

# Análise multitemporal da geomorfologia fluvial do rio Solimões entre dois períodos hidrológicos (cheia de 1999 e a vazante 2005)

Rogério Ribeiro Marinho<sup>1</sup>  
Edileuza Melo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Geografia/UFAM  
Projeto PIATAM  
Av. Gal. Rodrigo Otávio, 3000 – Coroado, Manaus/AM  
rogeriorm22@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Projeto PIATAM  
Centro de Excelência Ambiental da Petrobras – CEAP Amazônia  
Rua Rio Mar, 185-Conj. Vialves, Manaus/AM.  
edileuza.melo@piatam.org.br

**Abstract.** The study aimed to analyze the spatial variation of water level between the flood pulse of the Solimoes river between the years 1999 and 2005. The study area is located between the city of Manacapuru and the mouth of the Rio Negro in Manaus. We used images from the sensor TM / Landsat 5, the process of selection of images was done through the analysis of maximum and minimum levels in historical series for monitoring the height of the river in the city of Manacapuru. This analysis revealed a range of 15% of flooded areas between the two periods and in the drought of 2005 occurred eleven changes in fluvial geomorphology in the study area. The study allowed to obtain important information on the dynamics of this seasonal river with multitemporal analysis of hydrological different periods.

**Palavras-chave:** dynamic fluvial, flood pulse, Amazon river, hydrology, remote sensing, dinâmica fluvial, pulso de inundação, rio Amazonas, hidrologia, sensoriamento remoto.

## 1. Introdução

Através do uso de imagens oriundas de sensoriamento remoto podemos obter uma visão de conjunto de grandes áreas na superfície terrestre, assim como observar sua dinâmica. Dentre os diversos elementos identificados (água, vegetação, solo, áreas urbanas) os sistemas fluviais possuem destaque em imagens de diferentes resoluções espaciais (Florenzano, 2002).

Com uma área de  $6,1 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, a bacia Amazônica é o maior e mais complexo sistema hidrográfico do mundo, sendo assim uma área com grande dinâmica na alteração da paisagem e com isso, de grande potencial para estudos com imagens de satélites. Este sistema de floresta e água é responsável pela transferência e circulação de diversos fatores ambientais que contribuem para a regulação do clima em varias partes do planeta.

O principal rio desta bacia é o Amazonas, que possui 6.992,06 km de extensão e descarga média anual de 209000 m<sup>3</sup>/s. Devido a estas dimensões, a região apresenta certa complexidade no seu regime hidrológico que influencia na distribuição das chuvas ao longo do ano.

Sobre o regime fluvial ou a variabilidade das alturas de águas (cotas), Filizola et al. (2002) mostrou que essa amplitude varia de 2 a 18m ao curso do ciclo hidrológico na bacia. Os memores valores (2 a 4m) estão nas cabeceiras dos rios que drenam os escudos que margeiam a bacia, já as maiores amplitudes (15 a 18m) foram registradas nos rios Juruá, Purus e Madeira. Para a calha principal da bacia (rio Solimões-Amazonas) esta amplitude variou de 8 a 15m nos dados coletados no período de 1970 a 1996.

O pulso de inundação dos rios na Amazônia pode ser observado entre os meses de junho a agosto (cheia) e a vazante (seca), nos meses de setembro a novembro. As áreas onde ocorrem estes processos de inundação são conhecidas como várzeas, que ao longo do rio

Solimões e Amazonas são áreas tomadas por águas, com grande quantidade de sedimentos em suspensão, erodidos desde sua nascente nos Andes.

Diversos são os estudos que abordam esta dinâmica sazonal deste ecossistema aquático da região (Junk, 1983; Novo et al. 1998, Oliveira, 1996; Latrubesse & Franzinelle, 2002; Rozo, 2005; N-Barbosa et al. 2007). Estes autores detectam mudanças em ilhas, meandros de rios, biomassa de espaços vegetados e diversos outros aspectos da paisagem. Mas recentemente, a preocupação com o ecossistema amazônico e os eventos climáticos extremos ocorridos na região tem chamado a atenção de diversos setores da sociedade.

Como exemplo, citamos a grande estiagem de 2005 que nos meses de outubro e novembro chegaram a níveis críticos em diversos pontos do rio Solimões-Amazonas. Segundo Fearnside (2006) esta seca foi provocada por um processo climático cíclico, mas de intensidade alterada devido ao aquecimento global ou aumento dos gases do efeito estufa.

É neste ambiente de grande dinâmica em sua geomorfologia fluvial que este estudo desenvolveu-se, considerando a rápida velocidade das alterações observadas nos processos de erosão e deposição que ocorrem entre os regimes hidrológicos na região. Assim, o objetivo deste estudo é analisar a variação espacial da massa d'água entre dois períodos hidrológicos no rio Solimões e as alterações na morfologia do rio resultantes da vazante de 2005. Esta análise baseia-se na suposição de que, grandes oscilações do regime hidrológico podem ocasionar modificações na geomorfologia fluvial e que estas alterações podem ser observadas através de imagens de satélite.

## **2. Metodologia de Trabalho**

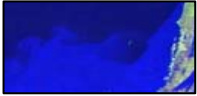
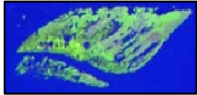
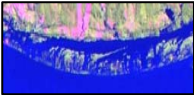
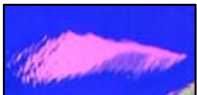
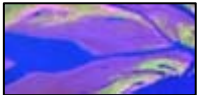
Foram utilizadas imagens do Satélite Landsat 5, sensor TM (bandas 3, 4 e 5) da cena 231/62 fornecidas pelo INPE. Selecionaram-se as imagens através da análise da série histórica da estação fluviométrica PCD-SIVAM Manacapuru, obtendo as datas de maiores cheias e maiores vazantes registradas, sendo estes dados fornecidos pelo sistema de informações hidrológicas - (Hidroweb, 2008) e processados no programa Hidro 1.0.8.

Utilizou-se o software SPRING 5.0 para realizar o processamento das imagens (realce, composição entre bandas e classificação). Para a análise das imagens foi realizada a interpretação visual e posteriormente a vetorização das principais feições geomorfológicas no canal principal do rio (ilhas, margens, barras e bancos de sedimentos) usando o sistema de informações geográficas Arcgis 9.2

Na tabela 1 temos as chaves de interpretação de objetos e feições identificadas em composição colorida falsa-cor (R5G4B3) que orientou a análise visual neste trabalho.

A área de estudo delimitada para esta pesquisa corresponde ao trecho do rio Solimões entre a cidade de Manacapuru e a foz do rio Negro, próximo à cidade de Manaus, conforme a figura 1. Esta área apresenta uma topografia com pequenas variações – cotas entre 50 e 100m – e com relevo constituído por planícies fluviais e fluviolacustres. A geologia da área de planície é composta por aluviões fluviais holocênicos e para as áreas dissecadas encontram-se os sedimentos terciário-quadernário das formações Solimões e Alter do Chão. (Radam Brasil, 1978).

Tabela 1. Objetos e descrição das chaves de interpretação utilizadas.

Objeto	Exemplo	Chave de interpretação
Massa d'água		Cor azul (transporte de material em suspensão) e escura (água limpa); textura lisa; forma linear, curvilínea e retilínea.
Ilha		Cor verde (vegetação arbórea) e magenta (vegetação herbácea); textura lisa e forma irregular.
Barra de deposição		Cor verde (vegetação arbórea) e magenta (vegetação herbácea); textura lisa e forma irregular alongada.
Banco de depósito no canal e na planície de inundação.		Cor magenta; sem presença de vegetação; textura lisa e forma irregular.
Solo úmido		Cor roxa; textura lisa; forma irregular, próximo aos bancos de depósitos.

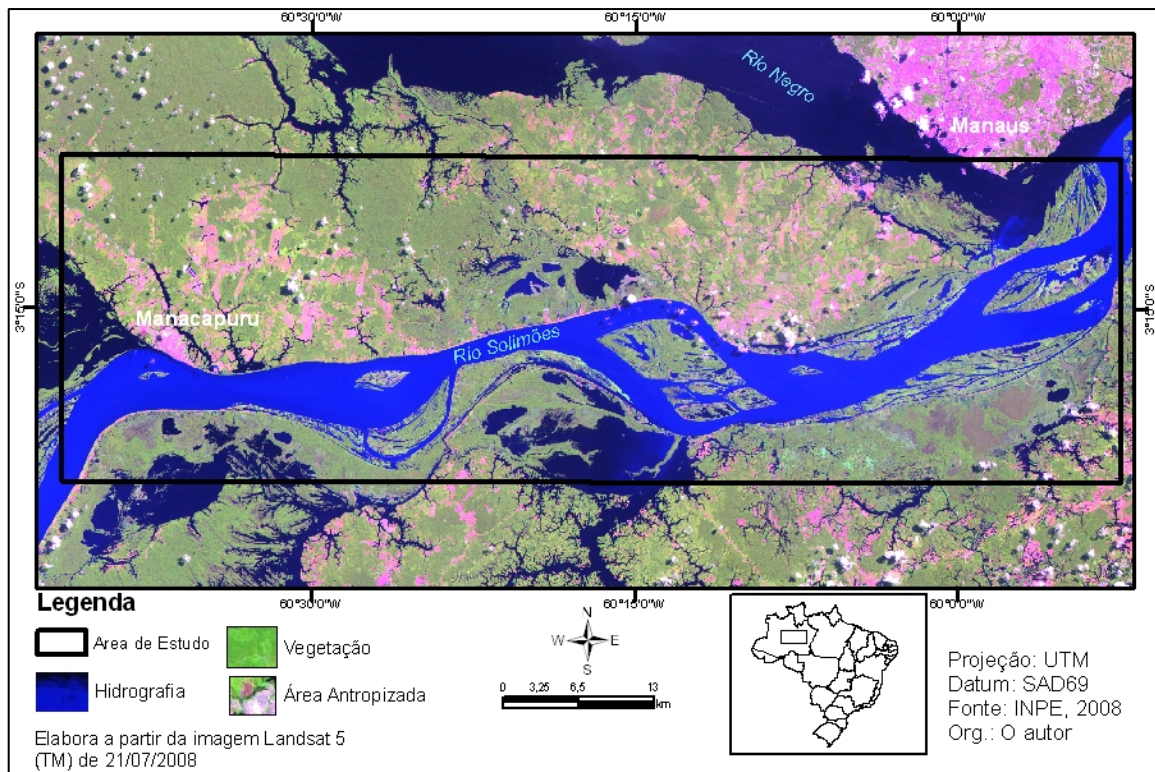


Figura 1. Localização do segmento do rio Solimões em estudo.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Análise das cotas e seleção das imagens

Os dados de cotas fluviométrica mostram que durante o período junho de 1972 a agosto de 2008, a média anual é de 1444 cm de altura relativa ao nível do mar. O comportamento do rio nesta seção do Solimões mostra sua cheia iniciando em abril com o pico em junho e a vazante entre os meses de setembro e novembro conforme observado na figura 2.

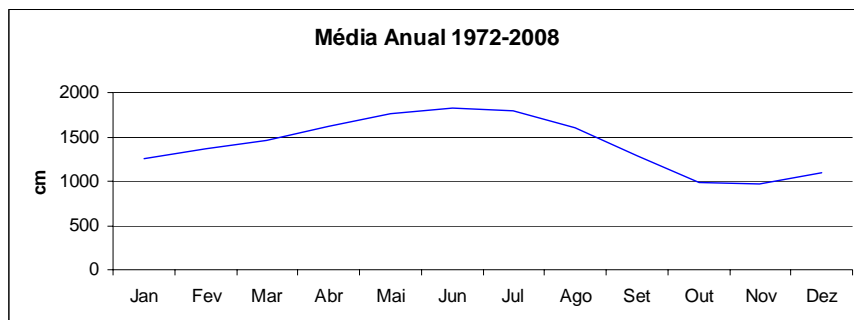


Figura 2. Cotograma da média anual da estação PCD-SIVAM Manacapuru.

A maior cota registrada (cheia máxima) foi a do dia 29 de junho de 1999 com 2003 cm, já a menor cota (vazante máxima) registrada foi no dia 04 de novembro de 1997 com 495 cm. Porém no processo de seleção das imagens disponibilizadas pelo INPE, não há imagens com data de passagem nestes dois meses; utilizamos então as imagens dos meses de segunda menor cota registrada (Outubro de 2005) e da segunda maior cota registrada (julho de 1999). Na tabela 2 temos os detalhes das imagens selecionadas e as cotas registradas.

Tabela 2. Média das cotas no período de cheia e vazante e data de passagem das imagens Landsat 5 selecionadas.

<b>Período Hidrológico</b>	<b>Cota média (cm)</b>	<b>Mês</b>	<b>Data da imagem</b>
Cheia	1980	Julho de 1999	13/07/1999
Vazante	578	Outubro de 2005	01/10/2005

Apresentamos seguir, na figura 3, as imagens selecionadas.

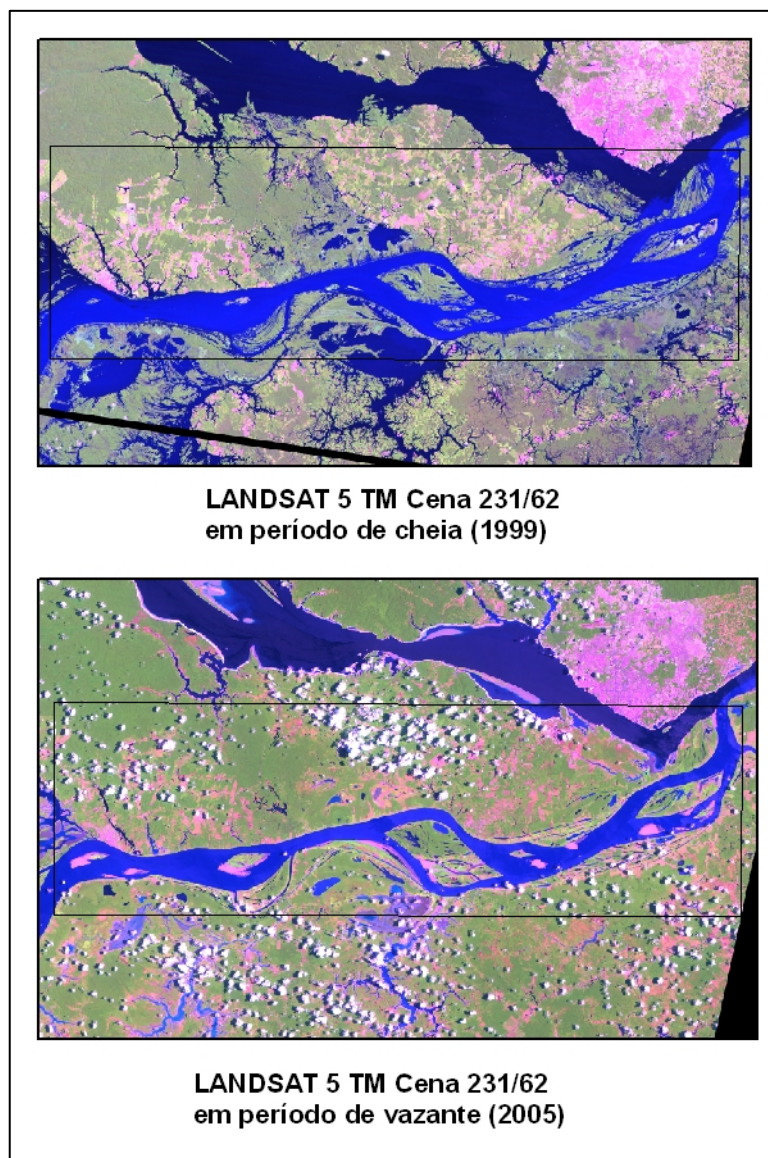


Figura 3. Composição coloridas (R5G4B3) das imagens selecionadas para o estudo.

### 3.2 Variações observadas no canal do rio Solimões

A amplitude das cotas entre estes dois períodos foi de 1402 cm, valor dentro das observações de Filizola et al. (2002) para o rio Solimões. Na análise da dimensão espacial da massa d'água neste trecho houve uma diferença de 59.960 km<sup>2</sup> de áreas coberta por água entre os anos de 1999 e 2005, conforme dados apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Variação da massa d'água do rio Solimões (1999 e 2005).

<b>Período</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Cheia de 1999	398.725
Vazante de 2005	338.765

Após a delimitação do canal, ilhas, bancos de depósito nas imagens selecionadas foram identificadas onze alterações consideráveis. A figura 4 apresenta as variações no sistema fluvial para os períodos de 1999 e 2005 ao longo dos 102 km de extensão.

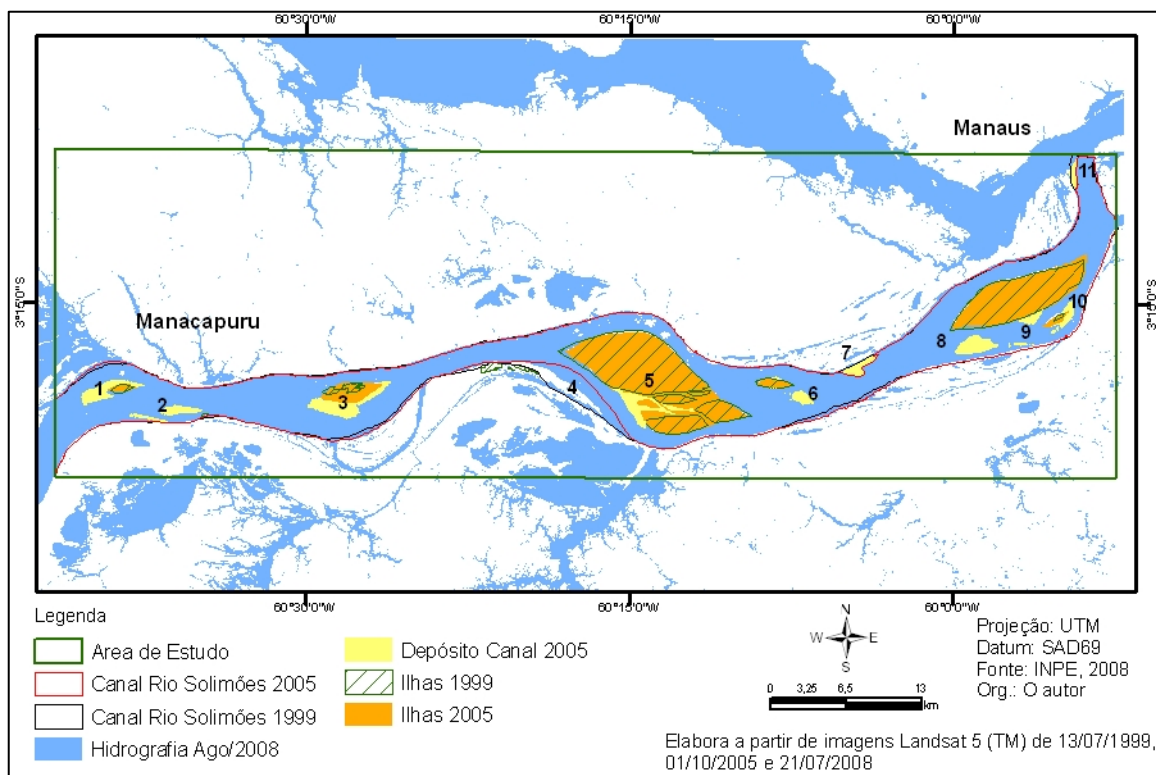


Figura 4. Mapa das alterações no sistema fluvial entre os dois períodos hidrológicos.

Nas observações 2, 6, e 8 temos os bancos de depósito de sedimentos que emergiram no canal do rio Solimões. Em época de vazante, é comum a emersão de bancos de areias nas proximidades das margens do canal ou como resultado de deposição em extremidades de ilhas como observados em 1, 3, 5 e 10. A vazante de 2005 possibilitou o aparecimento de dez bancos de depósitos ao longo do canal, que juntos ocuparam uma área de 30.094 km<sup>2</sup>.

O aparecimento de depósitos de canal pode expressar a considerável diminuição da competência do rio Solimões, resultado da redução da velocidade do rio que, por sua vez, mantém dependência de dois fatores; as propriedades físico-químicas da água e dinâmica do nível do rio (Novo, 2008).

Percebe-se que as maiores alterações ocorreram nas ilhas, predominando o processo de deposição em suas laterais e a montante, modificando consideravelmente sua geometria. Devido a este processo, em conjunto com a erosão e velocidade do rio entre a época de cheia e a vazante, muitas vezes, estas ilhas podem migrar e/ou expandir-se. Na observação 5 temos o fenômeno de expansão de tal forma, que um conjunto de quatro ilhas chega a formar uma única porção de terra. Os valores de áreas ocupadas por estas ilhas são apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Variação nas áreas das ilhas (1999 e 2005).

Período	Área emersa das ilhas (km <sup>2</sup> )
Cheia de 1999	95.484
Vazante de 2005	112.320

Para se ter uma idéia da dimensão da vazante de 2005 na paisagem amazônica, o pesquisador do INPE Paulo Martini (INPE, 2005) analisando imagens Landsat comenta que

por causa desta estiagem, em áreas próximas ao arquipélago das Anavilhanas no rio Negro, houve o afloramento de praias cujas dimensões chegam a 10 quilômetros de comprimento por até 4 de largura.

Quanto ao canal do rio Solimões, este apresenta tanto trechos anastomosados e meandriforme, prevalecendo o padrão anastomosado (Pereira, 2007). Uma das principais alterações ocasionadas nos períodos de cheia é a submersão das barras de sedimento que dividem o canal principal do rio em múltiplos canais durante a vazante, conforme observado na figura 5.

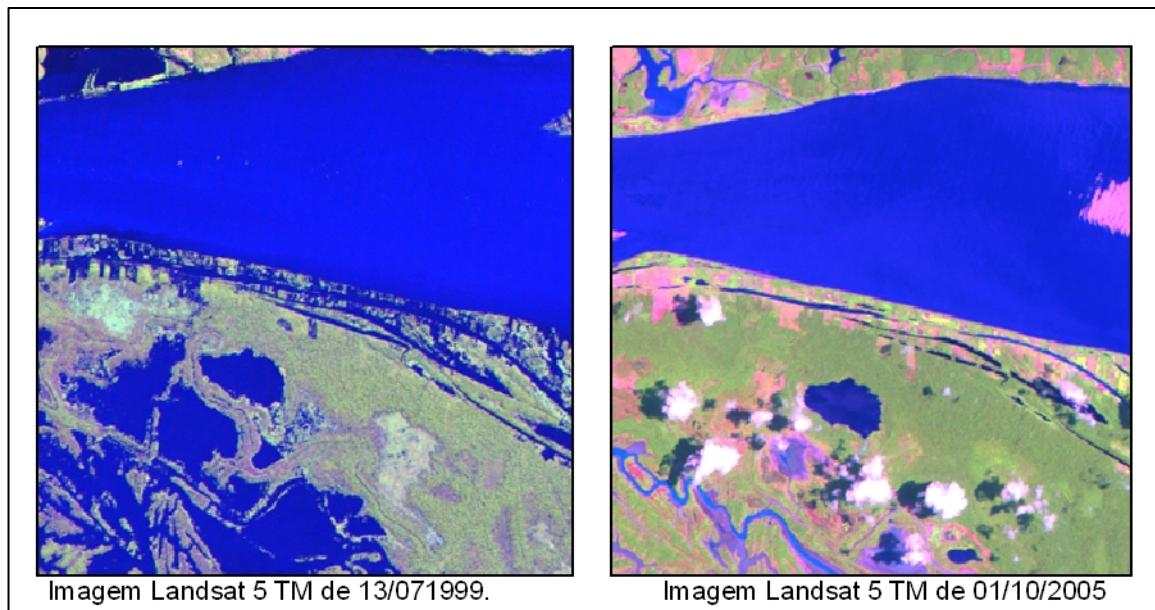


Figura 5. Exemplo da variação do nível d'água entre os dois períodos em uma barra de depósito de sedimentos na margem direita do rio Solimões próximo a cidade de Manacapuru.

Estas barras laterais são formadas por depósitos arenosos finos, simétricos e com diques marginais radiais. Por localizarem-se em áreas de baixa energia do rio tornam-se mais estáveis, permitindo o rápido desenvolvimento de vegetação (Novo, 2008). Nota-se na imagem de 2005 o isolamento de cursos d'água com o canal principal do rio Solimões, deixando de ser paranás para torna-se lagos compridos e finos.

#### 4. Conclusões

Buscou-se demonstrar que a utilização de imagens de satélite é hoje uma das maiores potências de análise da geomorfologia fluvial e hidrologia de diferentes ecossistemas. Esta análise multitemporal com foco em períodos hidrológicos distintos possibilitou a visualização espacial da amplitude massa d'água do rio Solimões, em que 14m de variabilidade de cota, houve 15% de redução da massa d'água. Salientamos que estes dados podem está subestimados devido a resolução espacial de imagens Landsat 5 (30 metros).

Colocamos aqui a proposta de realização de novas pesquisas com a utilização de diferentes sensores com diversos métodos na análise da geomorfologia fluvial com ênfase na análise multitemporal de períodos hidrológicos distintos, porém de extrema magnitude e importância para o ecossistema amazônico.

## Referências

- Fearnside, Philip M. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. **Revista Ciência Hoje**, v.39, n. 231, p.76-78, 2006.
- Filizola, Naziano P.; Guyot, Jean Loup; Guimarães, V. S.; Molinier, M.; Oliveira, Eurides de; Freitas, M. A. V. Caracterização Hidrológica da Bacia Amazônica. In: A. Rivas & C. Freitas. (Org.). **Amazônia - Uma perspectiva interdisciplinar**. Manaus: Editora da Universidade do Amazonas, 2002. cap. 2 p. 33-54.
- Florenzano, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Satélite mostra seca nos rios do Amazonas**. Disponível em: < [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=485](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=485)> acesso em: 30 out. 2005.
- Junk, W. J. As Águas da Bacia Amazônica. In: Salati, E; Shubart, H.O.R.; Oliveira, A.E. **Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia**. São Paulo: Brasiliense, 1983. cap. 2, p. 45-100.
- Latrubesse, Edgardo M.; Stevaux, José C.; Sinhá, Rajiv. Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, n.1, p. 1-18, 2005.
- N-Barbosa, Keillah Mara do; Kirchner, Flávio Felipe; Piedade, Maria Teresa Fernandez; Matos, Francisca Dionízia de Almeida. Detecção de mudanças entre os anos de 1989 e 2003 em uma ilha de várzea da Amazônia central. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 6867-6874.. CD-ROM, On-line.
- Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.26.20.27>>. Acesso em: 12 ago. 2008.
- Novo, E.M.L.M.; Shimabukuro, Y.E.; Mertes, L. O rio Amazonas em mosaico, **Ciência Hoje**, v.24, n. 144, p. 59-61, 1998.
- Novo, E.M.L.M. Ambientes Fluviais. In: Florenzano, T. G. (Org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2008. 318p.
- Oliveira, Antonio Baptista de. Análise da dinâmica geomorfológica da planície do rio Solimões, próximo a Manaus, através do processamento digital de imagens de sensores ópticos e de microondas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 233-240. CD-ROM. On-line.
- Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.16.04>>. Acesso em: 12 ago. 2008.
- Rozo, José Max González.; Nogueira, Afonso César Rodrigues.; Carvalho, Albertino de Souza. Análise multitemporal do sistema fluvial do Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do rio Madeira. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1875-1882.. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.20.15.44>>. Acesso em: 17 ago. 2008.
- Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb). Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 17 ago. 2008.