

Sensores remotos aplicados na caracterização morfológica de um megaleque no interflúvio dos rios Negro e Branco, norte da Amazônia

Édipo Henrique Cremon¹
Dilce de Fátima Rossetti¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{cremon, rossetti}@dsr.inpe.br

Abstract. The Amazonian region is currently characterized by tributary drainage systems. However, a large distributary system has been preliminarily detected in the between the Negro and Branco Rivers, which suggests the existence of a megafan depositional system, herein named Demini Megafan. Application remote sensing is essential for characterization this type of landform. This work aims to explore remote sensing products in order to characterize the morphology of the Demini Megafan. The work was based on Landsat-TM images and Digital Elevation Model derived from the Shuttle Radar Topography Mission (DEM-SRTM), which was combined with geological and floristic information derived from available cartographic maps. DEM-SRTM was applied to provide hypsometric analysis and highlight the topography applying a color palette, procedures that helped to define the megafan morphology. This morphology was additionally characterized using band 5 of Landsat-TM images acquired from both dry and wet seasons considering a set of dates. Principal component analysis (PCA) applied to this products provided the flood variability. The results of this analysis revealed a N-S trending triangular-morphology, with slope averaging $0,072^\circ$. This area displays distributary drainage systems either abandoned or in process of abandonment, which are in agreement with the presence of a megafan system between the Negro and Branco rivers.

Palavras-chave: Megafan, Amazonia, geomorphology, remote sensing, megaleques, Amazônia, geomorfologia, sensoriamento remoto.

1. Introdução

Megaleque, também conhecido como sistema fluvial distributário (cf. Nichols & Fisher 2007), corresponde a um sistema deposicional de ampla distribuição areal, i.e., da ordem de 10^3 a 10^5 km² (DeCelles & Cavazza, 1999), com forma cônica, formado pelo arranjo de canais rasos em padrão distributário. Este tipo de sistema tem sido registrado em regiões de baixa declividade ($0,1^\circ$ a $0,01^\circ$) e, na maioria das vezes, sujeitas a efeito tectônico (Leier et al. 2005).

Embora a região amazônica seja caracterizada por drenagem atual tributária típica, estudo prévio realizado no interflúvio dos rios Aripuanã-Madeira, sudeste do Estado de Amazonas, sugeriu a presença de um megaleque desenvolvido no Quaternário Tardio (Latrubesse 2002). Geometria típica de megaleque foi, também, registrada na margem esquerda do rio Branco, centro-sul do Estado de Roraima, referenciada de megaleque Viruá (Zani et al., neste volume). A presença de megaleque foi recentemente sugerida no interflúvio dos rios Negro e Branco (i.e., Wilkinson et al., 2010), cujas dimensões superam em aproximadamente três vezes o megaleque Viruá. Porém, estes autores não apresentaram quaisquer detalhamentos, seja de seus depósitos sedimentares, seja dos aspectos morfológicos que possam sustentar sua atribuição a este tipo de sistema deposicional.

Como na maioria dos megaleques descritos na literatura internacional (p.e., Braun, 1977; Gumbricht et. al., 2005; Sinha, 2009; Bernal et al. 2010), a comprovação da existência do megaleque proposto para o interflúvio Negro-Branco é altamente dependente da aplicação de dados orbitais. O presente estudo tem por objetivo explorar produtos de sensoriamento remoto, a fim de caracterizar a morfologia desse megaleque, aqui designado de megaleque Demini, dada sua associação com rio homônimo. Este tipo de recurso possibilita visão sinóptica da superfície da Terra em diferentes faixas do espectro eletromagnético, auxiliando no reconhecimento de paleomorfologias representativas de ambientes físicos que se tornaram

abandonados anteriormente ao desenvolvimento da paisagem atual. O registro de modificações de estilos deposicionais ao longo do tempo pode ser de grande contribuição para se reconstituir variações ambientais em um passado remoto da Amazônia.

2. Materiais e métodos

A área do estudo, ainda livre de intervenções antrópicas, está localizada na divisa entre os estados do Amazonas e Roraima (figura 1). Esta se constitui em uma das principais áreas alagadas da Amazônia, comparada em um trabalho prévio ao Pantanal Mato-grossense (Santos et al., 1993). O clima é tropical equatorial úmido (IBGE, 1978), com precipitação média anual variando de 2000 a 2400 mm, havendo estação seca entre os meses de janeiro e março, e estação chuvosa nos demais meses do ano. A cobertura vegetal é marcada por Floresta Ombrófila e por Campinarana, sendo esta última diretamente associada a áreas alagadas.

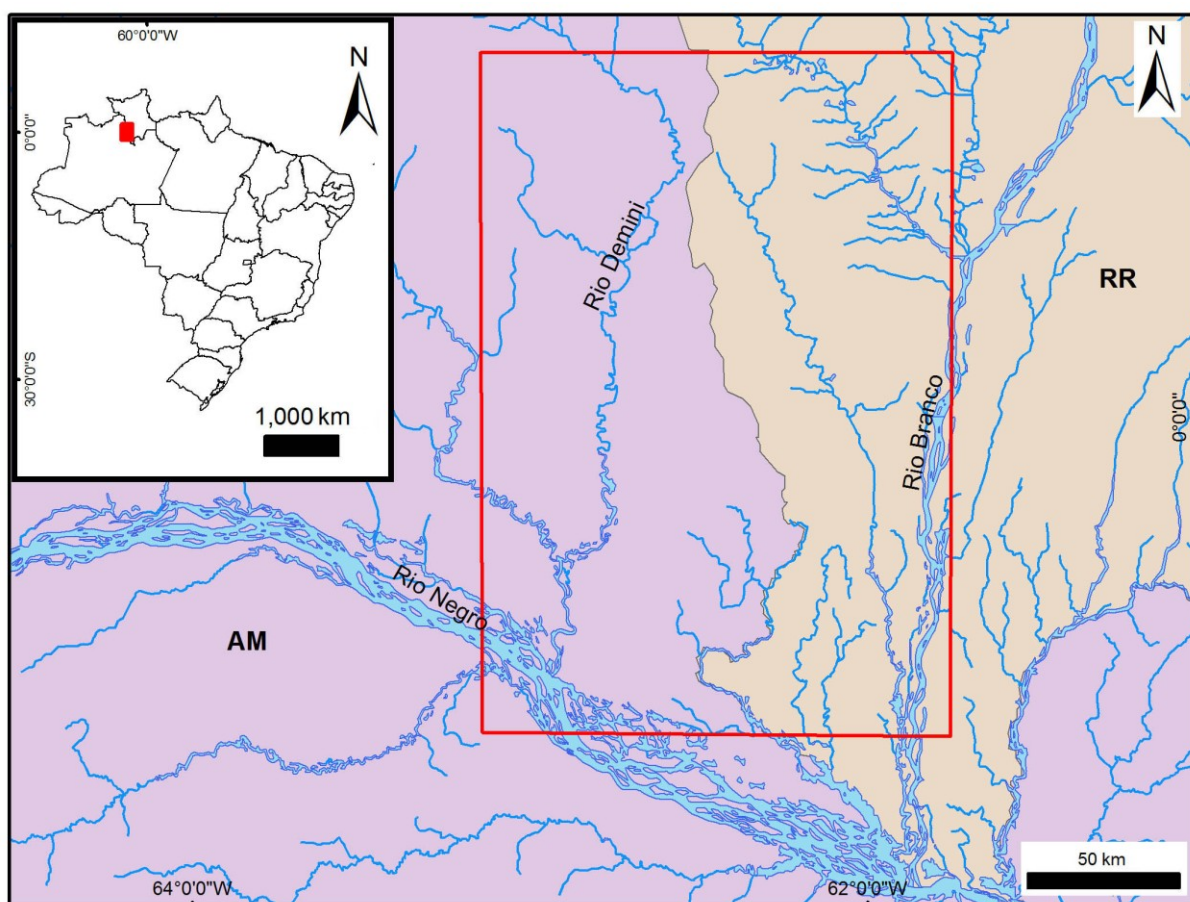


Figura 1. Localização da área do estudo no interflúvio dos rios Negro e Branco.

Para caracterizar a morfologia do suposto megaleque, imagens Landsat TM-5 foram integradas com o modelo digital de elevação derivado do *Shuttle Radar Topography Mission* (MDE-SRTM), bem como com dados cartográficos relativos à litologia (CPRM, 2010), vegetação (PROBIO, 2010) e áreas alagáveis (Barbosa et al. 2000).

O MDE-SRTM foi utilizado numa análise hipsométrica com o fatiamento e atribuição de cores às cotas altimétricas, bem como na elaboração de perfis topográficos com o intuito de ressaltar o decaimento superficial.

Pelo fato da área ser alagável, foi utilizada uma série temporal de imagens ópticas que contrastassem os períodos de seca e de inundação. Este estudo se baseou no banco de imagens

do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. Das imagens disponíveis, apenas seis foram selecionadas por terem pouco volume de nuvens (Tabela 1).

Tabela 1. Imagens Landsat 5-TM utilizadas neste estudo.

| Data | Período |
|------------|---------|
| 04/03/1987 | Seco |
| 07/09/1991 | Alagado |
| 06/08/1997 | Alagado |
| 18/03/2004 | Seco |
| 29/03/2008 | Seco |
| 26/10/2009 | Alagado |

Como pré-processamento, as imagens passaram por georreferenciamento com base no mosaico Landsat GeoCover, com erro médio quadrático inferior a 0,5, utilizando-se o aplicativo TerraPixel. Composições coloridas entre as bandas do sensor e aplicação de contraste auxiliaram a interpretação visual.

Procedeu-se com a subtração de imagens de seca e de inundação derivadas da banda 5, a fim de realçar feições que controlam a dinâmica de inundação, uma vez que esta banda mostra grande contraste de corpos d'água, áreas alagadas e solo exposto (Frazier e Page, 2000). Neste produto, áreas alagadas têm maior amplitude nos valores de NC (níveis de cinza), enquanto áreas estáveis, sem influência de inundação, apresentam menores valores destes níveis. Das imagens selecionadas, as de 04/03/1987 e de 07/09/1991 são as que representam a maior seca e inundação, respectivamente.

A variabilidade temporo-espacial das áreas alagáveis deu-se por meio da análise de componentes principais (ACP) utilizando-se as bandas 5 de cada data (p.e., Jiaju, 1988). A informação contida na CP-1 possui informação comum em todos os dados de entrada, enquanto a CP-2 apresenta as feições mais significativas do conjunto analisado e, assim, sucessivamente. Numa série multitemporal, isso significa que a CP-1 contém a informação de não mudança, enquanto a CP-2 terá a informação de maior variação no tempo. Como a ACP foi utilizada em dados da mesma banda e do mesmo sensor, não foi necessário realizar a conversão radiométrica dos dados. Por ser uma banda do infra-vermelho médio, que possui baixa influência de espalhamento atmosférico, não foi necessário, também, a aplicação de correção atmosférica.

3. Resultados e discussão

A comparação das várias bases de dados utilizadas neste estudo permitiu a caracterização de geometria triangular na área do estudo (figura 2), como tipicamente registrado em sistemas de megaleques. Esta é definida por contrastes de vegetação, que tem correspondência com fatores litológicos (figura 2a-b). Assim, polígonos correspondentes a depósitos fluviais e terraços pleistocênicos (Qa) no mapa da CPRM correspondem a áreas alagáveis associadas a formações vegetais do tipo Campinarana Arbustiva. Por outro lado, a maior parte dos substratos referentes à Formação Içá (N3i), relacionada no mapa ao Plio-Pleistoceno, são cobertos por vegetação do tipo Floresta Ombrófila Densa e Campinarana Florestada.

Em relação à topografia, a análise hipsométrica baseada no MDE-SRTM mostra decréscimo progressivo de valores de norte para sul (figura 2-c), ou seja, longitudinal à geometria triangular sugerida com base nos dados de litologia e vegetação. Vale ressaltar que o MDE-SRTM é sensível à cobertura vegetal, registrando elevações maiores em áreas vegetadas (Valeriano et al., 2006). Para o transecto apresentado, entretanto, é interessante notar que houve predomínio de vegetação do tipo Campinarana Arbustiva, de forma que as variações detectadas no MDE-SRTM podem ser interpretadas como próximas das variações

do terreno. Assim, perfil topográfico longitudinal à feição triangular em questão (figura 3) revelou declividade aproximada de 0,095 m/km, equivalente a 0,072°. Este valor é similar aos valores de declividade característicos de megaleques (DeCelles e Cavazza, 1999).

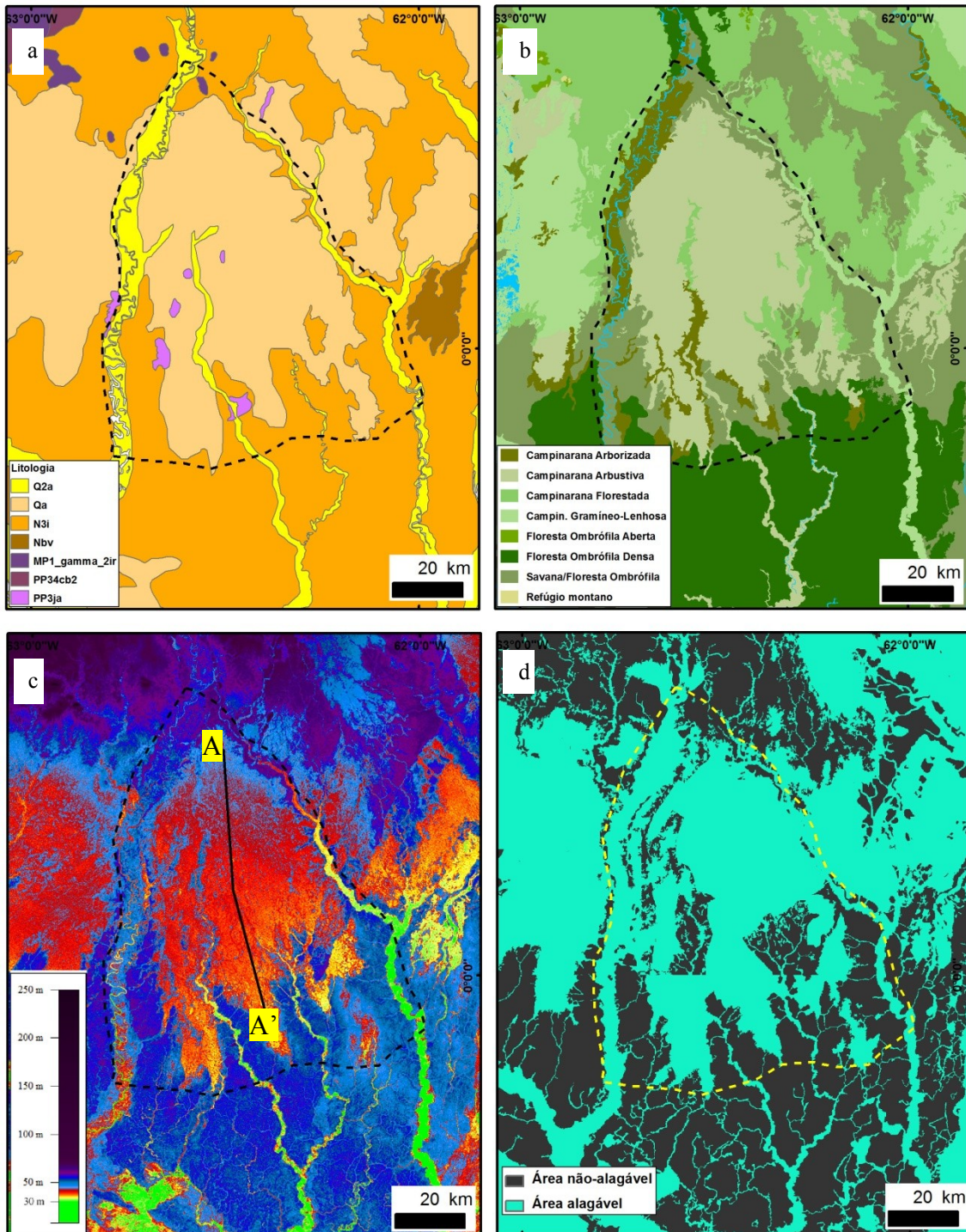


Figura 2. Mapas da área de estudo, com indicação da: a) Geologia; b) Vegetação; c) Hipsometria; e d) Áreas alagáveis. (Transecto A-A'=perfil topográfico apresentado na figura 3; linhas tracejadas=área correspondente ao megaleque estudado).

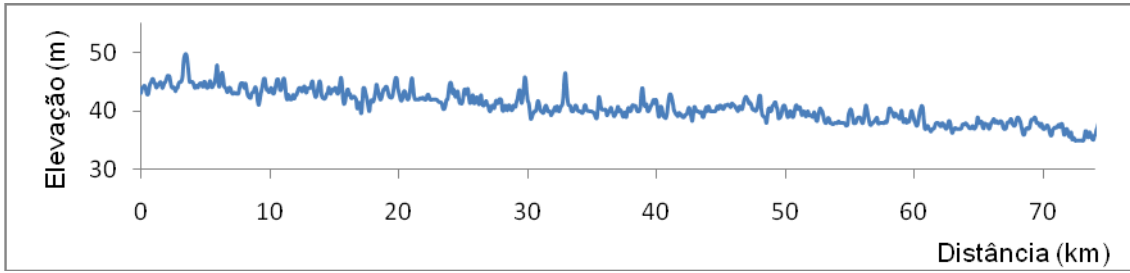


Figura 3. Perfil topográfico A-A' (Ver localização na figura 2c).

A análise sazonal (período de inundação e seca) das imagens mostra que, para a banda 5, alvos relativamente estáveis, como vegetação de porte arbóreo, possuem NC com pouca variabilidade, enquanto alvos variáveis ao longo do tempo, como áreas alagáveis, possuem baixo valor de NC em períodos de inundação, devido à absorção da água na faixa espectral da banda 5. Por outro lado, maior reflectância ocorre em períodos de seca, decorrente da presença de solo exposto. A figura 4 exemplifica a variação desses alvos ao longo do tempo.

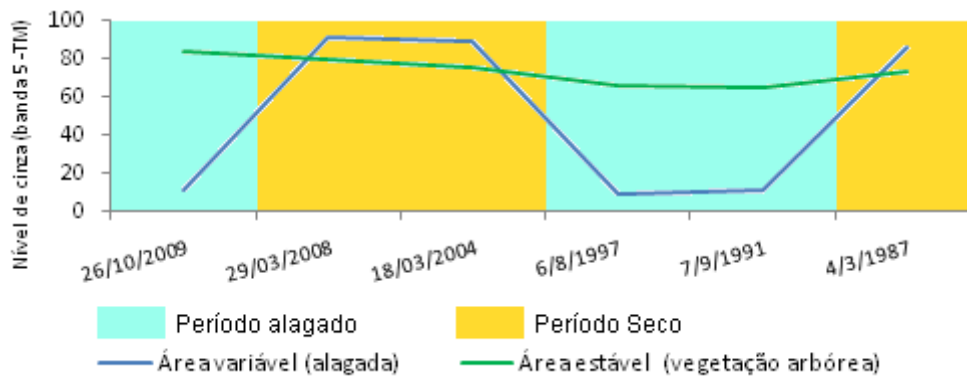


Figura 4. Variação dos NC de diferentes alvos para a banda 5.

Feições contrastantes com a dinâmica de inundação foram ressaltadas pela razão simples entre as imagens de maiores seca e cheia (figura 5.a). A ACP revelou a variabilidade das áreas inundadas, destacando áreas com maior e menor alteração ao longo do tempo (figura 5.b). Os valores mais negativos (i.e., inferiores a -105) correspondem a barras de meandros principais, que são espacial e temporalmente dinâmicas. Estes valores podem corresponder à água ou ao substrato em datas diferentes. Por interpretação visual, verificou-se que valores da CP-2, no intervalo entre 0 e -104 correspondem a variações devido à dinâmica sazonal de inundação. O contraste do período seco para o alagado e a variabilidade na dinâmica de inundação revelaram que as áreas central e oriental da feição triangular analisada apresentam maior variabilidade de inundação, enquanto sua porção ocidental apresenta menor variabilidade (figura 5.b).

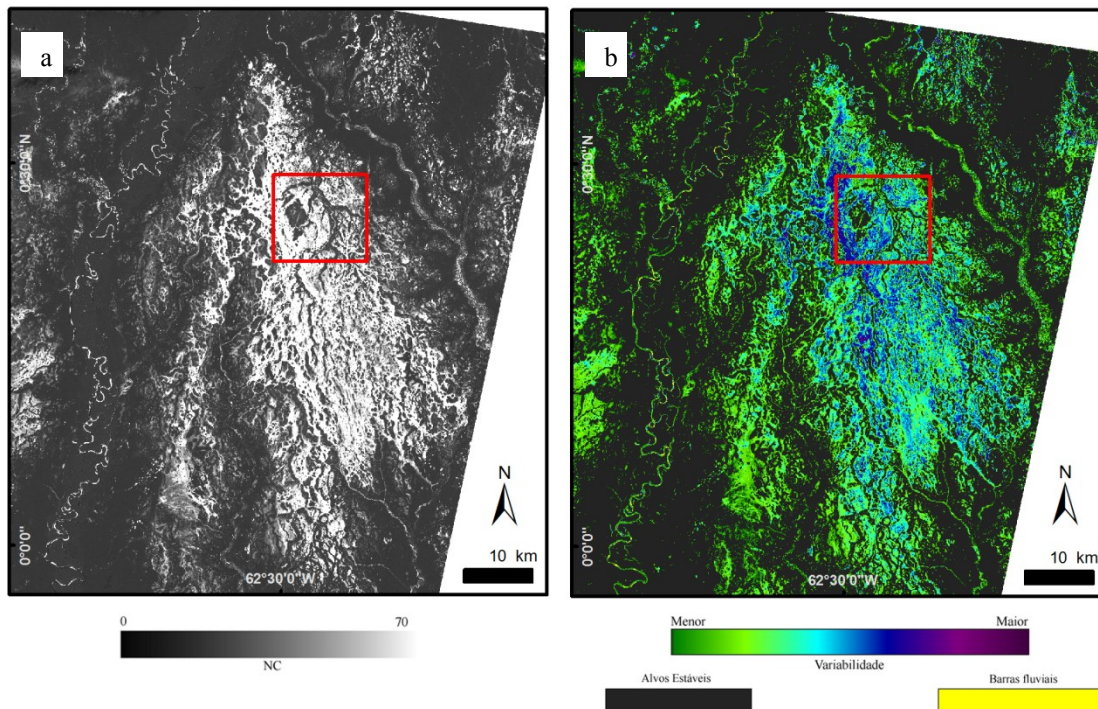


Figura 5. a) Razão da banda 5-TM entre os períodos seco e úmido; b) variabilidade das áreas alagadas dado pela CP-2. Detalhe em vermelho localiza a figura 6.

Morfologias relacionadas ao abandono de canais foram observadas em todos os setores da feição analisada, porém estas se tornam mais frequentes em sua porção ocidental. Esses paleocanais formam uma complexa rede de drenagem distributária, que é interceptada pelos canais tributários atuais ou que contém canais ativos muito mais estreitos que seus paleovales (figura 6). A presença desses sistemas de canais distributários distribuídos radialmente sobre morfologia triangular revela é típica de megaleques (Hartley et al. 2010). Sua ocorrência na área de estudo evidencia que um sistema deposicional de grande mobilidade lateral, dominado por avulsões, teria vigorado entre os rios Negro e Branco antes do estabelecimento da drenagem fluvial atual.

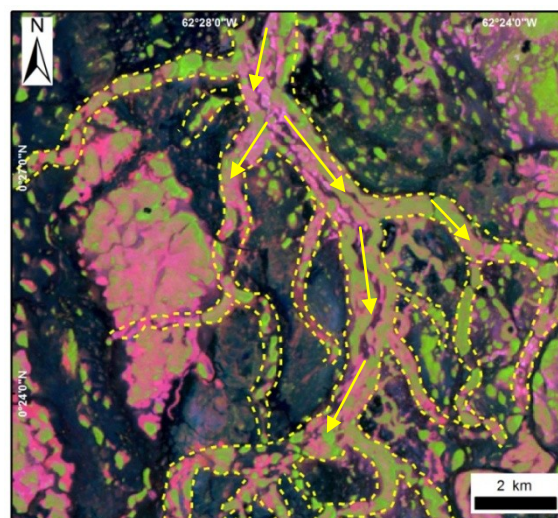


Figura 6. Imagem Landsat 5-TM (R5G4B3) de 26/10/2009. A linha amarela tracejada indica malha de drenagem distributária (ver localização na figura 5).

4. Conclusões

Os dados aqui apresentados, embora em caráter preliminar, sustentam que a área de estudo corresponde a um sistema deposicional do tipo megaleque. Esta conclusão deriva da geometria triangular, indicada pela distribuição litológica, vegetacional e topográfica. A gradação para cotas topográficas mais baixas em direção porção distal da feição analisada é acompanhada por uma abundância de canais distributários, característica típica de megaleques. A ocorrência de inúmeros paleocanais revela que o megaleque está em processo de abandono, principalmente em sua porção ocidental. A declividade suave do terreno imposta por este sistema deposicional controla o desenvolvimento de tributários do rio Negro.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (Proc. # 10/09484-2) pelo apoio financeiro, à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor, e ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa à segunda autora.

6. Referências

Barbosa, C. C. F.; Hess, L; Melack, J; novo, E.M.L.M . 2000 Mapping Amazon Basin Wetlands Through Region Growing Segmentation and Segmented-Based Classification JERS-1 Data. In: **IX Latin-American Symposium on Remote Sensing**, 2000, Misiones, Argentina. Proceedings of the IX Latin-American Symposium on Remote Sensing held at Universidad Nacional de Lujan, Misiones, Argentina, 19-21 November, 2000, p. 131-139.

Bernal, B.; Christophoul, F.; Darrozes, J.; Soula, J. C.; Baby, P.; Burgos, J. Late Glacial and Holocene avulsions of the Rio Pastaza Megafan (Ecuador-Peru): frequency and controlling factors. **International Journal of Earth Sciences**, 2010.

Braun, E. H. G. Cone alluvial do Taquari, unidade geomorfológica marcante na planície quaternária do Patanal. **Revista Brasileira de Geografia**, ano 39, n. 4, p. 164-180, 1977.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil), 2010. **GEOBANK**, Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em: 14 de maio de 2010.

Crósta, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: Ed. IG/UNICAMP, 1993. 170 p.

DeCelles, P. G.; Cavazza, W. A comparison of fluvial megafans in the Cordilleran (Upper Cretaceous) and modern Himalayan foreland basin systems. **Geological Society of America Bulletin**, v. 111; no. 9; p. 1315-1334, 1999.

Frazier, P. S.; Page, K. J. Water Body Detection and Delineation with Landsat TM Data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, vol. 66, n. 12, p. 1461-1467, 2000.

Gumbrecht, T.; Mccarthy, T. S.; Bauer, P. The micro-topography of the wetlands of the Okavango Delta, Botswana. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 30, p. 27-39, 2005.

Hartley, A.J.; Weissmann, G. S.; Nichols, G. J.; Warwick, G. L. Large distributive fluvial systems: characteristics, distribution, and controls on development. **Journal of Sedimentary Research**, v. 80, p.167-183, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **Mapa de Clima do Brasil – Escala 1:5.000.000**, Ed. IBGE, 1978.

Jiaju, L. Development of principal component analysis applied to multitemporal Landsat TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v.9, n.12, p.1895-1907, 1988.

Latrubesse, E. M. Evidence of quaternary palaeohydrological changes in middle Amazonia: The Aripuanã-Roosevelt and Jiparaná fans. **Zeitschrift für Geomorphologie**, vol. 1, n.129, p.41-59, 2002.

Leier, A. L.; DeCelles, P. G.; Pelletier, J. D. Mountains, monsoons and megafans. **Geology**, v. 33, n. 4; p. 289–292; 2005.

PROBIO (Ministério do Meio Ambiente), 2010. **Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>. Acesso em: 26 de outubro de 2010.

Sinha, R. The Great avulsion of Kosi on 18 August 2008. **Current Science**, vol. 97, n. 3, p.429–433, 2009.

Valeriano, M. M.; Kuplich, T. M.; Storino, M.; Amaral, B. D.; Mendes Jr., J. N.; Lima, D. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. **Computers & Geoscience**, v. 32, p. 1169-1181, 2006.

Wilkinson, M. J.; Marshall, L. G.; Lundberg, J. G.; Kreslavsky, M. H. Megafan environments in northern South America and their impact on Amazon Neogene aquatic ecosystems In: Hoorn, C.; Wesselingh, F.P. (Org.) **Amazonia: landscape and species evolution**. Malásia: Blackwell Publishing, 2010. cap. 6, p.162-184.

Zani, H.; Rossetti, D. F.; Andrades Filho, C. O. Análise temporal de imagens Landsat aplicada à extração de canais do megaleque Viruá, Estado de Roraima. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, Brasil, 30 de abril a 5 de maio, 2011 (nesse volume).