

Um estudo do ciclo de vida e padrão espacial de bancos de macrófitas aquáticas por meio de uma série histórica de imagens Landsat-TM e ETM+

Eduardo Moraes Arraut¹
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo¹
José Eduardo Mantovani²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{arraut, evlyn}@dsr.inpe.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro Regional de Natal (CRN)
Rua Carlos Serrano, 2073 – 59076-740 – Natal - RN, Brasil
{mantovani}@crn.inpe.br

Abstract. The life cycle of the aquatic macrophytes influences that of several species, some of which feed on these plants and others that use them for shelter, but also influences large-scale global cycles such as that of the contribution of the floodplain to the carbon balance. We studied them as part of the habitat of the Amazonian manatee *Trichechus inunguis*. In particular, we studied the life cycle of the plants and the spatial distribution of the stands by means of a historical series of Landsat TM and ETM+ images and fieldwork. The study was carried out in the region of the Mamirauá and Amanã sustainable development reserves. Macrophyte stands tend to occur in the same places every year and not much variation in this pattern was found throughout the eleven years that the images spanned. However, in smaller scales of observation it was noted that plant growth is intimately related to similar smaller-scale variations in the floodpulse timing. This probably has implications for the movements of the Amazonian manatee, but also to other organisms and levels of organization.

Palavras-chave: remote sensing, *Trichechus inunguis*, Peixe-boi Amazônico, sensoriamento remoto.

1. Introdução

O surgimento do interesse pelo mapeamento das macrófitas aquáticas a partir de dados de SR deu-se mediante o aumento de mosquitos transmissores de malária e outras doenças de veiculação hídrica no reservatório de Tucuruí. Observou-se uma diminuição na produção primária do fitoplâncton, o que afeta a biodiversidade do lago, atribuída ao aumento das macrófitas (Abdon & Meyer, 1990). Para mapear o crescimento dessas plantas os autores usaram dados dos sensores Landsat-TM e determinaram que elas poderiam ocupar até 25% da área do reservatório no período da enchente, e que a área que ocupavam vinha aumentando nos últimos anos.

Novo & Shimabukuro (1997) apresentaram uma metodologia para identificar e mapear extensa área da planície de inundação da Amazônia aplicando o modelo de mistura a imagens Landsat-TM. Através do modelo, determinaram a fração dos três ‘endmembers’. As classes geradas foram: 1) água clara/mista, 2) água turva, 3) floresta não-alagada, 4) floresta alagada, 5) assentamentos humanos e 6) vegetação aquática. A base conceitual do modelo de mistura é que o valor de brilho de cada pixel resulta da influência conjunta da radiação vinda do solo, da vegetação e da água/sombra, sendo que em cada pixel a proporção de cada um desses três componentes é diferente. Desta forma, são geradas três imagens, chamadas ‘imagens fração’: imagem fração água/sombra, 2) fração vegetação e 3) fração solo. Os autores geraram um plano de informação temático contendo as classes acima, e o compararam com o resultado de uma interpretação visual.

Neste trabalho, estudou-se a dinâmica espacial dos bancos de macrófitas aquáticas por meio de uma série histórica de imagens Landsat TM e ETM+. Não foram diferenciadas espécies ou gêneros, observou-se o ciclo de vida da ‘classe’ – não taxonômica – macrófitas aquáticas em

função do pulso de inundação do rio Solimões. Além disso, estudou-se a recorrência temporal do padrão espacial dos bancos de macrófitas, comparado imagens de uma mesma região na mesma fase do pulso de inundação, porém ano diferente.

A motivação para o estudo das macrófitas foi o peixe-boi amazônico *Trichechus inunguis*, pois para ele são o principal alimento. *T. inunguis* é herbívoro e generalista. Sabe-se que na região das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e Amanã os peixes-boi se alimentam de pelo menos 63 espécies de macrófitas (Guterres & Marmontel, 2008), dentre as quais *Echinochloa polystachia* e *Paspalum repens*, ambas dentre as que formam os bancos mais extensos e abundantes na região.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido na região do médio Rio Solimões, quase todo dentro das áreas focais das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e Amanã (respectivamente, RDSM e RDSA) (Figura 1). A RDSM abrange uma área de 1.124.000 ha, toda ela em região de várzea, onde predominam águas do tipo ‘brancas’ (Sioli, 1984). Seu mais conhecido corpo d’água é o Mamirauá (Figura 3.2), lago estreito e comprido que deságua no Rio Japurá ao sul. Por sua vez, o ambiente da RDSA, com uma área de 2.350.000 ha é dominado principalmente por terra-firme e por igapó (portanto, fora da planície de inundação do Rio Solimões). Igapó é a floresta periodicamente alagada pela água ‘preta’ característica dos corpos d’água da região (Sioli, 1984). Seu maior lago é o Amanã, dominado pela água preta vinda da terra-firme ao norte e ao leste, mas sob influência sazonal da água branca do Rio Solimões vinda pelos paranás a oeste e ao sul. Essa influência é tal que a água branca vinda do Solimões faz com que na cheia a região sul do Amanã e todo o lago Urini tenham grandes bancos de macrófitas aquáticas. Toda a área de estudo é profundamente influenciada pelo pulso de inundação do Rio Solimões.

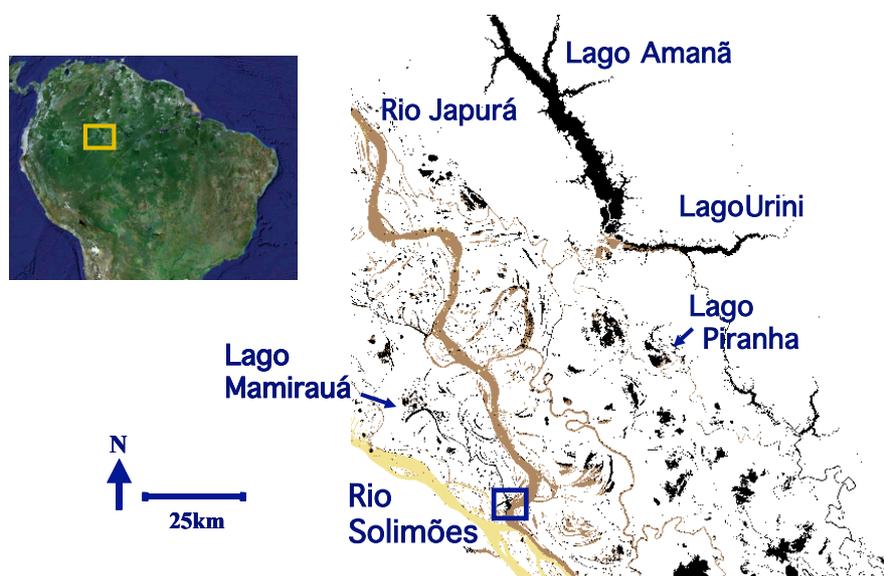


Figura 1 - Região de estudo. 1) Imagem da América do Sul, com quadrado amarelo indicando localização da área de estudo (fonte: Google Earth) e 2) Classificação de uma imagem TM/Landsat-5 de junho de 1997 (cheia), recortada com uma máscara de água, mostrando a área de estudo. O quadrado azul indica a região da Boca do Lago Mamirauá, apresentada em maior detalhe na Figura 2.

2.2. Dados de campo

O levantamento dos bancos de macrófitas foi feito em três campanhas de campo distribuídas de forma a captar as quatro fases do pulso de inundação. As campanhas ocorreram em fevereiro de 2005 (enchente), de agosto a novembro de 2005 (vazante e baixa) e em maio de 2006 (água alta).

2.3. Série histórica de imagens Landsat-TM

Foram usadas imagens dos sensores TM e ETM+ dos satélites Landsat-5 e 7, respectivamente, com resolução de 30 x 30m (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) e 15x15m (pancromática). Esses sensores possuem a maior série histórica da região (**Tabela 1**), o que permitiu estudar a dinâmica das macrófitas aquáticas ao longo de vários anos. As bandas do TM foram restauradas para 15x15m e as ETM+ foram re-amostradas também para 15 x 15m por meio de uma fusão com a pancromática, segundo recomendado por Arraut et. al. 2007).

Tabela 1 – Datas de aquisição das imagens Landsat TM e ETM+ e a fase do pulso de inundação mostra nelas.

Datas de aquisição das imagens	Sensor	Fase do pulso de inundação que mostram
08/08/1995	TM	vazante
09/07/1996	TM	água alta
16/12/1996	TM	enchente
10/06/1997	TM	água alta
29/08/1997	TM	vazante
14/09/1997	TM	água baixa
21/08/2000	TM	vazante
02/07/2002	ETM+	água alta
31/07/2002*	ETM+	vazante
15/03/2003	ETM+	enchente
06/10/2005	TM	água baixa

3. Resultados e Discussão

3.1. Padrão espacial das macrófitas aquáticas em uma mesma região, mesma fase do pulso, porém ano diferente

O padrão de crescimento anual das macrófitas aquáticas é semelhante anualmente. Na água baixa as plantas crescem sobre as praias. Quando a água cobre essas plantas, algumas morrem e outras acompanham o crescimento da água. Há sucessão de espécies em um mesmo ciclo anual. Durante a enchente as plantas ficam vigorosas, e crescem acompanhando a subida da água de forma a sempre haver 1 ou 2 metros acima da superfície. Na água alta as macrófitas ainda estão vigorosas, mas já plantas começaram a senescer e a morrer. Durante a vazante as plantas morrem gradativamente até que na água baixa seguinte o ciclo recomeça com as macrófitas que crescem em terra. Nessa escala geral de observação, constatou-se que nos 6 anos entre a água alta de 1996 e a de 2002 a paisagem no sistema Mamirauá mudou pouco. Esse fato é relevante para um local onde a cobertura de nuvens é freqüente e por isso são poucas as imagens disponíveis. Esses resultados corroboram com o encontrado por Barbosa (2005) na região do Lago Grande de Curuai, PA.

Entretanto, quando se compara o sinal das macrófitas em anos diferentes, mas mesma fase do pulso de inundação, observa-se que há variação no sinal dos bancos em anos diferentes

(Figura 2). Nas águas altas de 1996 e 2002 (Figura 2 a e c, respectivamente) as macrófitas estão verde-claro brilhante, destacadas do entorno, mas na de 1997 (Figura 2b) o sinal é mais escuro e elas são mais difíceis de identificar com essas bandas espectrais.

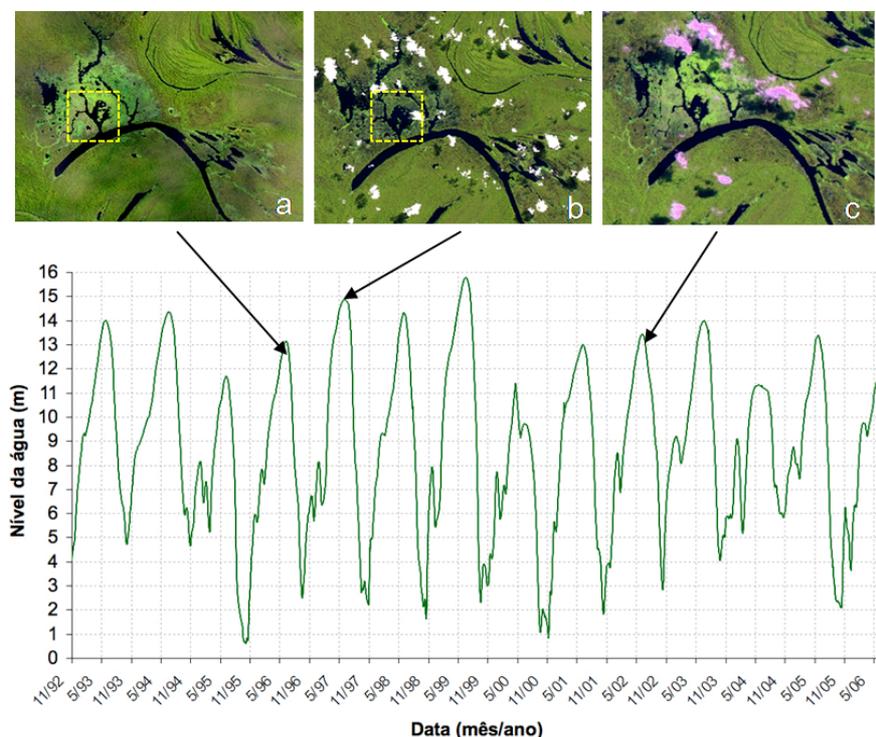


Figura 2 – Comparação da cobertura de macrófitas nas águas altas de anos diferentes. Imagens Landsat-TM 5R4G3B. Alta: 9/7/96, 10/6/97 e 2/7/02(ETM+). Setas pretas apontam a cota no dia da aquisição de cada imagem e quadrados amarelos destacam região de interesse particular.

Assumindo que não houve causa de mortalidade em massa das macrófitas entre a enchente e a alta daquele ano – não há relatos disso –, é mais provável que a diferença no sinal dos bancos de 1997 na água alta seja devida a alguma diferença no pulso de inundação deste ano quando comparado aos outros dois. A inspeção das datas das três imagens com relação à cota mostra que ele era 2,13m e 1,63m mais alto na imagem da alta de 1997 do que nas das altas de 1996 e de 2002, respectivamente. Evidências de campo indicam que na alta as macrófitas começam a morrer e por isso formam-se coberturas de plantas mortas em meio às plantas ainda verdes (fotografia à esquerda na Figura 4). É por isso provável que o sinal menos brilhante dos bancos de macrófitas na alta de 1997 na banda TM-4 seja consequência da maior quantidade de plantas mortas. Por causa da ausência de fotossíntese, estas possuem sinal menos intenso nas bandas do intervalo ótico. Além disso, por causa do maior espaçamento entre as plantas em um banco menos denso, com menos plantas vigorosas, a contribuição do sinal (baixo) da água aumenta e por isso a reflectância do alvo cai.

Em um estudo da quantidade e distribuição de macrófitas aquáticas no lago da represa de Tucuruí, Lima & Novo (2001) observaram que o aumento da amplitude de variação na cota resultante da construção da barragem resultou na drástica redução na quantidade de macrófitas no reservatório quando o nível do reservatório voltou a aumentar. Fenômeno semelhante parece explicar a diferença na aparência espectral dos bancos entre as cheias de 1996 e 2002 e a de 1997. Nesta última a maior amplitude de variação do nível da água resultou na morte de mais macrófitas e no maior espaçamento dos bancos, o que diminuiu a

resposta espectral dos mesmos na banda TM4 (pois se tornaram menos distinguíveis da floresta no entorno).

3.2. Padrão de crescimento das macrófitas aquáticas com o decorrer do pulso de inundação

Em seguida estudou-se o ciclo de crescimento anual das macrófitas aquáticas. Na Figura 33 podem ser vistas imagens da região do Lago Mamirauá tomadas em seqüência em cada uma das quatro fases do pulso entre 1996 e 1997. Na enchente as macrófitas apresentam um sinal espectral intenso na região do infravermelho próximo captada pela banda TM4 e, por conseqüência, aparecem em verde claro brilhante. Isso indica que estão vigorosas. Nessa fase cobrem toda a região dos Lagos Acácio, Saracura e Anágua. À medida que a cota aumenta as espécies terrestres ficam submersas e morrem e as aquáticas começam a aparecer. Essas crescem até a alta e na vazante começam a morrer. A baixa taxa fotossintética das macrófitas na vazante pode ser confirmada pelo fraco sinal espectral na banda TM4 (a aparência magenta indica que o sinal predominante é uma mistura das bandas TM3 e TM5). Na baixa, por sua vez, as espécies terrestre começam a crescer novamente sobre o solo exposto. Notar na imagem da água baixa na Figura 3 o sinal alaranjado do solo exposto entremeado por manchas pequenas de cor verde causadas pelas macrófitas que ali crescem na e na foto tomada na baixa vê-se o solo exposto e as plantas sobre ele crescendo. Na Figura 4 o canal do Acácio pode ser observado na água alta (à direita) e na água baixa (o estreito curso d'água na parte superior direita da foto à esquerda); as duas fotos foram tomadas de locais próximos e ângulos semelhantes e tem o objetivo de mostrar o padrão geral do lugar.

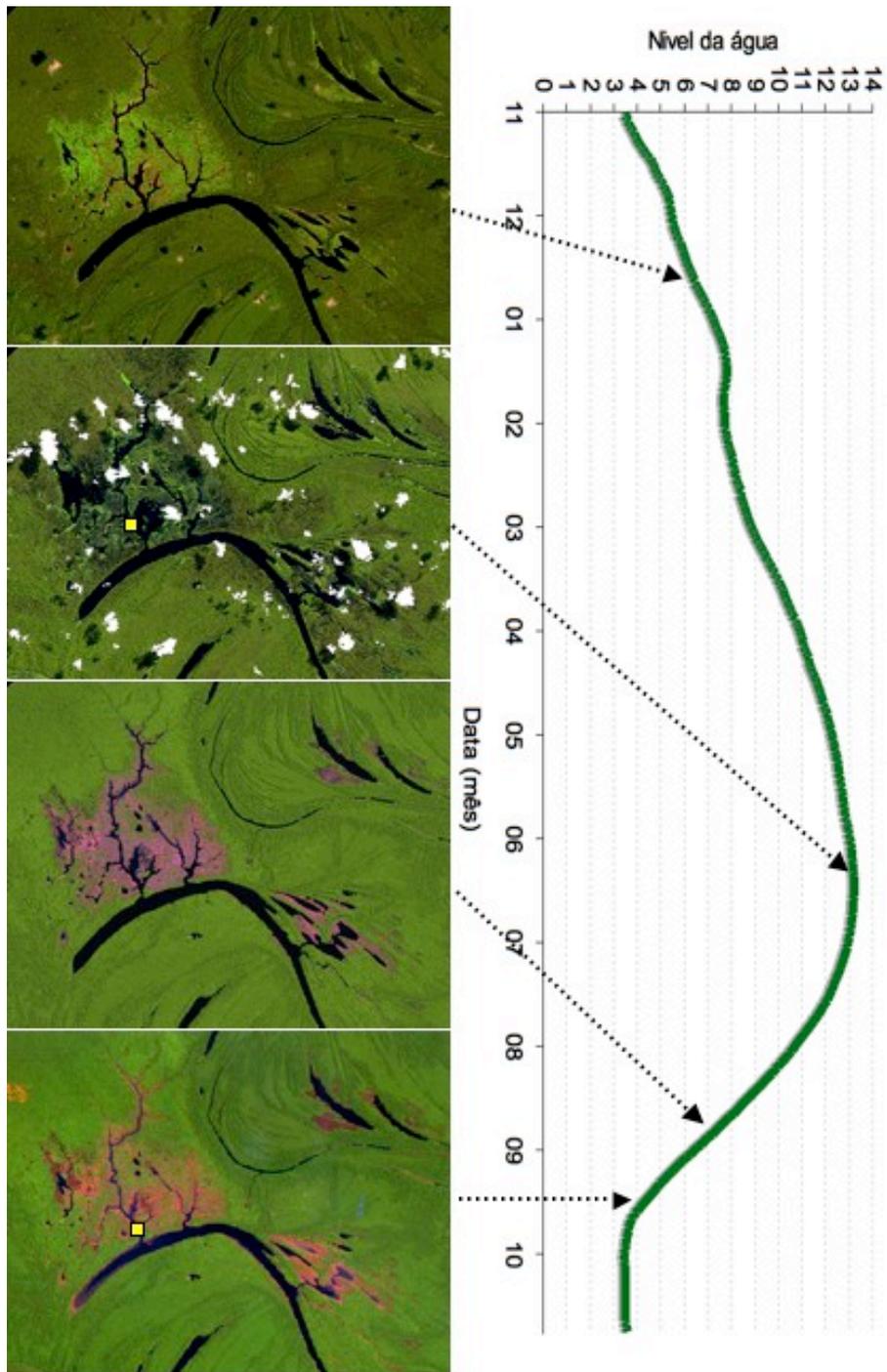


Figura 3 – Ciclo das macrófitas na região do Lago Mamirauá no decorrer de um ciclo do pulso de inundação. De cima pra baixo na figura: (data de aquisição da imagem e cota no dia entre parêntesis): enchente (16/12/1996; 6,28m), alta (10/6/1997; 14,86m), vazante (29/8/1997; 7,28m) e baixa (14/9/1997; 4,63m).



Figura 1 – Fotos dos dois locais assinalados por um quadrado amarelo na Figura 3. Essas fotos foram tomadas nos dias 25/5/06 (final da enchente) e 12/10/05 (água baixa), respectivamente.

4. Conclusões

Na escala espacial do estudo, observou-se que na área de estudo bancos de macrófitas aquáticas tendem a crescer nos mesmos lugares todos os anos. Esses lugares são principalmente os lagos da planície, os quais os bancos cobrem por completo ou formam manchas de diferentes tamanhos e formas. Nos rios os bancos são confinados às margens pela correnteza, e nos lagos de água preta são bem menos abundantes. Entretanto, a forma que os bancos atingem no ápice do crescimento, a área abrangida e, talvez, as espécies dominantes, apresentam variação relacionada às variações inter-anuais no ciclo de inundação.

Essas informações só foram possíveis por meio da análise de uma série histórica de imagens, necessária para captar, do ponto de vista do sensoriamento remoto, a mudança da paisagem ao longo do tempo.

5. Agradecimentos

Agradecemos muito o apoio do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e sua equipe. Em particular, à Dra. Miriam Marmontel pelo apoio intelectual e logístico, aos estagiários do projeto Peixe-boi Amazônico entre 2004 e 2008 e os assistentes de campo Antônio e Beré. Todos foram primordiais para a realização do trabalho de campo.

6. Referências

- Abdon, M.M. & Meyer, M. 1990. Variação temporal de áreas ocupadas por macrófitas aquáticas no reservatório de Tucuruí através de dados do satélite Landsat/TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIA- MENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. v.2, p.545-548
- Barbosa, C.C.F. **Sensoriamento Remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície de Curuai/ Rio Amazonas**. São José dos Campos. 255p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.
- Guterres, M.G. & Marmontel, M. **Anatomia e Morfologia de plantas aquáticas da Amazônia utilizadas como potencial alimento por peixe-boi amazônico**. Belém: Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, 2008. 187 p.
- Lima, I.B.T & Novo, E.M.L.M. **UHE Turucuí, etapa final - UNIDADES 13 a 23. Projeto Executivo, Plano de Ações Ambientais, Programa de Limnologia e qualidade da água. Análise da evolução da ocupação por macrófitas aquáticas no reservatório até agosto de 2001**. TUC-E-MAN-805-0010-RCR.0B. Brasília, 2001
- Novo, E.M.L.M. & Shimabukuro, Y.E. Identification and mapping of the Amazon habitats using a mixing model. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 3, p. 663-670, 1997.
- Sioli, H. **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. The Netherlands: Dr. W. Junk Publisher, 1984.