

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)

Mário Ivan Cardoso de Lima¹
Alda Monteiro Barbosa¹
Diones da Silva Lopes²

¹Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - GRN/UE/PA
Av. Serzedelo Correa, 331 – 66035-400 – Belém - Pará
{ [mario.lima,alda.barbosa](mailto:mario.lima,alda.barbosa@ibge.gov.br) } @ibge.gov.br

²Escola Superior da Amazônia – Graduação Geografia
Rua da Municipalidade, 530– 66010-000 – Belém – Pará
di_slopes@hotmail.com

Abstract. This paper describes an approach about paleochannels located in north of Marajó Island, Chaves county (Pará State, Brazil), in order to study their tectonic significance, based on images of side-looking radar, X-SAR-GEMS and L-SAR-PALSAR/ALOS. It was identified that region lies in a pull-apart basin, on terrain formed by fluvio-marine, fluvial and fluvio-lagoon deposits of the early Pleistocene and fluvio-marine deposits of the early Holocene, with the presence of at least six generations of paleochannels, which show perfectly the tectonic instability in that region and confirm to be a seismogenic area. For the ellipsoid of tension, it is interpreted with a horizontal sigma-1 orientation ENE-WSW, sigma-2 vertical, while the horizontal sigma-3 would NNW-ESE direction, featuring a transtensive basin. In the southwestern area of basin was interpreted a small paleolake whose origin would be similar to the Arari lake located in a southern area of Marajó Island (Pará State, Brazil), by sinking of the region due to tilting to the southwest. The research attests the excellence of the radar images, either X-SAR Radar GEMS, airborne and analogic image, or L-SAR Radar PALSAR, orbital and digital image, showed all their potential in flat terrain to acquire information on drainage branches. The results confirmed the importance of more studies in that region, which beyond its tectonostratigraphical context, would be possibility to have significant peat deposits and macrofossils from the Pleistocene, mostly.

Palavras chave: paleochannels, pull-apart basin, side-looking radar, Marajó Island, paleocanais, bacia de afastamento, radar de visada lateral, Ilha de Marajó.

1. Introdução

A Ilha de Marajó, chamada *Mbara'yo - barreira do mar* - por seus nativos, ou Pantanal Paraense, por Lima (2007), ocupa uma área de cerca de 40 000 km², sendo pouco menor que o Estado do Rio de Janeiro. Localiza-se sob a linha do Equador, entre a foz do Amazonas e a baía do Marajó, nordeste do Estado do Pará, onde juntamente com as ilhas de Caviana e Mexiana, e outras dezenas de ilhas menores compõe o cognominado arquipélago de Marajó. Constitui a maior ilha fluvio-marinha do mundo. Foi palco de civilizações pré-colombianas com o desenvolvimento da cultura marajoara, famosa mundialmente. Uma visão global deste rincão brasileiro pode ser observada na Figura 1, em imagem Landsat-TM. Situa-se no município de Chaves (PA), a área do estudo está compreendida entre as coordenadas geográficas 49° 00' W Gr. a 49° 30' W Gr. e 00° 00' a 00° 30' Sul.

A Ilha de Marajó apresenta traços bem marcantes em sua paisagem, dentre as quais a sua porção oriental é dominada por vegetação do tipo savana, ao passo que a ocidental por vegetação ombrófila densa. Por sua vez, no inverno de fortes chuvas (janeiro a junho), quando seus campos

(porção oriental da ilha) ficam inundados, é possível atravessá-los a bordo de um barco; e no verão, de seca e calor inclemente (setembro a dezembro), podem ser percorridos a cavalo.

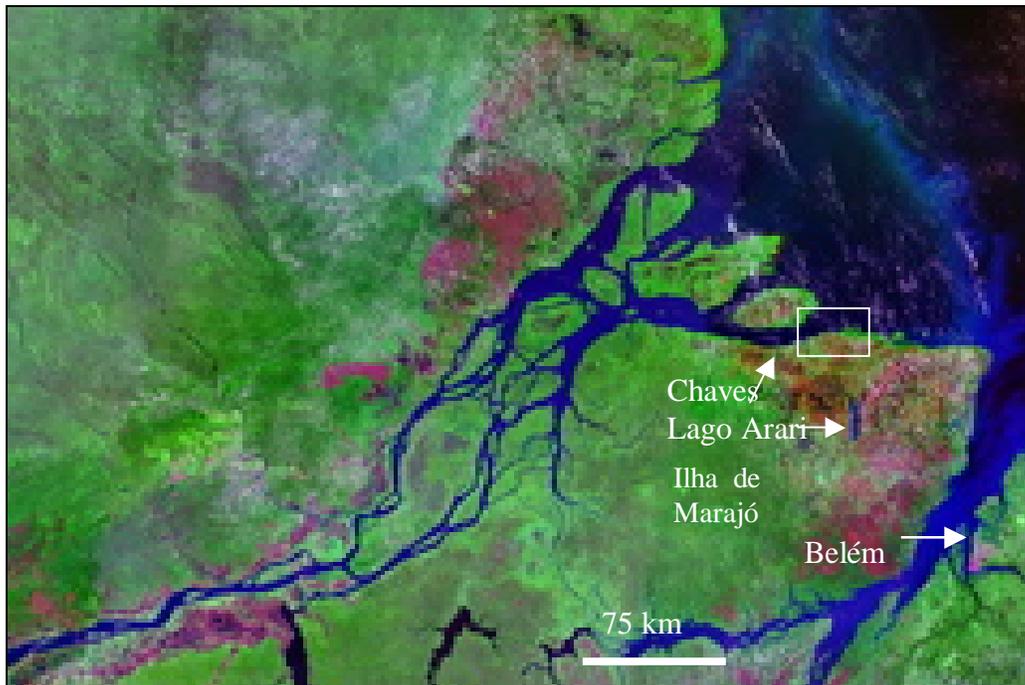


Figura 1 – Visão sinóptica da Ilha de Marajó (PA) em uma imagem Landsat-TM (RGB 543) mostrando a localização da área estudada (retângulo), as sedes dos municípios de Chaves e Belém e o lago Arari. Na porção oriental da ilha, onde predominam os campos, os paleocanais estão bem ressaltados.

Além dessas peculiaridades a Ilha de Marajó mostra uma infinidade de paleocanais, bem alcandorados em sua porção oriental, na região da savana, constituindo, na realidade, em verdadeiras “pegadas” dos movimentos neotectônicos que afetaram a região em questão, em especial durante o Neógeno. Representa um “laboratório” a céu aberto. A primeira referência sobre o significado desses paleocanais deve-se a Lima et al. (1996), os quais interpretaram pela primeira vez a presença de bacias do tipo *pull-apart* (bacia de afastamento), nas regiões a oeste da sede do município de Chaves (objeto deste trabalho) e região do lago Arari, explicando deste modo a origem deste lago bastante conhecido nas lides marajoaras. Seguiram-se trabalhos de Lima (2007), Rossetti et al. (2007) e Tatum et al. (2008), dentre outros, que enfocaram neotectônica, ambientes de sedimentação e idades dos sedimentos, respectivamente, na ilha em questão.

Tomando como referências iniciais os trabalhos de Lima et al. (1996) e Lima (2007), sobre análise morfoestrutural da Ilha de Marajó e com base nos dois sistemas de radar já mencionados, em bandas distintas, este trabalho procurou enfatizar o estudo de importantes feições (paleocanais), com o objetivo de identificar os “rastros” deixados pela atividade fluvial no Neógeno, no município de Chaves (PA), norte da Ilha de Marajó.

O território nacional, em especial a Amazônia brasileira, está recoberto por imagens de radar de visada lateral (RVL). A utilização de imagens de radar de visada lateral, GEMS (*Good*

Year Electronic Mapping System) e PALSAR (*Phased Array type-L Synthetic Aperture Radar*) neste estudo, reveste-se de grande importância uma vez que estes sensores apresentam bandas distintas em termos de comprimento de onda, X (3,12 cm) e L (23,5 cm), respectivamente, sendo seu uso justificado pela grande potencialidade do sensor radar em regiões planas e de frequente cobertura de nuvens.

Convém destacar que o IBGE disponibilizou na rede mundial de computadores cerca de 2.000 cenas ortorretificadas e georreferenciadas de imagens ALOS/PALSAR, banda L, em setembro de 2010, das regiões norte e nordeste brasileiros; como também as imagens de Radar da GEMS-1000, banda X, utilizadas pelo Projeto RADAM/RADAMBRASIL, as quais foram digitalizadas pela ADIMB (Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira). O acervo de imagens analógicas convertidas para o meio digital, apesar de não estarem georeferenciadas, pode ser adquirido a preço bem acessível para pesquisas científicas.

Os dados PALSAR do satélite ALOS, da agência japonesa JAXA, também estão sendo cada vez mais utilizados em estudos na Amazônia, sendo incorporados à tecnologia dos sistemas regulares de monitoramento da região amazônica pelo INPE.

2. Objetivos

Considerando ser a Ilha de Marajó carente de informações de cunho geológico e por se constituir em uma região de difícil acesso, objetiva-se contribuir, em uma primeira aproximação, fundamentado em imagens de radar de visada lateral, sobre estudos dos paleocanais e suas interações temporais. O estudo de paleocanais apresenta importante feição na interpretação do contexto neotectônico regional, uma vez que a área localiza-se em uma região sismogênica, conforme Mioto (1993).

Convém destacar que as imagens de radar utilizadas neste estudo foram obtidas em épocas distintas, com um lapso temporal de 36 anos e que apresentam comprimentos de onda, ângulos de visada, ângulos de incidência, resolução espacial e plataformas diferentes. Como já mencionado, as imagens de radar de visada lateral têm grande aplicabilidade em terrenos planos e em regiões com cobertura perene de nuvens, como é o caso da área enfocada por este estudo.

3. Material e Métodos

Na interpretação dos paleocanais da região do município de Chaves (PA) utilizaram-se imagens de radar de visada lateral na banda X da GEMS, de 1971/1972, e PALSAR, de junho de 2008, na banda L. As imagens de radar da GEMS apresentam recobrimento em todo o território nacional obtido em duas etapas: 1971/1972, na região amazônica e parte do nordeste brasileiro, e o restante do Brasil, em 1975/1976. É um radar aerotransportado de abertura sintética, na banda X, de comprimento de onda 3,12 cm, polarizado HH, com resolução espacial de 16 m e analógico. Neste trabalho a imagem utilizada foi a da Folha SA.22-X-B (digital e analógica).

Por sua vez, o PALSAR, na banda L, apresenta polarização HH e resolução espacial de 20 m. Os produtos digitais utilizados foram: ALPSRP-126907170/-126907180/-131137170/-131137180.

Na interpretação digital das imagens utilizaram-se o MicroStation SE e Image Analyst, segundo metodologia SER (Sistemática de Elementos Radargráficos) de Lima (1995).

4. Contexto Geológico Regional

Para efeito de mapeamento das feições morfoestruturais dividiu-se a Ilha de Marajó em associações litológicas, de acordo com as informações geológicas obtidas na literatura (Figura 2), modificado de Lima (2007):

Unidade 1 - Coberturas Detríticas Pleistocênicas Tardias ou Unidade Pós-Barreiras – pacote colúvio-aluvial areno-argiloso a argilo-arenoso, de forma tabular, pouco espesso, formando Latossolos Amarelo Álico, pedogeinizados, de idade pleistocênica, capeado geralmente por uma crosta laterítica, como ocorre na região de Joanes (Marajó) e ilha de Mosqueiro. Pleistoceno tardio ao Holoceno segundo Tatumi et al. (2008).

Unidade 2 – Depósitos Fluviomarinhos, Fluviais e Fluviolagunares Pleistocênicos Recentes - representam uma superfície de aplanamento inumada tipificada por sedimentos argilosos, parcialmente oxidados, em que se associam Plintossolos e constituem áreas alagáveis nas épocas de maior precipitação pluviométrica, em face das argilas em sua constituição. Grande incidência de lagos e paleocanais.

Unidade 3 – Depósitos fluviais, fluviolagunares e secundariamente fluviomarinhos Pleistocênicos Recentes – representam uma superfície dissecada cujo nível de base foi atingido, sendo constituído por grande incidência de paleocanais, de diferentes gerações, e lagos. Interpreta-se como relacionados a zonas abatidas, cujo preenchimento foi realizado essencialmente por processos fluviais e fluviolagunares, em zonas de instabilidade tectônica. Dispõe-se essencialmente em grábens cujo controle é delimitado por falhas transcorrentes dextrais E-O oblíquas e falhas de gravidade de orientação meridiana. Localiza-se essencialmente nas bacias de afastamento (*pull-apart*) de Arari e Chaves, centro-leste e nor-noroeste da Ilha de Marajó; respectivamente. Rossetti et al. (2007) advogam a possibilidade da área do lago Arari, com forma tipo funil, tratar-se de um sistema paleoestuarino do final do Pleistoceno, antes do desenvolvimento do lago.

Unidade 4 – Leques aluviais Pleistocênicos relacionados ao rio Tocantins;

Unidade 5 – Depósitos marinhos Holocênicos com o desenvolvimento de cordões litorâneos;

Unidade 6 – Depósitos fluviomarinhos Holocênicos;

Unidade 7 – Depósitos fluviais Holocênicos.

As principais feições de cunho neotectônico que se pode vislumbrar na Ilha de Marajó são, sem dúvida, a presença de dois grandes sistemas transtensivos oblíquos de orientação cerca de E-O, como ocorre nas regiões do lago Arari e de Chaves, dispostos nas porções centro-leste e nor-noroeste, respectivamente. Em ambos os casos formaram-se bacias de afastamento (*pull-apart*) com limites por falhas normais de orientação quase meridiana. Tais bacias associam-se paleocanais de orientações e gerações distintas, os quais muitas vezes se cruzam. Por sua vez, no quadrante centro-oeste os sistemas de falhas atuantes sugerem a presença de um sistema transpressivo, com orientações E-O e NE-SO, com falhas inversas de orientação meridiana. Na porção oeste existe uma dominância de falhamentos com orientação meridiana.

A existência de paleocanais no quadrante sudeste, associado com a evidência de padrão de drenagem defluente, cujo ângulo de junção obtuso atesta perfeitamente o basculamento de bloco de NO para SE, provocando a inversão da drenagem que inicialmente corria de SE para NO e temporalmente ligada à formação da bacia de afastamento do Arari.

5. Estudos dos paleocanais e significado tectônico

Conforme indicado na Figura 2, a região de estudo situa-se a oriente da sede do município de Chaves (PA), porção central do município. Constitui-se por terrenos dominados ou por depósitos fluviais, ou fluviolagunares, ou fluviomarinhos, de provável idade pleistocênica recente. Na zona costeira assomam depósitos fluviomarinhos holocênicos. Representa uma superfície dissecada cujo nível de base foi atingido, sendo constituído por uma miríade de paleocanais, de diferentes gerações, e lagos. Interpreta-se como relacionados a zonas abatidas, cujo preenchimento foi realizado essencialmente por processos fluviais e fluviolagunares, e

secundariamente fluviomarinhas em zonas de instabilidade tectônica. Constitui uma bacia de afastamento (*pull-apart basin*), relacionada à movimentação transtensiva. Limita-se a sul por falha transtensiva dextral de orientação ENE-OSO e a oeste por falha de gravidade orientada segundo NNO-SSE (Figura 3).

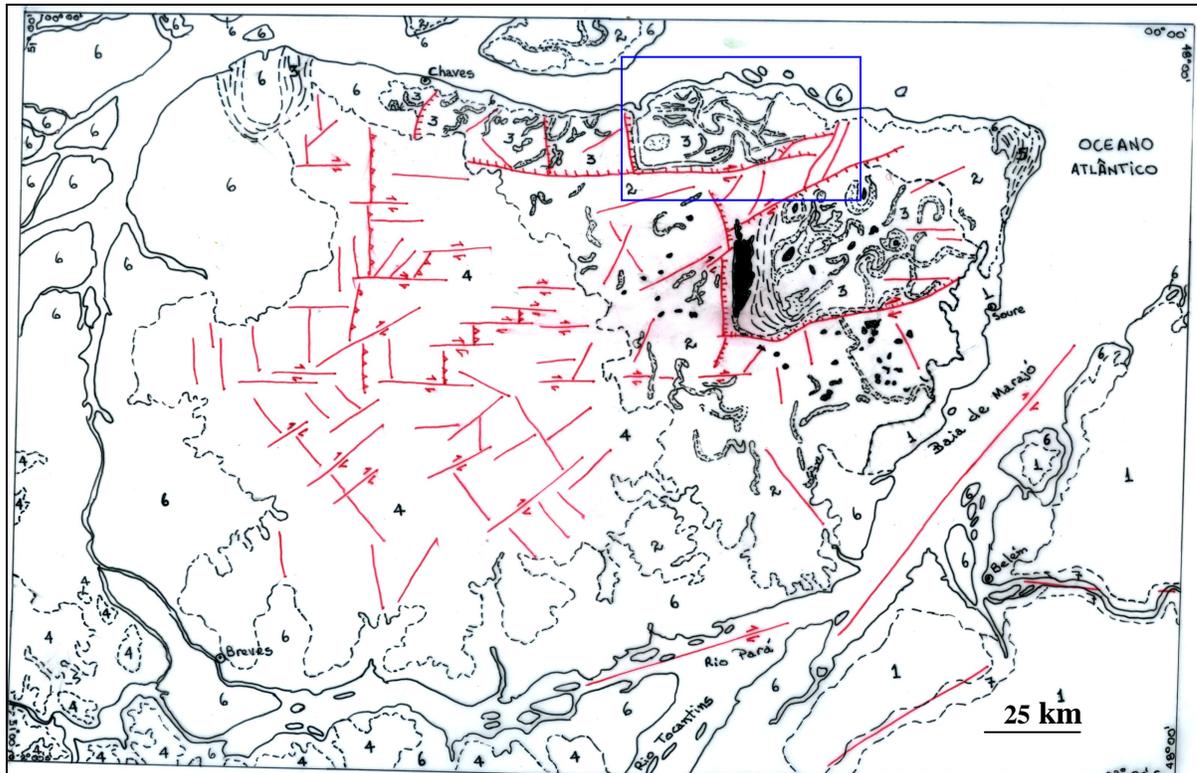


Figura 2 - Esboço Morfoestrutural da Ilha de Marajó (PA) – Os numerais (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) representam associações litológicas conforme texto. Linha fina tracejada constitui limite entre unidades; linha média representa falhas com traços (normais), vértices (inversa) e setas (deslocamento); lagos em preto e em pontilhados os paleocanais. Traços fino curtos constituem cordões lineares de origem fluvial ou marinha. Retângulo em azul delimita a área estudada. Fonte: Lima (2007).

Foi possível através de interpretação visual identificar pelo menos seis grandes gerações de paleocanais (existem mais), em razão do truncamento dos mesmos. Tal diversidade de canais é perfeitamente explicável pela instabilidade tectônica reinante na região, onde os basculamentos de blocos de SE para NO e de E para O são sugeridos em razão do posicionamento dos paleocanais mais antigos. A região em questão é admitida como sismogênica (Mioto, 1993).

Para o elipsóide de tensão, interpreta-se o sigma 1 com orientação ENE-OSO, sigma 2 vertical, ao passo que o sigma 3 teria orientação NNO-ESE, caracterizando uma bacia transtensiva. No quadrante sudoeste da bacia interpreta-se um paleolago de pequenas dimensões cuja origem seria semelhante a do lago Arari, ou seja, pelo afundamento da bacia devido ao basculamento para sudoeste.

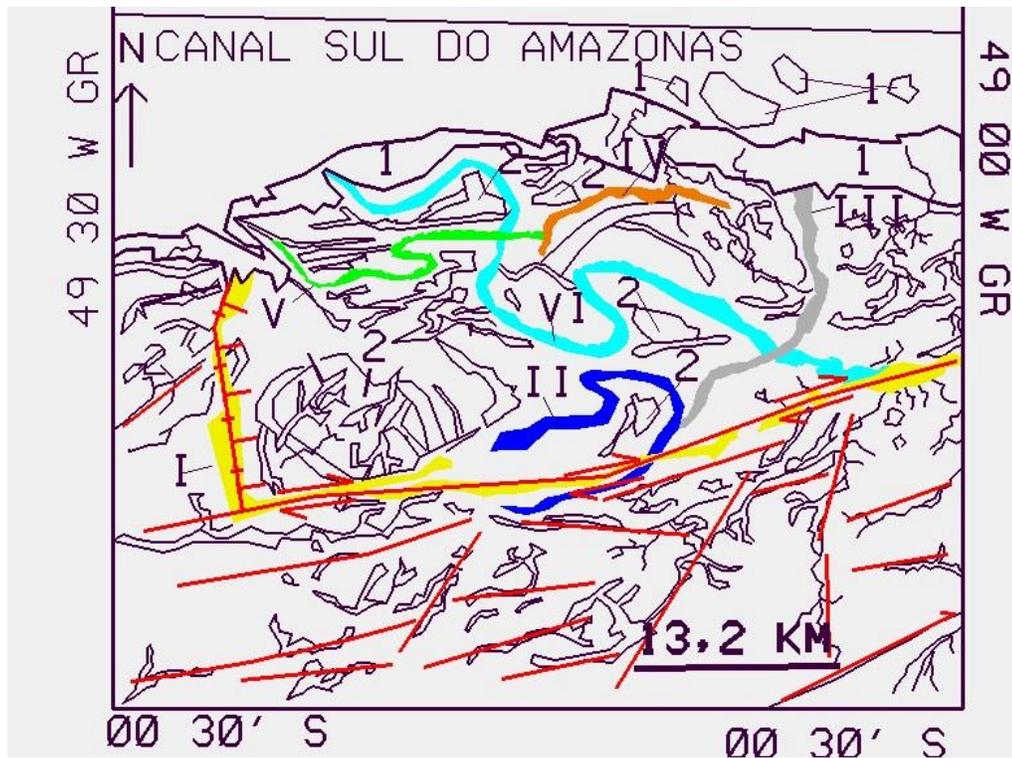


Figura 3 – Esboço geológico da área estudada. Em 1 e 2 unidades litológicas. A unidade 1 evidencia a presença de depósitos fluviomarinhos holocênicos, enquanto a unidade 2 representa os antigos lagos cobertos por depósitos fluviolagunares pleistocênicos recentes. Por sua vez, o restante seria a região indiferenciada com dominância de depósitos fluviomarinhos e fluviolagunares pleistocênicos recentes. As linhas duplas vazadas representam paleocanais, onde dominam depósitos fluviais, e em cores, de diferentes gerações, de I a VI, em ordem crescente de idade. Falhas indiferenciadas, em traços contínuos vermelhos; falhas normais, em hachuras no bloco baixo e transtensiva dextral com setas.

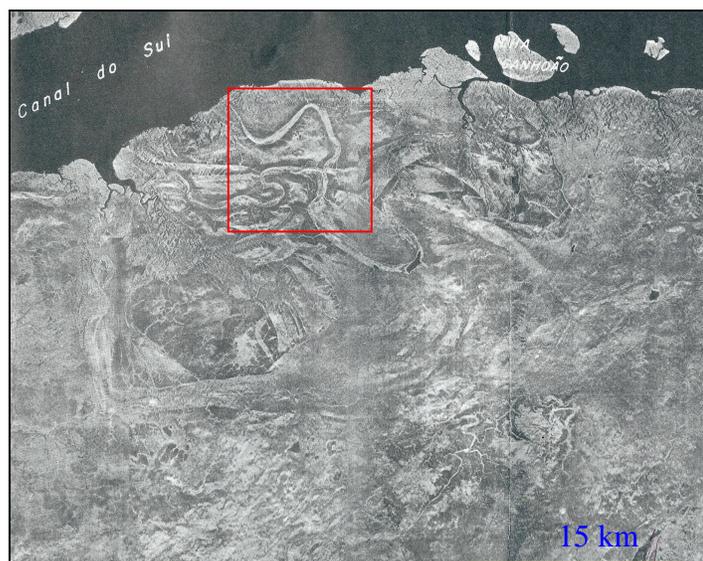


Figura 4 – Imagem de radar – SAR-X-GEMS com uma visão geral da região estudada na Figura 3. O retângulo em vermelho é a área escolhida para comparação entre imagens de radar SAR.

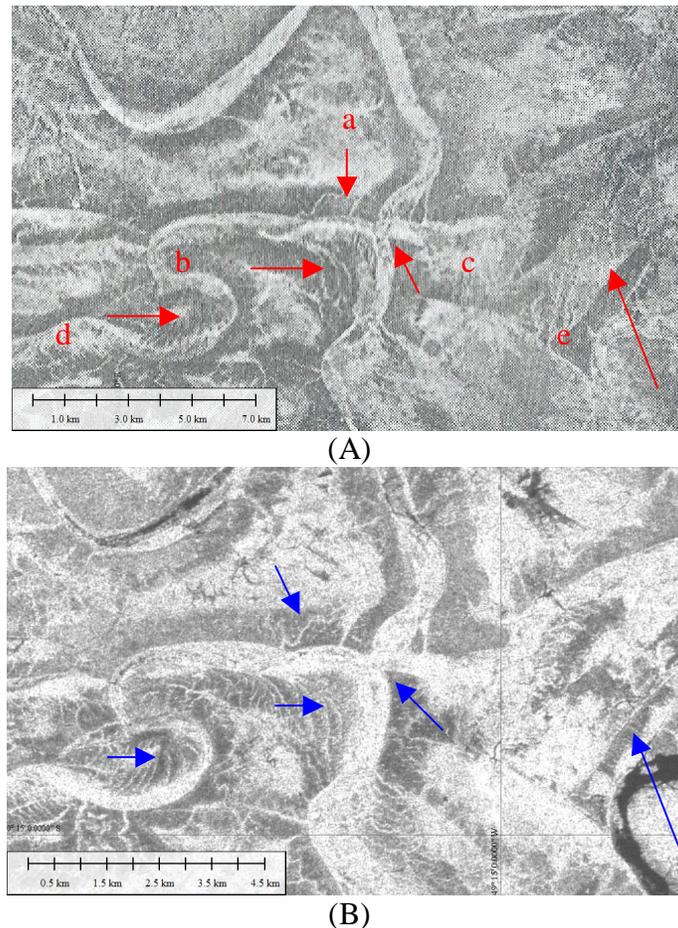


Figura 5 – Imagens de radar: SAR- GEMS (A) e SAR-PALSAR (B). A localização das imagens está indicada no retângulo vermelho da Figura 4. Na imagem da GEMS a escala gráfica vai de 0 a 7 km e da PALSAR vai de 0 a 4,5 km. As letras correspondem a alvos que são discutidos na Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre as imagens de radar (GEMS e PALSAR), conforme indicadas na Figura 5. Enquanto uma é analógica (GEMS) a outra é digital (PALSAR). Considerando a diferença entre os comprimentos de onda, e ângulos de incidência e de depressão, eram esperados resultados distintos. No entanto, fundamentado na região escolhida observa-se que o radar PALSAR mostra mais zonas com alto retroespalhamento, onde as feições – paleocanais - são mais largas. Igual interpretação é admitida para os afluentes, em que os mesmos estão mais realçados. Como interpretação, admite-se que isto pode estar ligado à época do imageamento do radar PALSAR ter ocorrido no período chuvoso, atestado pela presença de lagos atuais, e com vegetação mais luxuriante, não evidenciados no radar GEMS. Por sua vez, o truncamento dos canais de gerações distintas está bem evidente nos dois sistemas de radar. De qualquer modo, deve-se levar em consideração a maior penetração na banda L, em termos de espalhamento volumétrico.

Tabela 1 – Quadro comparativo mostrando as diferentes respostas entre as feições mostradas pelas imagens de radar GEMS e PALSAR

<i>Alvo</i>	<i>GEMS-SAR - X</i>	<i>PALSAR –SAR - L</i>
a	Ramos de drenagem escassos	Ramos de drenagem mais numerosos
b	Paleocanal com retroespalhamentos distintos	Paleocanal mais largo e homogêneo
c	Truncamento definido	Paleocanal E-O trunca o N-S
d	Ramos de drenagem escassos	Ramos de drenagem mais numerosos
e	Paleocanal homogêneo	Paleocanal com retroespalhamentos distintos

6. Considerações finais

Neste estudo, podem ser considerados, à guisa de conclusão, os seguintes aspectos:

- Excelência das imagens de radar na interpretação da região estudada;
- Confirmação de ser uma área sismogênica, em razão de várias gerações de paleocanais;
- Caracterização de uma bacia de afastamento com limites tectônicos bem marcantes;
- A utilização dos paleocanais como “pegadas” ou “rastros” das movimentações existentes;
- Necessidade de estudos complementares com vistas a determinação das idades dos paleocanais, seu contexto tectonoestratigráfico e sobre a possibilidade de existências de depósitos de turfa e de macrofósseis.

7. Bibliografia

Lima, M. I. C. **Metodologia de interpretação radargeológica; exemplo da sinéclise do Parnaíba e de seu embasamento.** 1996. 2v. Tese (Doutorado em Geologia). UFPA /Núcleo de Geociências, Belém. 1995.

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.

Mioto, J. A. **Sismicidade e zonas sismogênicas do Brasil.** 1993. 2v. Tese (Doutorado em Geologia). UNESP/IGCE, Rio Claro. 1993.

Rosseti, 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.

Tatumi, S. H.; Silva, L. P. ;Pires, E. L. ; Rosseti, D. F. ; Góes, A. M. ; Munita, C. S. Datação de Sedimentos Pós-Barreiras no Norte do Brasil: implicações geográficas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 3. p. 514-524. 2008.