

Evidências de movimentos neotectônicos no interflúvio Baixo Rio Xingu – Baixo Rio Tocantins, Nor-Nordeste do Estado do Pará, com base em imagens SRTM e PALSAR

Mário Ivan Cardoso de Lima¹
Alda Monteiro Barbosa¹
Manuela Mendonça de Alvarenga¹
Luis Henrique Guimarães Rocha¹
Elaine de Oliveira Menezes²

¹ IBGE/Gerência de Recursos Naturais /UE/PA
Av. Serzedelo Correa, 331 – 66035 240 – Belém – PA, Brasil
{mario.lima, alda.barbosa, manuela.alvarenga, luis.rocha@ibge.gov.br}

² UFPA – FAGEO (Faculdade de Geologia – graduação)
Campus Guamá – Rua Augusto Correa, 1 – CEP 66075 110 - Belém –PA- Brasil
elainemnzs@gmail.com

Abstract. The mouth of the Amazon River and the Lower Tocantins River-Lower Xingu River divide were the scene of intense neotectonic activity (Miocene-Holocene), which are here highlighted based on remote sensing images of the microwave bands: SRTM and PALSAR. The images in the SRTM highlight the topography and the ones in the PALSAR highlight the identification of paleochannels in plane lands in the alluvial fan. The presence of paleochannels of various ages, the tilting and the separation of the island of Marajó from the continent, with reflexes in the captures of the rivers Tocantins and High Anapu – which were part of the drainage basin of the Amazon Basin – as well as the formation of a large alluvial fan at the mouth of the River Tocantins, attest the neotectonic activities in the studied region. The following radargeologic units were identified: igneous-metamorphic basement from the Paleoproterozoic; volcano-sedimentary sequence from the Neoproterozoic; siliciclastic sediments with dominance of psamites from the Cretaceous; lateritic paleogenic covers; lateritic neogenic covers, alluvial fans from the Plio-Pleistocene; pleistocenic terraces and holocenic alluvions. Systems of dextral transtensional faults with about E-W orientation and normal faults to N-S orientation were the main movement acting in the region. In terms of cinematics, the σ_1 (horizontal) following E-W and the σ_2 (vertical). While the σ_3 (horizontal) are disposed according the N-S orientation. The metallogenetic implications consist that the laterites are better developed with bauxite and kaolin to the North and the South of the studied area, where altitudes are more higher.

Key words: Lower Tocantins river-Lower Xingu divide, neotectonic, Radar images

1. Introdução

A foz do Rio Amazonas e vizinhanças estão marcadas por movimentos neotectônicos resultado reflexo do levantamento do Arco de Gurupá do Meso-Cenozoico e representando os registros das últimas manifestações do Evento Sul-Atlântico, de caráter extensional, nesse domínio continental intraplaca. A presença de um perfil laterítico maduro (Truckenbrodt *et al.* 1991, Costa 1991), atribuído ao Eoceno-Oligoceno, marca importante período de estabilidade tectônica. Evidências de processos de estruturação, morfogênese e sedimentação até hoje em vigor, relacionam-se aos movimentos neotectônicos mais recentes. Dois pulsos de movimentação transcorrentes são reconhecidos, um do Mioceno/Plioceno e outro do Pleistoceno Superior/Holoceno, a eles se relacionando deslocamentos ao longo de feixes de falhas e controle de padrões de drenagem, com influências no relevo (Costa et al. 1995). Assim sendo, reconhece-se um evento tectônico correspondente ao Evento Sul-Atlântico (Schobbenhaus e Campos 1984) do Mesozóico/Paleogeno, caracterizado pelo regime extensional, e outro

correspondente à Neotectônica, do Mioceno/Holoceno, marcado por regime de tipo transcorrente, segundo Hasui (1990).

Na ilha de Marajó vários autores já destacaram efeitos de movimentos tectônicos, em especial na região do Lago Arari, mencionados nos trabalhos de Lima et al. (1996); Rosseti et al. (2007), bem como na região de Chaves (Lima et al. 2013), e de igual modo na foz do rio Tocantins (Rosseti e Valeriano, 2007), Lima et al. (2007), dentre outros. Ressalte-se que a própria ilha é o resultado de neotectonismo, haja vista que foi separada do continente em razão de falhas extensionais oblíquas, tanto a sul como a oeste, sendo considerada com uma região sismogênica por Mioto (1993).

Um fato sempre especulativo na região estudada constitui a questão da bacia do rio Tocantins como integrante ou não do rio Amazonas, em tempos pretéritos. Dentre àqueles que concordam com tal assertiva têm-se Rosseti e Valeriano (op. cit.) que assim se expressam : “This approach led to the recognition of a fan morphology related to the record of a tectonically controlled N/NW-S/SE orientated paleovalley cut down into Miocene and older rocks. The incised valley was fed by a paleo Tocantins River, which deposited its sediment load continuously to the north-northwest, reaching the Marajó Island and producing a deposit with a fan-morphology during the Plio-Pleistocene/Pleistocene.”

De igual modo, a forma em cone de depósitos aluviais também tem suscitado várias hipóteses sobre a sua origem, embora Radam (1974) tenha destacado pela primeira vez a forma em leque da foz do rio Tocantins, no entanto sem apresentar as justificativas de sua origem.

A região objeto de estudo situa-se na porção nor-nordeste do Estado do Pará, no interflúvio Baixo rio Xingu – Baixo rio Tocantins, envolvendo parte da foz do rio Amazonas e do arquipélago do Marajó, compondo uma área de cerca 121.000 km² (Figura 1). Envolve as sedes dos municípios de Cametá, Mocajuba, Baião e Tucuruí, no Baixo rio Tocantins, ao passo que na Bacia do Baixo rio Xingu tem-se as sedes dos municípios de Senador José Porfírio e Altamira, e no rio Amazonas, Almeirim e Gurupá.

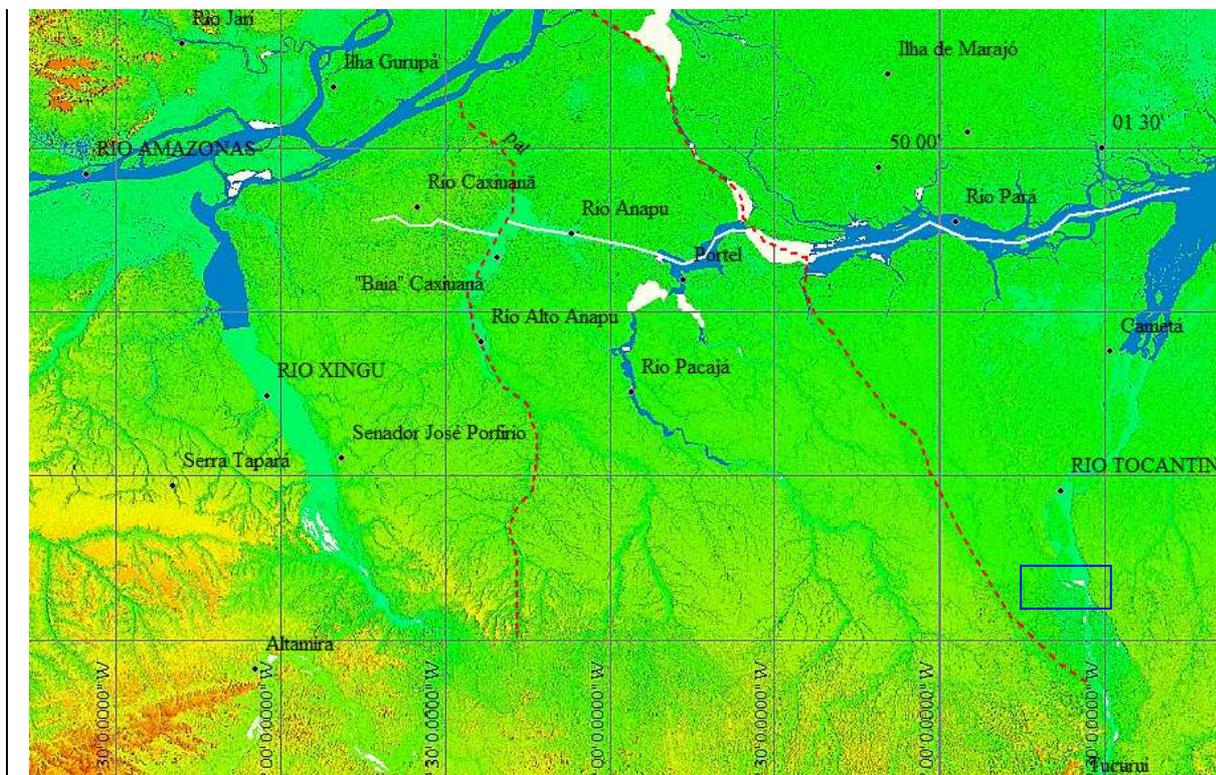


Figura 1 – Mapa de Localização. Imagem SRTM envolvendo a região Nor-Nordeste do Estado do Pará, proximidades da foz do rio Amazonas. Traço vermelho tracejado indica os pretéritos cursos dos rios Tocantins e Anapu. Traço branco contínuo mostra os atuais canais dos rios Caximanã, Anapu e Pará. Retângulo azul mostra a localização da Figura 2.

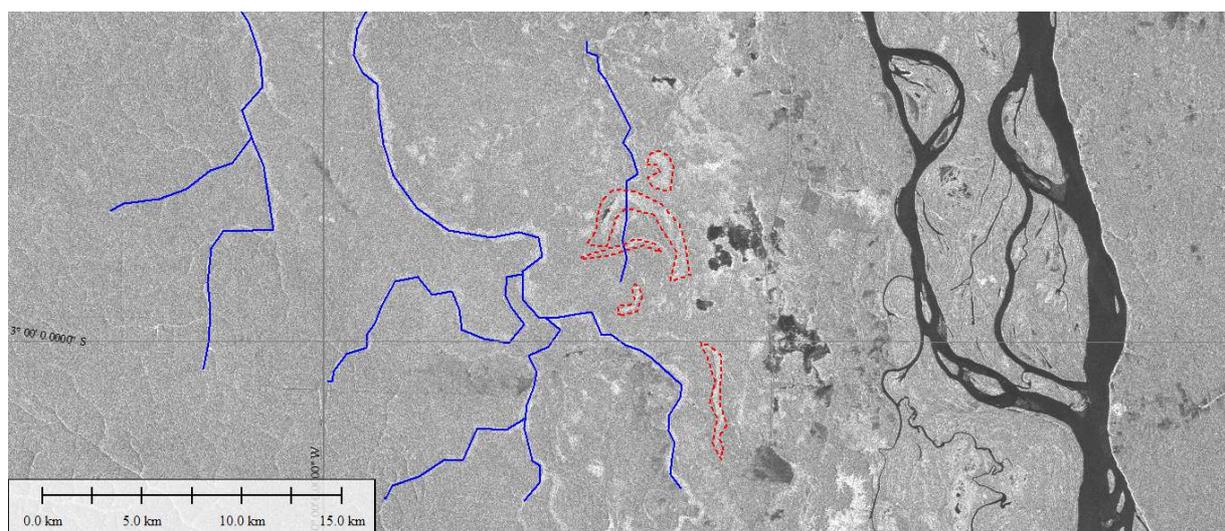


Figura 2 – Porção sul do leque aluvial do rio Tocantins em imagem PALSAR. Traço azul drenagem atual e traço vermelho tracejado as paleodrenagens. Vide localização na Figura 1.

Objetiva-se apresentar uma análise morfolitoestrutural com vistas a cinemática atuante na região em epígrafe fundamentado em imagens de Radar ALOS/PALSAR (banda L), modelos

interferométricos SRTM (bandas X e L) e informações disponíveis na literatura geológica da região enfocada. Destaques para a captura não apenas do rio Tocantins, mas também dos rios Alto Anapu e Pacajá, pelo rio Pará-Anapu, e o delineamento de seus pretéritos cursos, como possíveis afluentes do rio Amazonas. A forma em leque da foz do rio Tocantins também é objeto de especulações sobre a sua origem neste artigo.

2. Material e Métodos

Para a realização desta pesquisa utilizaram-se imagens interferométricas SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) nas bandas X e L com resolução espacial de 30 m (1 arc seg), em razão do ressaltado das formas de relevo e pela possibilidade de variar o ângulo de incidência e azimute, além de perfis altimétricos e definição de bacias através de seus divisores de água no aplicativo Global Mapper 14. No entanto, para as regiões mais planas as feições de relevo são mais bem realçadas no PALSAR, (*Phased Array Synthetic Aperture Radar*) banda L e resolução espacial de 30 m, com destaque para as zonas aluviais e paleocanais, melhor definidos pelo elevado retroespalhamento provocado pelas matas galerias e vegetação de zonas aluviais da planície de inundação. Vide Figura 2. Em verdade, os sensores acima citados são complementares, uma vez que seus usos justificam-se pela grande potencialidade do sensor radar em regiões planas e de frequente cobertura de nuvens

Na interpretação radargeológica utilizaram-se a Metodologia Sistemática de Elementos Radargráficos (SER) de Lima (1995) e análise de drenagem fundamentada em Lima (2002). O primeiro passo foi à individualização de zonas homólogas através de padrões de textura/tom radargráficos, seguido do traçado exaustivo da rede de drenagem e seus divisores. Com esse procedimento foi possível delinear o reflexo do Arco de Gurupá, em razão dos padrões de drenagem anelar circular e elíptico, e assimetrias das drenagens. O estágio seguinte foi à delimitação das bacias de drenagens do Baixo rio Tocantins e Baixo rio Xingu, com vistas a um melhor direcionamento nas inter-relações das zonas rúpteis e localização de anomalias de drenagens do tipo anelar e centrípeto. Feito isso se procedeu a interpretação das morfolitoestruturas e suas relações temporais com as unidades litoestratigráficas, com enfoque nas quebras de relevo e altimetria.

3. Discussão

Conforme a literaturas geológica da região assomam sedimentos cretáceos relativos à Formação Alter do Chão, coberturas lateríticas paleogênicas e neogênicas, e sedimentos quaternários. Estes, sob a forma de terraços pleistocênicos e aluviões holocênicos. Em termos geomorfológicos ocorrem platôs e seus dissecados com altimetria em torno de 170 m a 130 m, tabuleiros com altimetria entre 60 e 40 m, terraços e planícies aluviais com altimetria menor que 10 m, os quais são cortados por uma rede de drenagem com de padrões de drenagem retangular-paralelo, anular-radial e dendrítica-retangular (Lima et al. 2010).

Duas grandes unidades morfoestruturais foram delineadas por Lima et al. (op. cit.): a primeira a ocidente, envolvendo a bacia do Baixo rio Xingu, representado pelo Baixo rio Xingu e seu afluente pela margem esquerda rio Jarauçu e Acaraí, denominada de **Morfoestrutura Baixo Xingu (MBX)**. A outra, a oriente, abarcando a Bacia do Baixo rio Tocantins envolvendo os rios Alto Anapu, Anapu, Pacajá e Pará, que aqui será chamada de **Morfoestrutura Baixo Tocantins (MBT)**.

Na **MBX** dominam os platôs em fase de dissecção controlados por fraturas NNE-SSO e OSO-ENE, compondo marcante alto estrutural, em razão do padrão de drenagem anelar. Por sua vez, nos domínios do Alto do rio Jarauçu, orientado cerca de E-O, tipificado por significativa

anomalia de drenagem do tipo anular de conformação elíptica e grau de estruturação de 75%. Na calha do Baixo rio Xingu assomam as falhas normais meridianas e falhas transferentes dextrais, formando um importante baixo estrutural, denominado de Gráben do Baixo Xingu, orientado segundo NNO-SSE, por Lima et al. (op. cit.).

Na **MBT** dominam as falhas transcorrentes dextrais oblíquas com orientação cerca de E-O, com a formação de romboedros transpressivos e “meias laranjas” com grau de estruturação de 75%; assim como falhas normais de orientação meridiana; a exemplo do que ocorre na calha do rio Alto Anapu, formando uma estrutura grabenforme de disposição aproximadamente meridiana. Os rios Pará e Anapu, mostram-se totalmente controlado por fraturas E-O, NE-SO e NO-SE o que ratifica seu controle tectônico de idade recente. O rio Tocantins, em sua foz, mostra-se delineado em marcante orientação NE-SO, eivado por ilhas exemplificando um canal típico entrelaçado. Neste domínio é marcante a presença de leque aluvial de dimensões quilométricas com abertura no sentido da ilha de Marajó, no qual são marcantes zonas arenosas bem delineadas nas imagens PALSAR de provável idade Pleistocênica–Pliocênica e depósitos atuais holocênicos bem tipificado na calha do rio Tocantins nas suas ilhas e margens.

Para uma melhor compreensão da região estudada elaborou-se um esboço geológico através de unidades radargeológicas informais e seu posicionamento cronológico, como indicado na Figura 3, assim discriminados: embasamento ígneo-metamórfico do Paleoproterozoico; sequência vulcanossedimentar do Neoproterozoico; sedimentos cretáceos siliciclásticos com dominância de psamitos; coberturas lateríticas paleogênicas; coberturas lateríticas neogênicas do Mioceno e Plioceno; leques aluviais do Plio-Pleistoceno; terraços pleistocênicos; e aluviões holocênicos.

Em termos tectônicos a região estudada foi intensamente afetada por movimentos transtensivos dextrais de orientação cerca de E-O, com o desenvolvimentos de falhas normais N-S e transferentes de orientações NE-SO sinistrais e NO-SE dextrais. Em termos cinemáticos interpreta-se para a região o σ_1 (horizontal) segundo E-O, ao passo que o σ_2 (vertical). O σ_3 (horizontal) estaria disposto segundo N-S. Em vista disso as principais zonas de distensão orientar-se-iam segundo NNO-SSE a NNE-SSE e orientações NE-SO a NO-SE relacionam-se as fraturas Riedel e anti-Riedel, respectivamente.

Evidências de eventos neotectônicos são marcantes não só pelas anomalias de drenagem identificadas, em especial as “meias laranjas”, como também por inflexões abruptas de rios de hierarquia fluvial elevada, como ocorre nos rios Xingu e Alto Anapu, com a presença de extensos depósitos fluviais à jusante. Na serra do Tapará, nascentes dos rios Jarauçu e Acaráí, afluentes do rio Xingu pela margem esquerda, identificou-se pelas drenagens anelar elíptica a presença de amplo dobramento nos platôs que formam a Cobertura Laterítica Paleogênica. O rio Amazonas com orientação cerca de ENE-OSO é controlado por falha transtensiva dextral com um maior alçamento do bloco Norte, em razão dos platôs de maior altimetria e que em sua maioria estão mineralizados em bauxita e caulim que afloram na região de Almeirim (PA). Isto por que tais depósitos relacionam-se a uma fase de levantamento e abaixamento e épocas de laterização, as quais são definidas por altimetria. No entanto, os platôs da região do Alto do rio Jarauçu devem relacionar-se ao mesmo nível de aplanamento dos depósitos bauxitíferos de Almeirim (PA) e mesmo de Juruti (PA), abrindo perspectivas de prospecção para esse bem mineral nos mesmos.

Outro fator interessante são as denominações locais de “Baía”, onde os rios mostram maior largura e bordas retilíneas, como acontece com os Rios Alto Anapu, Anapu e Pará, os quais denotam um forte controle tectônico, aqui interpretado, como a formação de micros bacias do tipo “pull-apart”.

A presença de um amplo leque aluvial jacente na foz do Rio Tocantins, de dimensões quilométricas, com extensão até a ilha de Marajó foi desenvolvido por reativação do Arco de Gurupá, em que rochas vulcanossedimentares aflorantes na região de Tucuruí, orientação segundo NNO-SSE, estendiam-se mais para norte, fato evidenciado pela presença de “altos do embasamento” com reflexos nos platôs de sedimentos cretáceos sob a forma de drenagem anelares, “meias laranjas” e drenagem fortemente orientadas para NNO-SSE. Em outras palavras, a região foi alçada e constituiu na área fonte para o desenvolvimento de tão extenso leque aluvial, através de canais que foram migrando de oeste para leste, com dominância de psamitos e ruditos, até a posição atual do rio Tocantins (Figura 3).

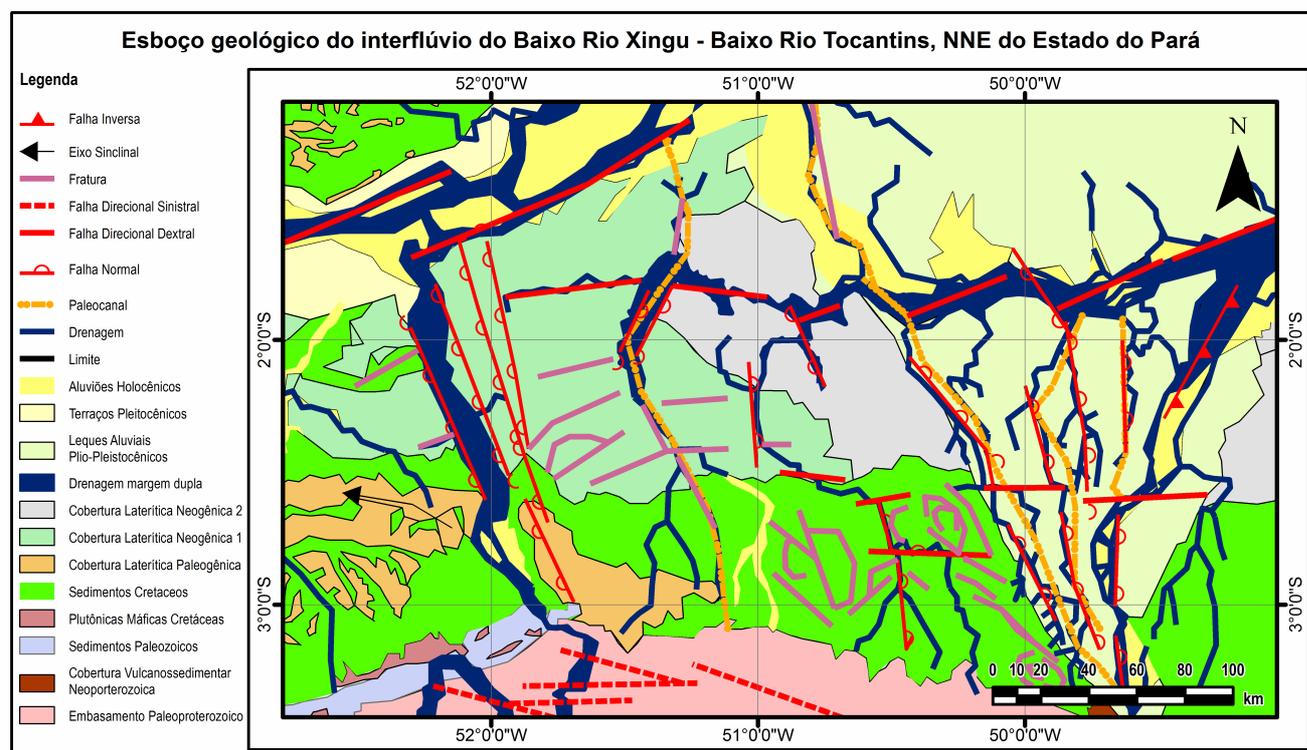


Figura 3 – Esboço geológico do Interflúvio do Baixo Rio Xingu-Baixo Rio Tocantins, NNE do Estado do Pará. Vide explicações no texto.

4. Conclusões

Em face do exposto, à guisa de conclusão, podemos elencar:

- excelência das imagens SRTM e ALOS/PALSAR na interpretação radargeológica, tanto na definição das unidades geológicas informais, como na delimitação de paleocanais e interpretação morfolitoestrutural, constituindo em importante ferramenta na presente pesquisa;
- concorda-se que o rio Tocantins sofreu um processo de captura por falha transtensiva dextral orientada cerca de E-O e com isso os rios Alto Anapu e Pacajá, que antes faziam parte também da Bacia do rio Amazonas foram desviados de seus cursos originais. Nesta zona de captura o canal formado foi denominado de rios Anapu e Pará, com termos locais de “baías” do Pacajá, Portel, Melgaço e das Bocas. Nestas, onde os rios formam maiores larguras;

- como fechamento da presente pesquisa sugere-se os pretéritos cursos dos rios Alto Anapu e Tocantins na Figura 3, como uma visão da paleogeografia que dominou a região em estudo no Plio-Pleistoceno;

- na serra do Tapará (MBX) interpretaram-se anomalias de drenagens nos platôs da Unidade Laterítica Paleogênica, evidenciando uma ampla sinclinal;

- na foz do rio Tocantins marcantes leques aluviais coalescentes dominados por enchentes em lençol, com predomínio de psamitos e ruditos, constituem uma consequência natural dos efeitos dos movimentos neotectônicos atuantes na região, com extensão até a ilha de Marajó. Observou-se um marcante controle estrutural com canais seguindo uma orientação meridiana, o que denota o forte controle tectônico;

- dividindo-se a região estudada em três segmentos, tendo como referência o rio Amazonas, observa-se que as porções norte e sul sofreram alçamentos, ao passo que a intermediária abaixamento. Este fato tem implicações econômicas no que concerne aos depósitos de bauxita e caulim que associam-se a Unidade Cobertura Laterítica Paleogênica.

- no Baixo rio Tocantins, a região da sede do município de Cameté está em fase de levantamento, em razão de uma falha inversa ou seja sua margem é de de intensa erosão.

5. Referências Bibliográficas

Costa, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**. v.21, n.12, p. 146-160,1991.

Costa, J.B.S.; Bermeguy, R.L.; Hasui, Y.; Borges, M.S.; Ferreira Jr., C.R.P.; Bezerra, P.E.L.; Costa, M.L.; Fernandes, J.M.G. Neotectônica da região amazônica - aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, v. 4, p. 23-44, 1996.

Hasuy, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: Workshop sobre neotectônica e sedimentação cenozóica continental no sudeste brasileiro, Belo Horizonte, 1990. **Anais...** Belo Horizonte: SBG/MG, 1990. Artigos, p.1-31.

Lima, M. I. C.; Rocha, A. V. S.; Assunção, R. F. S. Análise Morfoestrutural do Interflúvio Baixo Rio Xingu – Baixo Rio Xingu, Nor-Nordeste do Estado do Pará. XLV Congresso Brasileiro de Geologia. Resumos, p. 345. Belém-Pa. SBG, 2010.

Lima, M. I. C. Metodologia de interpretação radargeológica; exemplo da Sinéclise do Parnaíba e de seu embasamento. 1995. 2v. Tese (Doutorado em Geologia). UFPA /Núcleo de Geociências, Belém, 1995.

Lima, M. I. C. Análise de Drenagem e seu significado Geológico-Geomorfológico. CD –ROM. Inédito, 2002.

Lima, M. I. C.; Coelho, F. A. J. F.; Bezerra, P. E. L.; Silva, G. H.; Miranda, C. A.; Faustino Neto, M.; Ferreira, J. D. C. A. Interpretação morfoestrutural da região leste da ilha de Marajó (PA). In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5, 1996, Belém, **Anais...** SBG, 1996, p.327-330.

Lima, M. I. C. Análise morfoestrutural da ilha de Marajó (PA). In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 10, 2007, Porto Velho – RO, **Anais...** Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, 2007, p. 261-263.

Lima, M. I. C.; Barbosa, A. M.; Lopes, D.S. Significado tectônico dos paleocanais da região de Chaves (PA), norte da Ilha de Marajó, fundamentado em imagens de Radar SAR-L (ALOS/PALSAR) e SAR-X (GEMS). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, INPE, p.8248.

Miotto, J.A. **Sismicidade e zonas sismogênicas do Brasil**. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 1993.

RADAM. Folha SA.22 Belém. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, Brasil. 1974.

Rossetti, D. F.; Valeriano, M. M. 2007. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. **Catena**, v. 70, p. 253–265, 2007.

Rossetti, D.F.; Valeriano, M. M.; Thalês, M.- Remote sensing applied to decipher origin of the Marajó Island, northern Brazil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis-SC. **Anais...** INPE, São José dos Campos, p. 2133-2140.

Schobbenhaus, C.; Campos, D. A. A evolução da Plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: C. Schobbenhaus, D.A. Campos, G.R. Derze, H.E. Asmus (Coordenadores), **Geologia do Brasil**. Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Brasília: DNPM, p. 9-56, 1984.

Truckenbrodt, W.; Kotschoubey, B.; Schellmann, W. Composition and origin of the clay cover on North Brazilian laterites. **Geologische Rundschau**, v. 80, p. 591-610, 1991.