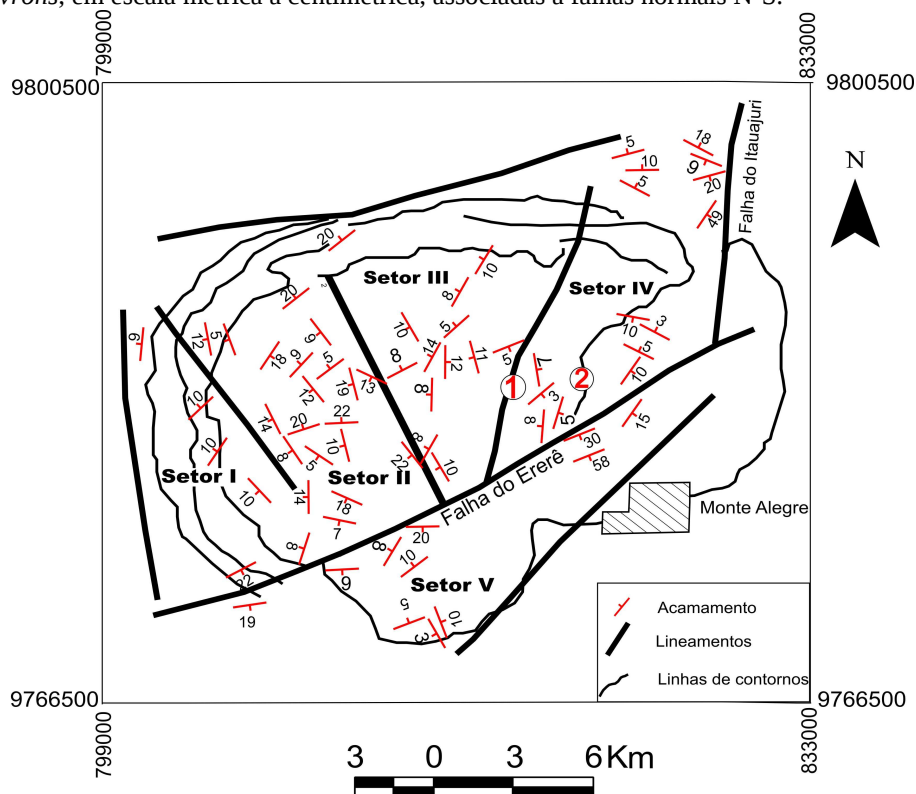


Figura. 1.4: Mapa de discriminação de atitudes de acamamento e de falhas, com a disposição de 05 setores para o Domo de Monte Alegre (Veja detalhe no texto).

No flanco S a SE, onde as rochas paleozóicas estão em contato por falha (Falha Ererê) com as rochas terciárias, as camadas mantêm direções ENE-WSW, com mergulhos entre 20° e 30°/S, chegando até 70° próximo aos traços das falhas. A aba sul do domo é representada por rochas terciárias da Formação Alter do Chão. Estas rochas, nas serras do Ererê e Paituna, têm mergulhos em torno de 05° a 20° para S, localmente basculadas por falhas N-S.

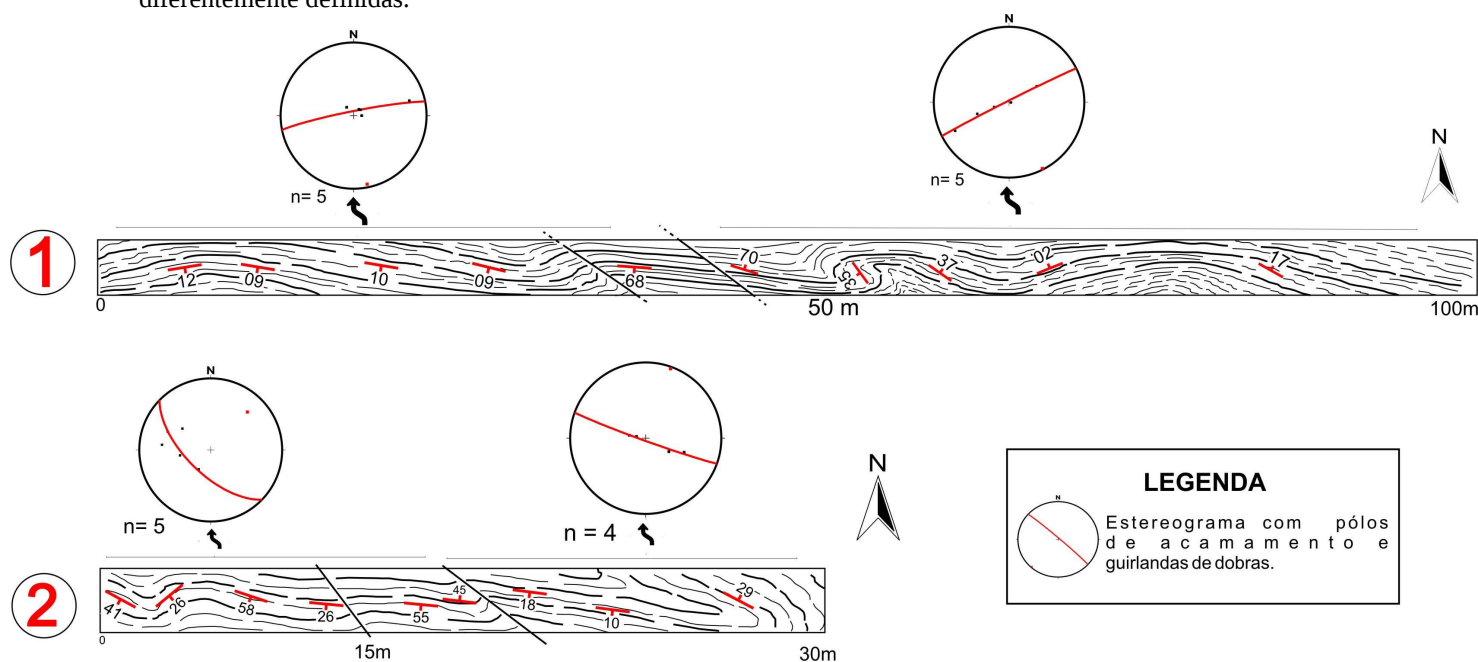
O **setor I** localiza-se na aba oeste do domo, onde afloram rochas das Formações Monte Alegre e Faro e rochas do Grupo Curuá - Formações Oriximiná e Curiri (seqüências devoniana-carbonífera). As camadas neste setor têm mergulhos preferenciais para SW, com ângulos variando entre 5°-10°, alcançando cerca 22° próximo à Falha do Ererê, a sul.

No **setor II**, balizado pelos lineamentos N-S e NE-SW, os planos dos acamamentos têm direção NW-SE com mergulhos para SW, com ângulos entre 5°-20° e 3°-18°.

Os **setores III e IV** foram diferenciados no centro do domo, onde afloram principalmente as rochas da Formação Ererê. As camadas no setor III apresentam mergulhos preferenciais para NW, variando entre 8-20° e 3-14°. O setor IV está limitado pela Falha Itauajuri (Pós-Terciária) e têm planos de acamamentos com mergulhos entre 3°-20° para NW e NE. Neste setor encontram-se dobras em *kink bands* e *chevrons*, associadas a falhas normais N-S (Figura 1.5).

No **setor V** afloram rochas da Formação Alter do Chão (Terciário). As camadas destas rochas têm planos de acamamento com mergulhos variando de 3-20° e de 5-40° para SE. A Falha Ererê no limite norte deste domínio.

Os dados sugerem que o Domo de Monte Alegre representa uma estrutura geometricamente assimétrica, dividida em setores, onde o acamamento, responsável pela arquitetura da estrutura, têm posições espaciais diferentemente definidas.



Os lineamentos que dividem os diferentes setores representam falhas normais, destacando-se as falhas Ererê e Itauajuri, que foram reativadas após o Terciário, colocando em contato lateral unidades de diferentes idades e ambientes de deposição.

Figura. 1.5: Mapas de detalhe, mostrando o arranjo das camadas de siltitos da Formação Ererê, no centro do domo (Veja localização na Figura 1.4).

Falhas e fraturas N-S cortam indiscriminadamente a estrutura, relacionadas a cisalhamento trativo tardio em relação ao momento de basculamento das camadas, e podem ser observadas de forma importante, cortando as rochas terciárias da Formação Alter do Chão. Desta forma, são provavelmente posteriores às falhas Ererê e Itauajuri, na seqüência deformacional. Estas falhas provocam *kink bands* suaves nos pacotes terciários observados principalmente na Serra do Ererê.

Considerando-se que o domo tenha origem relacionada ao soerguimento devido a intrusões magmáticas mesozóicas, estas falhas seriam responsáveis por segmentar esta estrutura em setores tardios. No entanto, pode-se considerar a hipótese das falhas terem sido as principais responsáveis pelo basculamento das camadas, em blocos, definindo o arranjo braquianteiforme observado. Neste caso a estrutura poderia representar uma dobra forçada, gerada no contexto de inversão por reativação tectônica positiva, posteriormente cortada pelas falhas Ererê e Itauajuri, nos flancos sul e leste, com caráter normal.

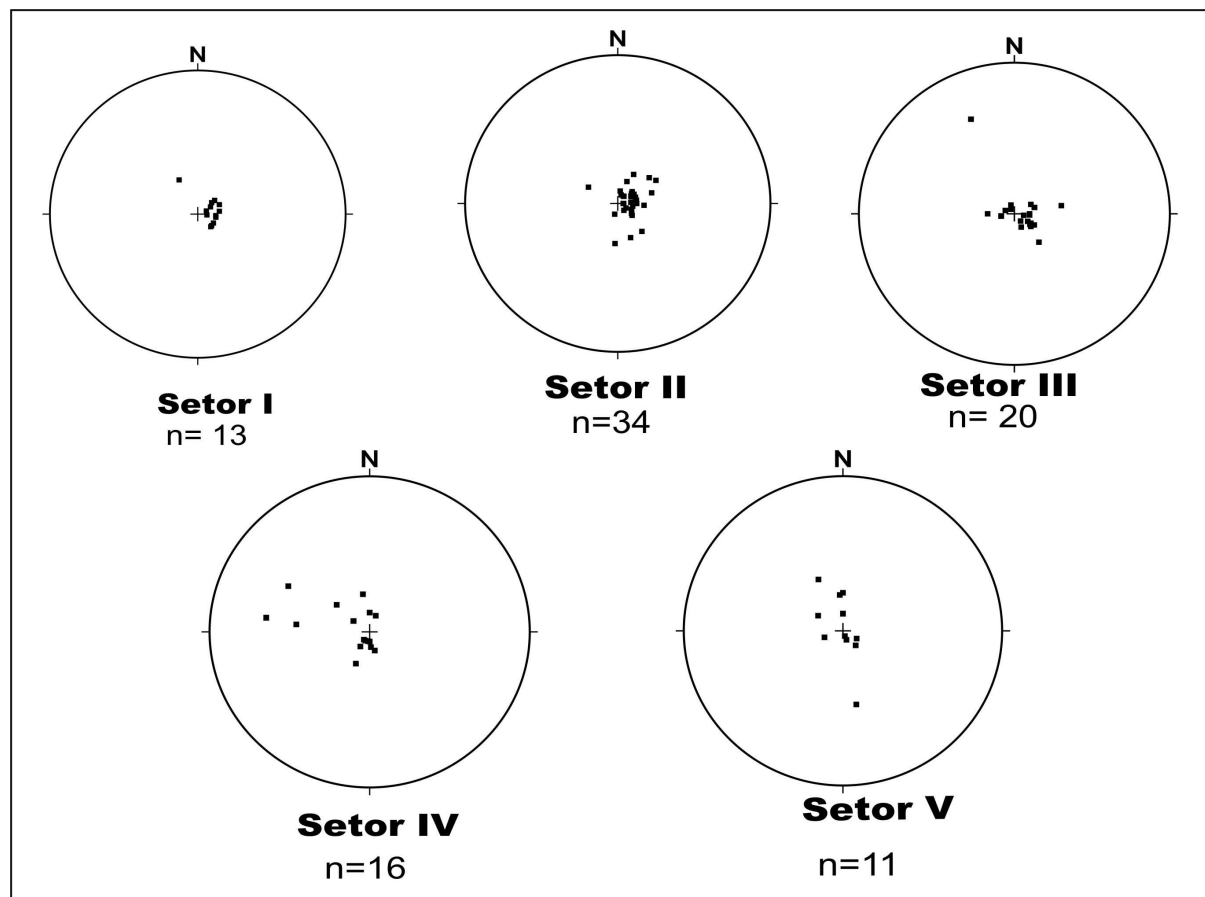


Figura. 1.6: Estereograma com pólos de acamamentos para os diferentes setores estruturais identificados no domo (Veja Figura 1.4).

5. CONCLUSÃO

Está sendo investigada a possibilidade do Domo de Monte Alegre representar uma estrutura de inversão tectônica positiva no contexto na Bacia do Amazonas, formada por rotações de blocos, em seus diferentes domínios, controladas por falhas reativadas N-S, NW-SE e NE-SW.

A estrutura em braquianticlinal parece representar uma dobra de interferência regional, forçada e posteriormente cortada por falhas pós-terciárias, onde o papel do soerguimento por intrusões mesozóicas pode ganhar destaque secundário.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho, desenvolvido no ambiente do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Pará, contou com o apoio, em forma de bolsa de Iniciação Científica concedida à primeira autora, e financiamento concedidos pelo Programa de Recursos Humanos, da ANP (ANP/PRH-06) a quem os autores agradecem.

7. REFERÊNCIAS

- CAPUTO, M. V., Rodrigues, R., Vasconcelos, D. N. N. 1972. *Nomenclatura estratigráfica da bacia do Amazonas - Histórico e Atualização*, In: CONG.BRAS. GEOL.,26. , Belém, *Anais...*, SBG: v. 3, p. 35-46.
- CAPUTO, M. V. 1984. *Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins Brazil*. Santa Bárbara, Universidade da Califórnia. 583p. (Tese de Doutorado).
- COOPER, M.A. & Williams G.D., 1989.: *Inversion Tectonics*. Geol. Soc. Special Pub. Classics, 375p.
- CUNHA, F. M. B.; GONZAGA, F. G.; COUTINHO, L. F. C.; FEIJÓ, F. J. 1994.Bacia do Amazonas., *Boletim de Geociências PETROBRAS*, 8 (1): 47-55.
- BUCHANA, J.G. & Buchanan, P.G., 1995. Fold growth during basin inversion - example from the East China Sea Basin. In: *Basin Inversion*. Geol. Soc. Special Pub. 88,596p.

- DAEMON, R. F & Contreiras, C. J. A. 1971. *Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas*. Belém. PETROBRAS/RENOR. (Relatório Interno)
- MONTALVÃO, R.M.G. & Oliveira, A.S., 1975. *Geologia Branquianticlinal de Monte Alegre e da Rodovia Monte Alegre – Prainha*. Belém, Projeto Radam Brasil, Folha SA.21, DNPM, 409p.
- PASTANA, S.M.N. (org.), 1976. *Projeto Sulfetos de Alenquer-Monte Alegre*. Belém, DNPM/CPRM. (Relatório técnico parcial).
- PASTANA, S. M. N (org.). 1999. *Síntese geológica e favorabilidade para tipos de jazimentos minerais do Município de Monte Alegre-PA*. Belém, CPRM/PRIMAZ. 34p. (Relatório técnico).
- TANCREDI, A. C. F. N. S. *Recursos hídricos subterrâneos de Santarém*, 1996. 153p. Tese de Doutorado., UFPA, Centro de Geociências, Belém, 1996.

The Role of Faults to the Tectonic History of the Monte Alegre Dome, Médio Amazonas Basin, PA.

The Monte Alegre Dome, located in Amazonian's central region, is inserted in the paleozoic domains of the Middle-Amazonian Basin. The dome is characterized by an anomalous topographic elevation in the regional context, with 50-100 m heights. It shows a low topographic eroded centre that contrasts with the borders where "cuestas" and "hogbacks" mountain ranges can be seen. The dome draws a circular shape in map view, with the major axis trending NE-SW (~30 km), and the minor axis trending NE-SW with 20 km length.

Previous works suggest that this structure had been formed in Mesozoic times, associated with a diabase lacolithic intrusion, following the magmatic manifestations that mark this period, causing uprising of the underneath paleozoic rocks.

In the borders of the structure, uprised in a centrifugal array, outcrop carboniferous (Faro Formation and Monte Alegre Formation) and permocarboniferous (Itaituba Formation) rocks. The central part of the structure shows silurian-devonian rocks (Ererê and Curuá Formations). These rocks are cross-cut by mesozoic intrusive basic rocks. The southern and eastern parts of the dome are truncated by post-tertiary NE-SW trending faults, bringing into contact tertiary rocks (Alter do Chão Formation) and paleozoic rocks (Ererê Formation). Remote Sensing analysis (LANDSAT and SRTM) identified structural lineaments (relief and drainage elements) mainly trending N-S, NW-SE and E-W. The NW-SE lineaments are truncated by the N-S system.

Field data reveal that the borders of the structure (carboniferous and mesocarboniferous rocks) show diverging bedding positions, organized in NW-SE, N-S and NE-SW fault bounded blocks.

In the centre of the structure the beds can be eventually folded, in metric and centimetric scales, forming kink bands and chevron folds, related to N-S normal faults. In the S-SE flank, where paleozoic rocks are in a faulted contact with tertiary rocks, the beds maintain trending directions around the ENE-WSW quadrant, with variable dips of 20°, 30° and 70° (near the fault plane). The south border of the dome is formed by tertiary rocks of the Alter do Chão Formation. These rocks, in the Ererê and Paituna ridges, dip 05°-20° to S, locally rotated by N-S faults. The structure can be divided in five major structural compartments where bedding dips distinctively to (I) SW; (II) NE; (III) SE; and in the fourth and fifth domains, the beds are eventually folded (forced folds) in minor scale.

It is possible that the Monte Alegre Dome represents a positive inversion tectonics structure in the Amazonas Basin, tilted in their different domains by N-S, NW-SE and NE-SW faults. The resulting brachyanticline structure seems to represent a regional interference forced fold, subsequently cross-cut by post-tertiary faults, where the role of uprising by mesozoic intrusions can be of secondary importance.

Keyword 1- lacolithic intrusion, 2-Inversion Tectonics.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.