

IDENTIFICAÇÃO DE PALEOCANAIS NA BACIA AMAZÔNICA A PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Ericson Hideki Hayakawa¹, Hiran Zani², Clódís de Oliveira Andrades Filho³, Thiago Castilho Bertani⁴, Dilce de Fátima Rossetti⁵

RESUMO

A reconstrução paleogeográfica dos sistemas de drenagem é fundamental na identificação e compreensão de variáveis (p.e., clima, relevo, solo, litologia, tectônica, vegetação, nível do mar) que conduziram sua evolução, principalmente na Era Cenozóica. A identificação de feições como paleocanais pode auxiliar nesta complexa tarefa de reconstituição da evolução de sistemas fluviais. Diferentes dados de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens podem dinamizar esta tarefa, principalmente na Amazônia, onde a dimensão da área e o restrito acesso dificultam estudos desse caráter. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é utilizar diferentes dados de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens para identificar paleocanais e demais feições fluviais no ambiente amazônico. Este trabalho baseia-se no processamento digital e análise de imagens Landsat-5/TM, de modelos digitais de elevação (MDE) provenientes da SRTM e de imagens do radar PALSAR. Os resultados indicam que as imagens de radar provenientes do sensor PALSAR em polarização HH foram eficientes na distinção e delimitação das áreas de planície de inundação. Já a identificação dos paleocanais obteve melhor resultado na polarização HV. Os resultados obtidos pelo processamento dos MDE-SRTM revelaram demais paleocanais que estavam ocultos e/ou mascarados dado à densa cobertura vegetal.

Palavras-Chave: paleocanais, Amazônia, PALSAR, SRTM, Landsat-5/TM

ABSTRACT

The paleogeographic reconstitution of drainage systems is essential in order to identify the variables (e.g., climate, topography, soil, lithology, tectonics, vegetation, sea level) that control its evolution, particularly during the Cenozoic Era. The identification of paleochannels features can assist the identification of ancient fluvial systems. Currently, remote sensing data and its respective techniques (e.g., digital image processing) can aid broad observations and are essential for environments like Amazon, where the size and difficult access can hinder studies of this character. In this sense, our objective apply remote sensing data and techniques of digital image processing to identify paleochannels and modern rivers in the Amazon, aiming to extract features to help us characterize the area as well as in its paleogeographic reconstruction. This work is based on digital processing and image analysis of the following products: Landsat-5/TM, SRTM digital elevation model and PALSAR imagery. The results indicate that the radar images from PALSAR sensor in HH polarization were effective in the distinction and delimitation of floodplains. On the other hand, PALSAR images with HV polarization had a better performance for identification of paleochannels. The results obtained with SRTM enhanced paleochannels that were hidden due to dense vegetation cover.

Key Words: paleochannels, Amazonian, PALSAR, SRTM, Landsat-5/TM

INTRODUÇÃO

A configuração atual dos sistemas fluviais reflete um conjunto de fatores inter-relacionados (p.ex., clima, relevo, solo, litologia, tectônica, vegetação, nível do mar) que atuaram principalmente

¹ Aluno de doutorado do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Professor Assistente da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) - * autor para correspondência

² Bolsista de doutorado FAPESP e aluno do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

³ Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

⁴ Bolsista de mestrado CNPq e aluno do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

⁵ Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

nos últimos dois períodos geológicos (i.e., Neógeno e Quaternário). Devido à complexa relação entre estas variáveis, a reconstituição da evolução de sistemas fluviais no tempo geológico é tarefa de difícil abordagem, e requer esforços interdisciplinares.

Para a região amazônica, esta tarefa é mais complexa, devido à dificuldade de obtenção de dados fluviais, geológicos e geomorfológicos, imposta pela grande dimensão da área e o restrito acesso, além da densa cobertura vegetal e baixo relevo, que resultam em carência de exposições naturais. Quando disponíveis, os trabalhos são de natureza regional ou pontual, desfavorecendo discussão aprofundada que aborde aspectos relevantes ao entendimento da evolução do sistema de drenagem, como idade e forma de instalação, abrangência dos depósitos sedimentares resultantes, e magnitude dos possíveis fatores controladores.

Para a área que compreende a Amazônia Central e os seus principais sistemas fluviais, como o rio Madeira e seus principais tributários, grande parte das informações geológicas e geomorfológicas disponíveis provém de estudos regionais realizados pelo Projeto RADAMBRASIL (MAURO et al., 1978). Demais estudos (p.e. LATRUBESSE, 2002; LATRUBESSE e KALICKI, 2002; SOUZA FILHO et al., 1999; TRICART, 1977) são pontuais e ainda insuficientes para se inferir sobre as dinâmicas dos sistemas de drenagens durante o Quaternário, bem como definir os fatores que possam ter influenciado essa evolução.

Neste sentido, a identificação e o mapeamento das inúmeras feições fluviais atuais e pretéritas presentes na Amazônia são fundamentais em discussões que envolvam a gênese e evolução dos sistemas fluviais amazônicos. A presença de uma complexidade de sistemas de drenagem, tanto atuais como palimpsestas (principalmente paleocanais) e a presença de feições morfoestruturais que podem ser consideradas como sugestivas de drenagem controlada por causa tectônica (p.e., variação de padrões, canais retilíneos, estreitamento anômalo de vales, rias, curvas anômalas, incidência de terraços, etc.), como apresentados nos trabalhos de Bemerguy (1997), Bezerra (2003), Costa, (2001); Costa et al. (1996), Silva (2005) despertam a atenção sobre os reais fatores que controlaram a evolução de tais sistemas fluviais.

Estudos desse caráter atualmente são beneficiados pela disponibilidade de diferentes dados de sensoriamento remoto. Destacam-se dados dos sistemas Landsat, CBERS, dados de Interferometria de Radar de Abertura Sintética (InSAR), obtidos pela missão SRTM, e mais recentemente, dados do Radar de Abertura Sintética (SAR) do sistema ALOS/PALSAR. Com isso, tem-se a possibilidade de avanço na caracterização geomorfológica do ambiente amazônico. Estudos prévios de Almeida Filho e Miranda (2007), Mantelli (2008), Rossetti e Valeriano (2007), Rossetti et al. (2005, 2009) alcançaram resultados positivos em grandes áreas da Amazônia, inclusive aquelas localizadas sob densa cobertura florestal.

Dada a dificuldade na obtenção de dados geológicos e geomorfológicos em campo, a utilização em conjunto dos diversos dados de sensoriamento remoto pode contribuir

significativamente para a caracterização da dinâmica fluvial quaternária de grande parte do ambiente amazônico. Enriquecem-se assim as discussões sobre a real influência da tectônica e das variações climáticas no desenvolvimento dos sistemas fluviais da área, bem como da relação entre o desenvolvimento dos sistemas fluviais e a distribuição da flora e fauna da área. As informações obtidas também podem auxiliar no planejamento e orientação de trabalho de campo. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é utilizar diferentes dados de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens a fim de identificar feições fluviais que auxiliem na caracterização paleogeográfica da área, em específico, a partir da identificação de paleocanais.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrange a porção sudeste do Estado do Amazonas, próxima às cidades de Manicoré, a norte, e Porto Velho (RO) e Humaitá, a sudoeste (Fig.1). Segundo Köppen, o clima da região é tropical chuvoso com curta estação seca (Am). O período chuvoso tem início geralmente em outubro, com maiores índices nos meses de janeiro e fevereiro, e o período seco ocorre de junho a agosto. A precipitação média anual aproxima 2500 mm e a temperatura média de 25 °C (MAURO et al., 1978). A cobertura vegetal predominante é a floresta tropical densa. Áreas de savana ocorrem no domínio morfoclimático de estruturas dissecadas e/ou pediplanadas e compreendem, principalmente, fisionomias de campo cerrado, parque e cerradão, este predominante nas áreas de contato savana/floresta (MAURO et al., 1978).

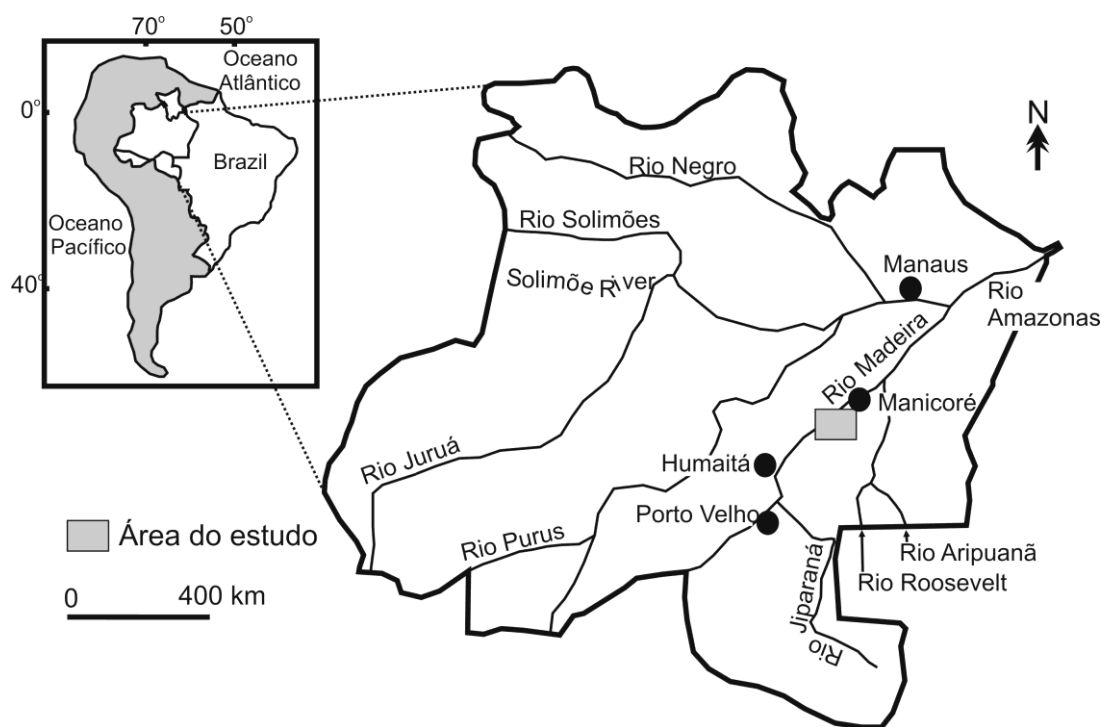


Fig. 1 – Área do estudo e os principais sistemas de drenagem

Os principais sistemas fluviais da área de estudo são representados pelos rios Madeira, Purus, Roosevelt e Aripuanã. Os rios Madeira e Purus apresentam orientação preferencial semelhante, ambos SW-NE. Os dois últimos sistemas fluviais são os principais afluentes da margem direita do rio Madeira. A jusante de sua confluência, os rios Aripuanã-Roosevelt orientam-se no sentido S-N em um canal assimétrico, desprovido de afluentes em sua margem esquerda e com presença de inúmeras ilhas alongadas paralelas ao canal principal.

Estudos revelam a reativação de falhas tectônicas de orientação NW-SE, NE-SW, E-W e N-S na Bacia Amazônica (ALMEIDA FILHO e MIRANDA, 2007; BEZERRA, 2003; COSTA et al. 1995, 2001; CUNHA, 1988; LATRUBESSE e RANCY, 2000; MAURO et al., 1978; ROSSETTI et al., 2008; SILVA, 2005; SOARES, 2007; STERNBERG, 1950) os quais controlam os cursos fluviais dos principais sistemas de drenagem, incluindo-se os da área do estudo. Em particular, estudos desenvolvidos por Souza Filho et al. (1999) no alto rio Madeira revelam a reativação de falhas transformantes NW-SE e NE-SW, as quais controlaram o desenvolvimento do rio neste segmento. Embora escassos, dados de sismos para a região Amazônica registram atividades contemporâneas de sismos, indicados principalmente por terremotos de magnitudes de até 7 Mb (FRANÇA, 2006).

Geologicamente a área do estudo está inserida no sul da Bacia Amazônica, uma sinéclise intracratônica de até 500.000 km², desenvolvida sobre rochas ígneas precambrianas e sobre rochas metamórficas e vulcano-sedimentares (TASSINARI et al. 2000; TEIXEIRA et al. 1989). Esta bacia é relacionada ao *rifting* decorrente da extensão intraplaca do Paleozóico inicial. A área onde apresenta o depocentro possui quatro sucessões sedimentares, de até 6,500 m de espessura, desenvolvida no Ordoviciano inicial-Devoniano, Devoniano inicial-Carbonífero, Carbonífero médio-Permiano e Mesozóico-Cenozóico. A última sucessão sedimentar atinge até 500 m de espessura e foi formada devido à extensão leste-oeste associada com a evolução da porção sul do Oceano Atlântico e com a cordilheira Andina. Esta fase de preenchimento da bacia é registrada pela Formação Alter do Chão (Cretáceo), Formação Solimões (Mioceno) e Formação Içá (Plio-Pleistoceno) (CUNHA et al., 1994; MAIA et al., 1977), bem como de ocorrências de depósitos ainda sem identificação provenientes do Pleistoceno-Holoceno (ROSSETTI et al., 2005). O foco deste trabalho ocorre na área dominada por estes últimos depósitos.

Os procedimentos metodológicos estão baseados no processamento digital e análise de imagens Landsat-5/TM (*Thematic Mapper*), disponibilizadas no endereço eletrônico <www.dgi.inpe.br>, do modelo digital do terreno com resolução espacial de 3" (~90 m) proveniente dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e disponibilizados em <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproduts.html>. Em complemento, foram utilizadas também seis cenas de radar procedentes do sistema ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*)-PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), datadas de 05 de julho, 06 de junho e 23 de junho, do ano de 2008.

Os processamentos realizados foram divididos em três etapas: (1) pré-processamento, (2) fusão de imagens e (3) processamento do MDE-SRTM. Na etapa (1) foram realizadas as correções das distorções geométricas e radiométricas, respectivamente. Para o registro da cena Landsat-TM foram selecionados 20 pontos de controle com base em uma imagem ASTER fornecida pelo USGS aplicando o método polinomial de correção, com erro inferior a 0,3 *pixel*. A correção radiométrica utilizou valores de ganho e *offset* de acordo com Chander et al. (2009), sendo os valores de números digitais convertidos para reflectância de topo.

A correção geométrica dos dados radar fundamentou-se no método do modelo orbital específico, que considera informações exatas de posicionamento da plataforma, contidas no cabeçalho das imagens PALSAR. Pontos de controle foram extraídos das imagens ASTER e do MDE-SRTM, visando maior exatidão e co-registro com as imagens ópticas para o procedimento da fusão. A correção radiométrica nas imagens ALOS-PALSAR foi realizada com aplicação do filtro adaptativo *Enhanced Lee*, janela 5 x 5, que suaviza o ruído *speckle*, mas preserva informações de textura e detalhe dos alvos (LOPES et al., 1990). Posteriormente, os pixels com valores de intensidade foram calibrados para escala absoluta de decibéis, segundo a equação de Shimada et al. (2009) (Eq. 1).

$$\sigma^{\circ} = 10 \log_{10} (\text{DN}^2) - 83 \quad (\text{Eq. 1})$$

sendo DN o número digital das imagens amplitude do produto com nível de correção 1.5. Os procedimentos aplicados nas imagens ópticas foram realizados no software ENVI 4.7, e nas imagens de radar os procedimentos foram realizados no software PCI GEOMATICA 10.3.

Na etapa (2) realizou-se a fusão entre imagens óptica e de radar, para a elaboração de um produto híbrido que auxilie na interpretação visual dos compartimentos geomorfológicos e na caracterização geral da área. Este procedimento se iniciou com a transformação estatística de uma cena Landsat-TM, através da análise seletiva dos componentes principais (SPCA). Esta técnica concentra grande parte das informações contidas nas imagens multiespectrais em componentes que não possuem correlação entre si, e quando combinados em composições coloridas do tipo RGB, resultam em um produto com alto contraste e máxima variância espectral (MATHER, 2004). O procedimento SPCA foi aplicado individualmente nas bandas 1 a 3 e 5 a 7 do sensor Landsat-TM, e realizada composição colorida SPCA-1 no canal vermelho, SPCA-2 no canal verde e banda 4 no canal azul. Esta imagem colorida foi transformada para o espaço de cores IHS, que posteriormente teve o vetor I substituído pela imagem ALOS-PALSAR e realizada a transformação inversa para a geração do produto híbrido. Este procedimento foi adaptado de Souza Filho e Paradella (2005), que utilizaram imagem do sensor Radarsat-1, e constataram que o produto resultante é ideal para caracterização morfológica visual. Os procedimentos da etapa (2) estão ilustrados na Fig. 2.

A etapa (3) contemplou a processamento dos MDE-SRTM, os quais foram desenvolvidos no programa Global Mapper 9.0 com intuito de avaliar sua aplicabilidade na identificação de feições morfológicas relacionadas aos paleocanais na área do estudo. O procedimento baseou-se em trabalhos

prévios já desenvolvidos por Mantelli et al. (2009), Rossetti e Valeriano (2007). O processo é customizado pelo método exploratório de diferentes paletas de cores, que são associadas a diferentes conjuntos de valores de elevação a fim de ressaltar as feições de interesse do terreno. Por fim, procedeu-se com a interpretação visual no intuito de identificar e delinear as feições de interesse.

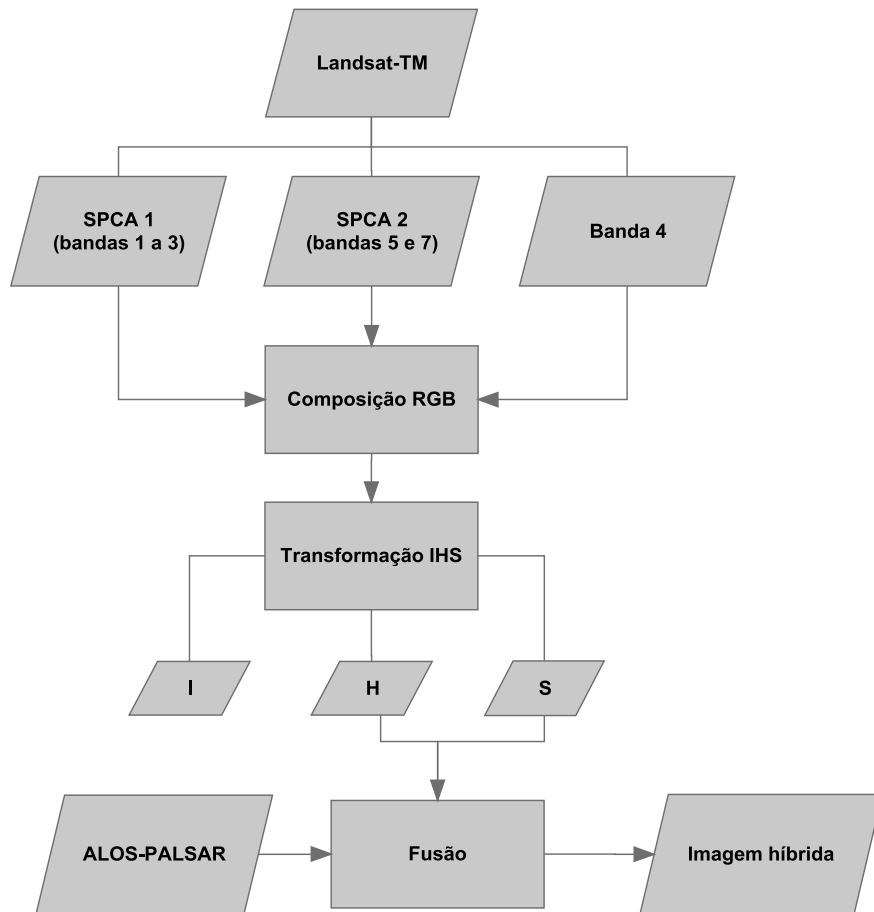


Fig. 2 - Procedimento de fusão entre dados ópticos e de radar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização dos diferentes dados de sensoriamento remoto gerou resultados positivos na caracterização morfológica dos sistemas fluviais na área do estudo. Os produtos derivados da fusão entre os sensores PALSAR e Landsat-5/TM apresentaram resultados que variaram de acordo com a polarização das imagens de radar. Para as imagens datadas de 06 de junho de 2008 e 05 de julho de 2008, a polarização HH foi mais eficiente para a identificação e delimitação de áreas com influência de água, a exemplo das planícies de inundação (Fig. 3A, C e E). Observa-se que o sinal captado pelo sensor nas áreas de planície de inundação foi mais intenso, fato evidenciado pelo nível de cinza em tom brilhante, o qual é decorrente provavelmente do efeito do retroespalhamento *double-bounce*, comum em áreas de planície de inundação, como já observado por Almeida Filho e Miranda (2007).

Os detalhes apresentados na Fig. 3C e E evidenciam o alto nível de cinza nas áreas de planície de inundação. Já a polarização HV não apresentou a mesma eficiência na distinção entre áreas de planície de inundação e os terraços adjacentes, devido ao espalhamento do tipo volumétrico, que limita a penetração do sinal emitido pelo radar nos dosséis arbóreos. As áreas denotadas pela cor preta correspondem aos canais fluviais caracterizadas pelo baixo sinal de retorno da banda L do sensor PALSAR, devido ao espalhamento especular. Nota-se que a polarização HV apresenta maior capacidade de destacar cursos fluviais, principalmente os de menor magnitude. A observação da Fig. 3C-F evidencia que os canais de menor dimensão são mais bem observados na polarização HV. A menor intensidade de retroespalhamento *double-bounce* desencadeado pela planície de inundação nesta polarização possivelmente destaca os cursos fluviais. Por sua vez, as áreas em azul escuro também refletem o baixo sinal de retorno captado pelo sensor, e correspondem as áreas de solo exposto, que na área são representados pelos paleocanais e manchas de áreas de savana e/ou solo exposto. Embora estas estejam bem destacadas nas duas polarizações, nota-se um sensível realce na polarização HV. Neste produto observa-se que o tom azul encontra-se mais intenso, o que destaca as feições de interesse, facilitando a identificação e delimitação das manchas de savana e/ou exposto.

Para o outro setor da área de estudo, as imagens PALSAR datam de 23 de junho de 2008. De modo geral, as polarizações apresentaram desempenho semelhante, principalmente na observação do contexto regional (Fig. 4A-D). Entretanto, nesta área de intensa cobertura vegetal a polarização HV apresentou melhor desempenho, fato denotado pela sugestiva feição de paleocanal, a qual é significativamente evidenciada na Fig. 4D. Mesmo com a presença da cobertura vegetal, a polarização HV apresenta sutis feições na imagem que sugerem a presença de espécies de cordões em meio à floresta, os quais indicam possíveis paleocanais que foram tomados pela vegetação e hoje se encontram ocultos sob a densa cobertura florestal. No segmento localizado na margem direita do rio Manicoré observam-se também pequenos segmentos em tons azuis, bem como a sutil diferença de retroespalhamento que indicam a presença de cordões alongados em meio à floresta e que são contínuos as áreas de tons azulados, já identificados como paleocanais.

Os resultados obtidos com o processamento dos MDE-SRTM aliados aos obtidos com as imagens PALSAR incrementaram o nível de detalhamento morfológico da área do estudo. O processamento dos MDE-SRTM ressaltou demais paleocanais que permaneciam ocultos ou mascarados nas cenas Landsat-5/TM e PALSAR. Estes cordões encontravam-se mascarados devido à densa cobertura vegetal, o que conduz a uma significativa homogeneização de resposta espectral no caso das imagens de sensores ópticos, bem como a homogeneização do sinal de retorno captado pelo sensor PALSAR. A Fig. 5 indica demais paleocanais observados a partir da customização e fatiamento dos MDE-SRTM em diferentes níveis altimétricos, e que não foram percebidos nos demais produtos de sensoriamento remoto. Ademais, embora o MDE-SRTM em áreas de densa cobertura vegetal sofra

o efeito dossel, percebe-se que, mesmo assim, a vegetação responde pela morfologia da área que está sob seu dossel, conforme observado pelo perfil topográfico da área (Fig. 5B).

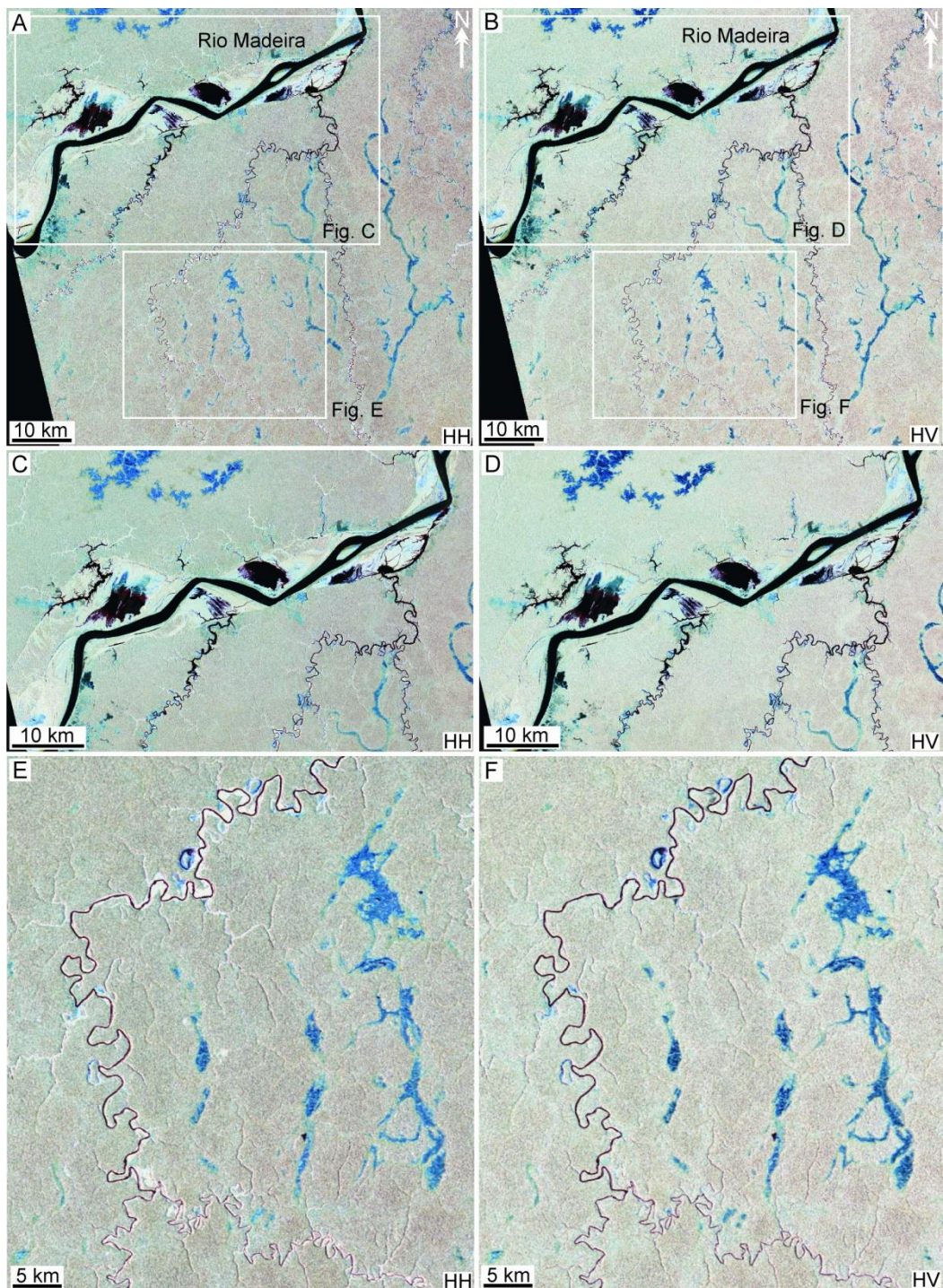


Fig. 3 - A-B) representação da área de estudo respectivamente nas polarizações HH e HV. C-F) Melhor distinção e delimitação das áreas de planície de inundação na polarização HH, fato observado pelos níveis de cinza mais brilhantes na imagem. Já para os paleocanais, o melhor sinal de retorno é exemplificado pela polarização HV, indicados pela intensidade da cor azul.

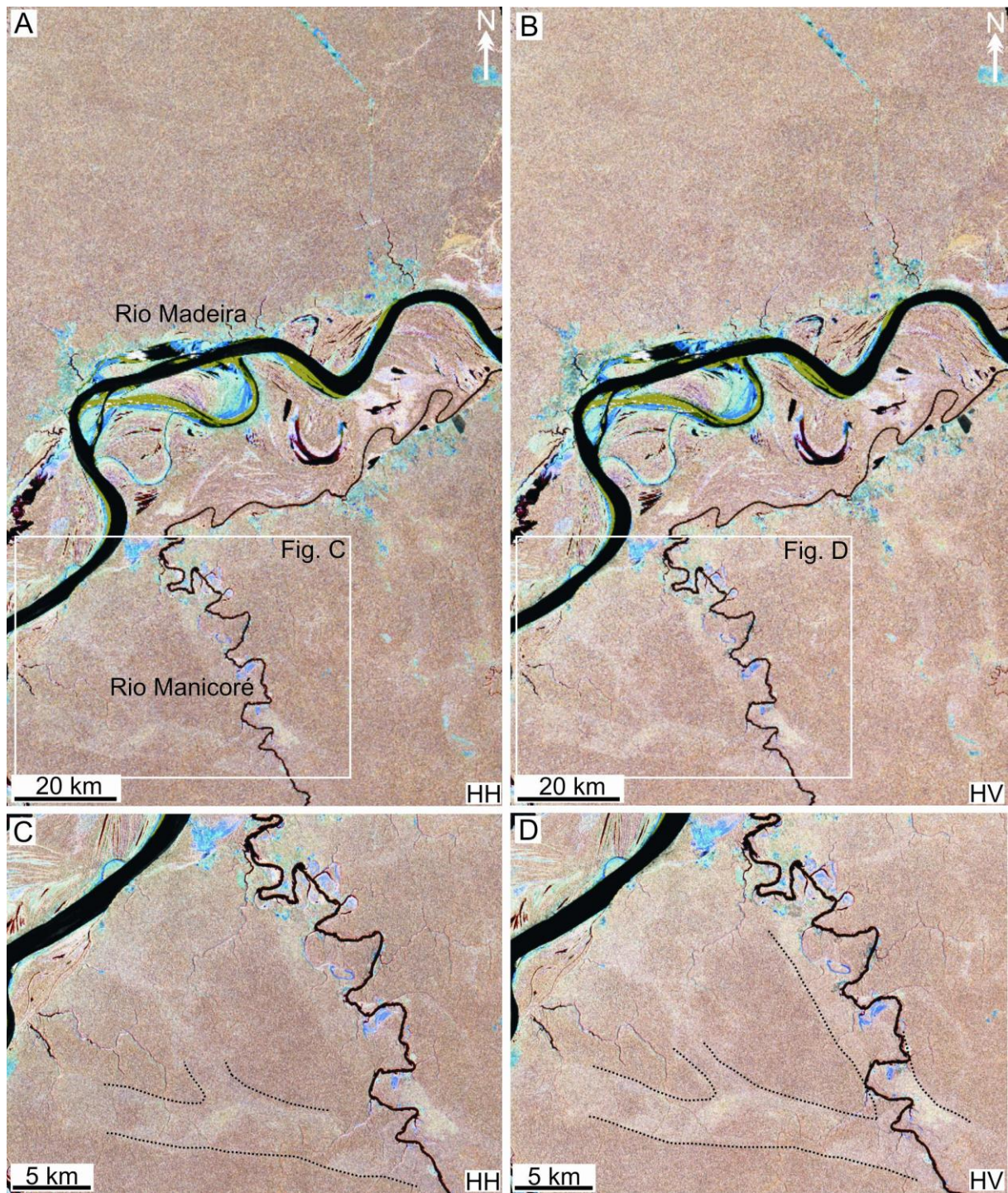


Fig. 4 - A-B) Em área de intensa cobertura vegetal, ambas as polarizações apresentaram resultados semelhantes, entretanto nota-se uma sensível melhora na percepção de feições na polarização HV. C-D) Nota-se que a polarização HV sugere a presença de paleocanais, indicados pelos pontilhados na margem esquerda do rio Manicoré. Em ambas as polarizações identificaram-se tais feições, entretanto na polarização HV são mais evidentes.

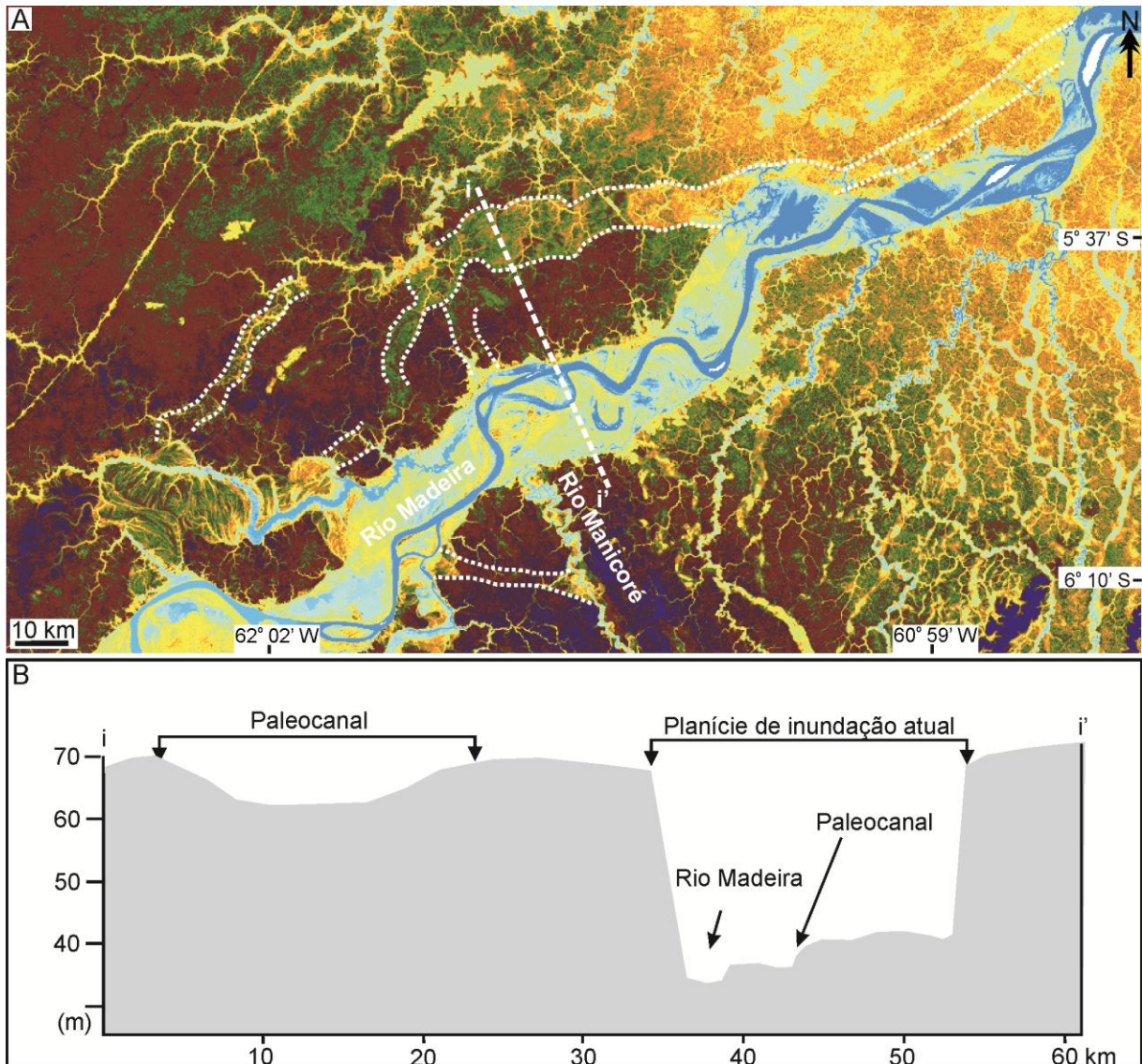


Fig. 5 – A) Morfologia da área do estudo a partir do MDE-SRTM e seus respectivos paleocanais indicadas pelas linhas tracejadas. B) Perfil topográfico i-i' denotando que mesmo sob a densa cobertura vegetal, ainda é possível identificar a morfologia da área.

Como observado, a utilização dos procedimentos de processamento digital de imagens, aliada à utilização de diferentes dados de sensoriamento remoto, conduziu a uma boa caracterização da área do estudo e à identificação de feições relacionadas a paleocanais, alguns dos quais encontravam-se ocultos sob a densa cobertura vegetal da área. A identificação de tais morfologias na área do estudo é crucial para a reconstrução paleogeográfica da Bacia Amazônica. A presença de paleocanais de dimensões que ultrapassam os 100 km de extensão, como os observados na área do estudo ainda não são muito bem compreendidas quanto a sua gênese, se por fatores neotectônicos (MAURO et al., 1978; SILVA, 2005; SOUZA FILHO et al., 1999; WILKINSON et al., 2010), ou por fatores climáticos (LATRUBESSE, 2002; TRICART, 1985).

CONCLUSÃO

A utilização de diferentes dados de sensoriamento remoto culminou em uma melhor caracterização da área do estudo, bem como na identificação de feições que se encontravam ocultas e/ou mascaradas sob a densa cobertura vegetal da área do estudo. As imagens de radar provenientes do sensor PALSAR em polarização HH foram eficientes na distinção e delimitação das áreas de planície de inundação. Já a identificação dos paleocanais obteve melhor resultado na polarização HV. Os resultados obtidos pelo processamento dos MDE-SRTM revelaram demais paleocanais que estavam ocultos e/ou mascarados dado à densa cobertura vegetal. A partir dos resultados obtidos, têm-se novas informações que devem ser empregadas na discussão que envolve os motivos da presença desses paleocanais de grandes dimensões e amplamente distribuídos na área do estudo.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de bolsa de doutorado a Ericson Hideki Hayakawa e de mestrado a Thiago Castilho Bertani e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de mestrado a Clódis Andrades Filho. A FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa de do Estado de São Paulo) pela concessão de bolsa de doutorado a Hiran Zani. Este trabalho faz parte do projeto de pesquisa CNPq # 471483/06-0. Os autores também agradecem ao INPE (Divisão de Sensoriamento Remoto) e seus respectivos pesquisadores pelas sugestões e disponibilidade de recursos materiais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, R.; MIRANDA, F. P. Mega capture of the Rio Negro and formation of the Anavilhanas Archipelago, Central Amazônia, Brazil: Evidences in an SRTM digital elevation model. *Remote Sensing of Environment*, v. 110, p. 387-392, 2007
- BEMERGUY, R. L. Morfotectônica e Evolução Paleogeográfica da Região da Calha do Rio Amazonas. Tese (Doutoramento). Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica: Belém, 1997.
- BEZERRA, P. E. L. Compartimentação morfotectônica do interflúvio Solimões-Negro. Tese (Doutoramento). Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica: Belém, 2003.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.
- COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P.; BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Genomos*, v. 2, p. 23-44, 1996.
- COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S. Tectonics and paleogeography along the Amazon River. *South American Earth Sciences*, v. 14, p. 335-347, 2001.

- COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L. Arcabouço tectônico Mesozóico-Cenozóico da região da calha do rio Amazonas. *Geociências*, v. 14, p. 77-103, 1995.
- CUNHA, F. M. B. Controle tectônico-estrutural na hidrografia da região do alto Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém. Anais... Belém: UFPA, p. 2267-2273, 1988.
- CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; COUTINHO, L. F. C., FEIJÓ, F. J. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 8, p. 47-55, 1994.
- FRANÇA, G. S. Brazil seismicity. *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, v. 40, p. 23-36, 2006.
- LATRUBESSE, E. M. Evidence of Quaternary palaeohydrological changes in middle Amazônia: The Aripuanã-Roosevelt and Jiparaná “fans”. *Z. Geomorph. N.F.*, v. 129, p. 61-72, 2002.
- LATRUBESSE, E. M., KALICKI, T. Late Quaternary paleohydrological changes in the upper Purus basin, southwestern Amazonia, Brazil. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 129, p. 41-59, 2002.
- LATRUBESSE, E. M.; RANCY, A. Neotectonic influence on tropical rivers of southwestern Amazon during the late Quaternary: the Moa and Ipixuna river basins, Brazil. *Quaternary International*, v. 72, p. 67-72, 2000.
- LOPES, A.; TOUZI, R.; NEZRY, E. Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity. *IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing*, v.28, n.6, p. 992-1000, 1990.
- MAIA, R. G.; GODOY, H. K.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. Projeto carvão no Alto Amazonas. Final report. CPRM, Rio de Janeiro, 1977.
- MANTELLI, L. R. Análise do modelo de elevação do terreno com base em dados SRTM na região de Breves, sudeste da Ilha do Marajó. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, 2008.
- MANTELLI, L. R.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. G.; VALERIANO, M. M. Applying SRTM digital elevation model to unravel Quaternary drainage in forested areas in northeastern Amazonia. *Computers and Geosciences*, v.35, n. 12, p. 2331-2337, 2009.
- MATHER, P.M. Computer processing of remotely-sensed images. New York: Wiley, 2004. 324p.
- MAURO, C. A.; NUNES, B. T. A.; FRANCO, M. S. M. Geomorfologia. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SB.20 Purus. Rio de Janeiro, 1978.
- ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P. M.; GÓES, A. M. New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. *Quaternary Research*, v. 63, p. 78-89, 2005.
- ROSSETTI, D. F.; VALERIANO, M. M. 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.; FURINI, C. H. Evaluating remote sensing products to delineate paleodrainages in forested areas of southwestern Marajó Island. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 3333-3339, 2009.
- ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; VALERIANO, M. M.; MIRANDA, A. C. C. Quaternary tectonics in a passive margin: Marajó Island, northern Brazil. *J. Quat. Sci.*, v. 23, p. 121-135, 2008.

SHIMADA, M.; ISOGUCHI, O.; TADONO, T.; ISONO, K. PALSAR Radiometric and Geometric Calibration. . IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing, v. 47, n. 12, p. 3915-3932, 2009.

SILVA, C. L. Análise da tectônica Cenozóica da região de Manaus e adjacências. Tese (Doutoramento). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas: Rio Claro, 2005.

SOARES, E. A. A. Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, porção oeste da Bacia do Amazonas. Tese (Doutoramento). Universidade de São Paulo -USP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Curso de Pós Graduação: São Paulo, 2007.

SOUZA FILHO, M. S.; PARADELLA, W. R. Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. Canadian Journal of Remote Sensing, v. 31, n. 3, p. 214-224, 2005.

SOUZA-FILHO, P. W. M.; QUADROS, M. L. E. S.; SCANDOLARA, J. E.; FILHO, E. P. S.; REIS, M. R. Compartimentação morfoestrutural e neotectônica do sistema fluvial Guaporé-Mamoré-Alto Madeira, Rondônia, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 29, p. 469-476, 1999.

STERNBERG, H. O. Vales tectônicos na planície amazônica? Revista Brasileira de Geografia, v. 4, p. 511-531, 1950.

TASSINARI, C. C. G.; BITTENCOURT, J. S.; GERALDES, M. C.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. The Amazon Craton. In: CORDANI, U. G.; THOMAZ-FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Eds.). Tectonic Evolution of South America. Academia Brasileira de Ciências, Special Publication of the 31th International Geological Congress, p. 41-95, 2000.

TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K. A review of the geochronology of the Amazonianian Craton: tectonic implications. Precambrian Research, v. 42, p. 213-27, 1989.

TRICART, J. L. F. Tipos de planícies aluviais e leitos fluviais na Amazônia Brasileira. Revista Brasileira de Geografia, v. 2, p. 3-38, 1977.

TRICART, J. L. F. Evidence of Upper Pleistocene dry climate in northern South America. In: DOUGLAS, L., SPENCER, T. (eds.). Environmental Change and Tropical Geomorphology. Allen & Unwin, London, p. 197-217, 1985.

WILKINSON, M. J., MARSHALL, L. G., LUNDBERG, J. G., KRCSLAVSKY, M. H. Megafan environments in northern South America and their impact on Amazon Neogene aquatic ecosystems. In: HOORN, C., WESSELINGH, E. P. (eds.). Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past. 1st ed. BlackwellPublishing, p. 162-184, 2010.