

**Quanto alimento há para o Peixe-boi Amazônico?
Técnicas de processamento digital de imagens para estimar a dimensão de
bancos de macrófitas aquáticas**

Eduardo Moraes Arraut ¹
Jose Eduardo Mantovani¹
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo ¹

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

Abstract. VHF telemetry data indicate that in the region of the Mamirauá and Amanã Sustainable Development Reserves Amazonian manatees carry out seasonal migrations from floodplain lakes, where they stay during the high water season, to highland lakes, their home in the low water season. To explore the reasons for this behavior, a temporal monitoring of the distribution and abundance of their main food resource, aquatic macrophyte, is being carried out via remote sensing (RS). As historical RS data is limited to Landsat-TM images, which have a spatial resolution that is inadequate to capture small sized macrophyte stands, image restoration techniques were used. Results indicate that restoration to 15x15m enhances detection of stands. Also, results indicate that band 4 alone is adequate to distinguish aquatic macrophyte stands in the high water season. The methodology described in this study will be used to study how the Amazonian manatee's food resource varies in space and time, and how this might influence the specie's migration.

Palavras-chave: Amazonian manatee, remote sensing, image restoration, Landsat, TM, habitat, resource, sensoriamento remoto, restauração de imagens, hábitat, recurso alimentar, Amazonia.

1. Introdução

O peixe-boi amazônico *Trichechus inunguis* é um mamífero aquático, endêmico da bacia amazônica, que pode atingir 3m, pesar 300 kg e viver cerca de 60 anos (Rosas, 1994). Sua carne e sua gordura possuem alto valor nutritivo e são apreciadas por moradores da região Norte do país, e por isso há alguns séculos a espécie vem sendo alvo das caças de subsistência e, mais recentemente porém em maior escala, comercial. Na região de estudo, as Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e Amanã (respectivamente, RDSM e RDSA), a caça, apesar de ilegal, ainda ocorre em pequena escala (subsistência), porém devido à fiscalização já não ocorre caça comercial. Atualmente, a espécie encontra-se nas listas dos animais ameaçados de extinção da IUCN (IUCN, 2006) e do IBAMA (IBAMA, 2006).

Até o presente, 8 animais foram rastreados via radiotelemetria VHF por mais de uma fase do pulso de inundação. Todos permaneceram em lagos da planície de inundação (Lagos Mamirauá e Castanho) no período da cheia, e migraram, na vazante, para os grandes rios (ex. Rio Japurá) ou para lagos de terra-firme (ex. Amanã), onde permaneceram na seca. Na enchente os animais retornaram para a planície de inundação (Marmontel et al., *in prep*).

Neste trabalho, parte do doutorado de um dos autores (EMA), o objetivo é avançar o entendimento científico sobre as causas que levam os peixes-boi a migrar, sob a suposição de que, em última instância, são variações no hábitat que induzem esse comportamento. A hipótese é que os animais preferem os lagos da planície na cheia porque ali seu principal alimento, as macrófitas aquáticas (Colares, 1991; Rosas, 1994), seria mais abundante. Para averiguar tal hipótese, o objetivo deste trabalho é mapear, por meio de sensoriamento remoto e metodologias de campo, a área coberta por macrófitas aquáticas nos Lagos Mamirauá e Castanho (planície) e Amanã (terra-firme) em diferentes fases do pulso de inundação. Para tal estão sendo usadas imagens dos sensores TM-Landsat, que juntos formam a maior série histórica da região, e imagens CCD-CBERS2. No entanto, em virtude da resolução espacial de 30x30m das imagens TM, inadequada para mapear bancos de macrófitas de menor tamanho, estão sendo testadas técnicas de processamento digital, em especial a restauração de imagens, para atingir o objetivo principal proposto anteriormente.

2. Materiais e Métodos

Este estudo está sendo desenvolvido na região das RDSM e RDSA, médio Rio Solimões, AM, captada por parte das imagens TM-Landsat órbita ponto 1/62 e 233/62. As imagens foram registradas usando como referência os produtos *GeoCover* disponibilizadas pela NASA, com acurácia posicional absoluta de aproximadamente 75m (NASA, 2006). Após o registro, realizou-se o mosaico das duas cenas, e posteriormente o recorte da área de estudo a partir de uma máscara vetorial (Figura 1).

O passo seguinte foi a restauração das imagens, usando para tal o algoritmo do aplicativo SPRING desenvolvido para o sensor TM. As imagens foram restauradas para 30, 20, 15, 10 e 5m.

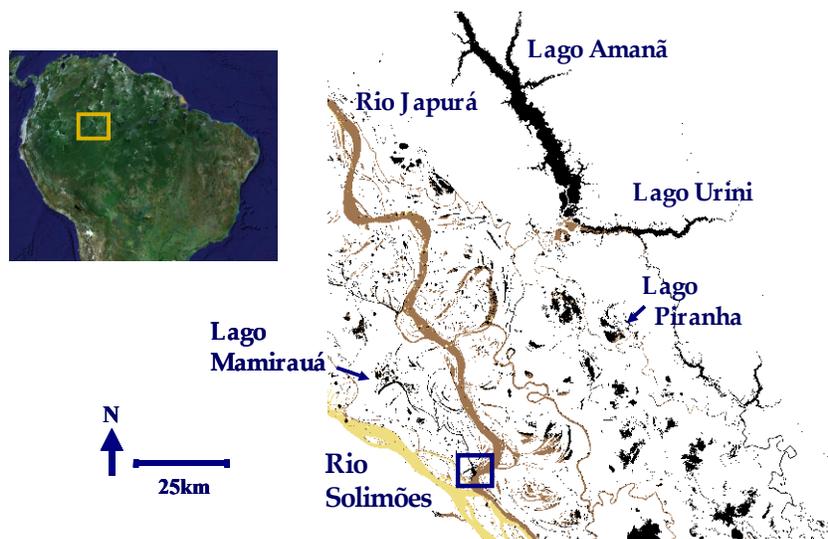


Figura 1 – Região de estudo. 1) Imagem da América do Sul, com quadrado amarelo indicando localização da área de estudo (fonte: Google Earth) e 2) Classificação de uma imagem TM/Landsat-5 de junho de 1997 (cheia), recortada com uma máscara de água, mostrando a área de estudo. O quadrado azul indica a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

Seguiu-se então para a fase de classificação, na qual foram testadas as imagens restauradas para 30m (portanto, sem mudança da resolução espacial) e 15m, com o objetivo de avaliar se a de maior resolução espacial trazia melhorias relevantes no reconhecimento dos bancos de macrófitas. Como o propósito foi distinguir macrófitas aquáticas dos demais alvos - tudo o que é recurso alimentar de tudo o que não é - foram criadas duas classes: ‘macrófitas aquáticas’ e ‘não-macrófitas aquáticas’.

Todos os processamentos foram realizados no aplicativo SPRING 4.3 (INPE, 2006), e a avaliação das classificações feita a partir de informações obtidas em campo nos anos 2005 e 2006.

3. Resultados

Na análise das imagens processadas percebeu-se que a restauração para 10 e 5m incorporava um ruído que prejudicava o reconhecimento dos padrões. A imagem com 15m de resolução, por outro lado, possibilitou um melhor reconhecimento visual dos bancos de macrófitas do que a com 30m, e não apresentou ruído aparente (**Figura 2**). Nesta figura é apresentado o recorte de uma imagem TM-Landsat de 10/06/1997 (cheia) mostrando a região da Boca do Lago Mimirauá, RDSM, após restauração para 30m e para 15m. Como poder ser notado, o maior banco presente (indicado pelas setas brancas), com área de aproximadamente 2 hectares, é facilmente distinguível em ambas imagens, apesar de seu contorno ser mais bem delineado na imagem com 15m de resolução. A diferença no reconhecimento e no delineamento dos bancos é mais notória, no entanto, quando se observa os de pequeno porte (por ex., os indicados pelas setas amarelas), com dimensões próximas ao limite da resolução espacial do sensor TM (por ex., menos de 30m de largura). Por serem esses frequentes na região de estudo, ocorrendo em lagos e rios freqüentados pelos peixes-boi, são potencialmente importantes para a espécie, e por isso seu reconhecimento interessa a essa pesquisa. A restauração provou-se útil para o trabalho e, portanto, as classificações foram realizadas sobre as imagens com 15m.

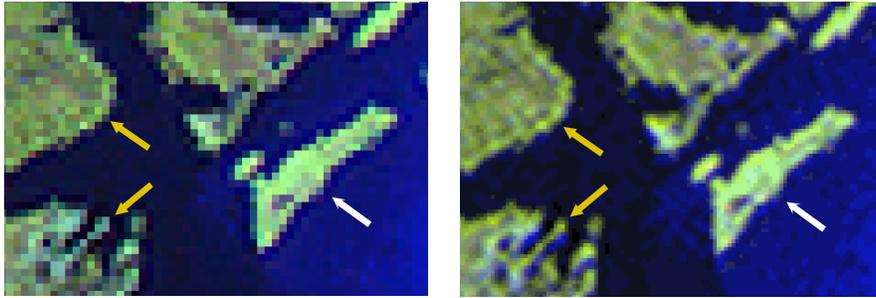


Figura 2 – Boca do Mamirauá, RDSM. a) recorte de imagem TM-Landsat-5 de 10/06/1997, composição 543 (RGB), restaurada para 30m, b) mesma imagem, porém restaurada para 15m. Seta branca indica banco de aproximadamente 2 hectares que pode ser visto nas duas imagens. Setas amarelas indicam alguns bancos menores (cor verde amarelada mais intensa) que foram mais bem identificados na imagem restaurada para 15m.

A partir das imagens restauradas para 15m, foi feito um estudo visual das bandas do sensor TM e ao final optou-se por usar apenas as do vermelho e do infravermelho próximo (bandas 3, 4 e 5). Mais ainda, resultados preliminares indicam que a banda 4 é suficiente para separar os bancos de macrófitas aquáticas dos demais alvos, ao menos no período da cheia, pois, nessa banda, os bancos possuem sinal de retorno mais elevado do que a floresta e a água no entorno (**Figura 3**). A adequação da banda 4 pode ser explicada pela composição florística dos bancos, formados predominantemente por *E. polystachya* (canarana), apontada por Piedade (1988) como a planta mais freqüente nas áreas inundáveis das várzeas e principal constituinte da grande maioria dos bancos de macrófitas que flutuam à deriva no período da cheia (conhecidos popularmente como ‘matupás’). Trata-se de uma planta com metabolismo C4, cujo mesófilo esponjoso mais desenvolvido resulta em maior reflectância na faixa de comprimento de onda entre 0,76 e 0,9 μm , onde opera a banda 4 do TM, do que aquela de plantas com metabolismo C3, característico da maioria das árvores da floresta.

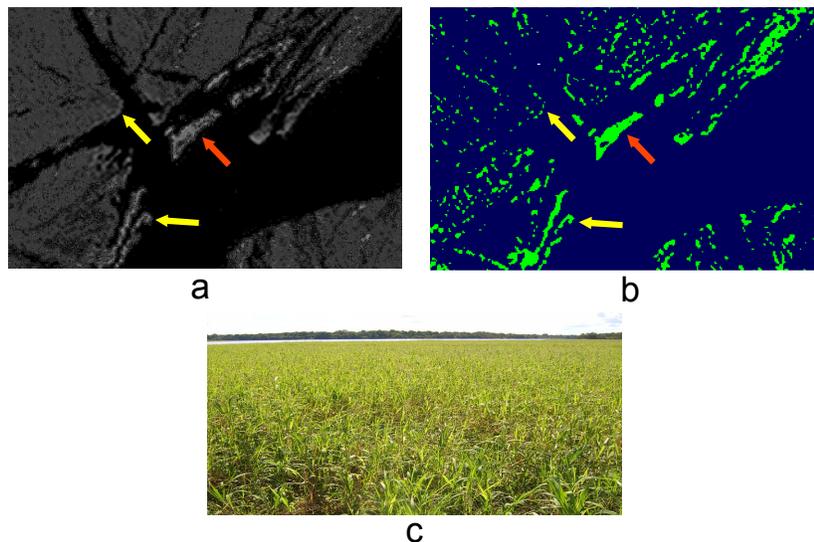


Figura 3 – Classificação das macrófitas aquáticas. a) recorte de imagem da banda TM-4 de 10/06/1997, período da cheia b) classificação MaxVer do imagem mostrada em a e 3) fotografia tomada em maio de 2005 do banco *E. polystachya* perene assinalado pelas setas laranjas. Os bancos de *E. polystachya* possuem reflectância mais elevada na região da banda 4 e por isso aparecem em cor branca mais intensa. As setas amarelas mostram dois bancos de pequeno porte que podem ser identificados.

Na **Figura 4** é apresentado o mesmo recorte da imagem da cheia da **Figura 3**. Os quadrados coloridos indicam as regiões de onde foram tomadas as amostras para o gráfico de distribuição de níveis de cinza (a quantização é de 8 bits, porém, como não haviam pixels com níveis de cinza maiores que 150, este foi estabelecido como valor máximo para facilitar a visualização das curvas). Em decorrência do tamanho diferente das amostras, os dados de nível de cinza foram normalizados para que a comparação entre as três classes pudesse ser direta. Como pode ser notado, na banda 4 a classe macrófitas aquáticas (vermelho) possui maior reflectância nessa região do infravermelho próximo, o que a torna notoriamente distinguível das classes água (azul) e mata (verde). Vale observar que as amostras pertencentes à classe macrófita que possuem nível de cinza em torno de 20 são de fato pixels com sinal predominante da água. Nesta fase do pulso de inundação a água cobre toda a várzea e, como os bancos não possuem densidade homogênea, tendo frequentemente espaços com menor cobertura vegetal, sua contribuição para o sinal de retorno pode ser notória. A influência da água no sinal da mata ocorre em menor escala em decorrência da maior cobertura das copas das árvores em comparação às de plantas de estágios iniciais da sucessão ecológica, tal qual as macrófitas.

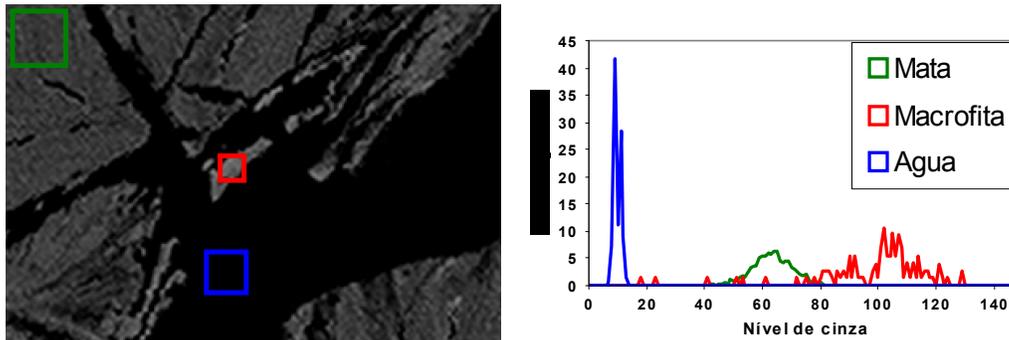


Figura 4 – Distribuição dos níveis de cinza por classe de alvo. Mesma imagem da Figura 3a, porém com quadrados coloridos mostrando as regiões de onde foram adquiridas as amostras para o gráfico. Como pode ser notado, na banda 4 a classe macrófitas aquáticas é possui reflectância maior do que as classes água e mata, e por isso pode ser discriminada.

Os resultados da classificação usando a banda 4 indicaram, no entanto, que sua utilização para distinguir macrófitas aquáticas dos demais alvos não é adequada onde há ocorrência de agricultura ou pasto em torno dos cursos d'água, como ocorre nas proximidades das cidades à margem dos Rios Solimões e Japurá na região de estudo e em maior escala em outras regiões da Amazônia. Isso acontece porque dentre as espécies cultiváveis e as colonizadoras iniciais existem várias com metabolismo C4, o que resulta em um sinal de retorno semelhante ao das macrófitas aquáticas. Além disso, a adequação da banda 4 na região de estudo precisa, todavia, ser investigada para o período da seca, quando o sinal de retorno é influenciado não pela água, mas pelo solo sobre o qual as plantas crescem.

A continuação deste estudo será a aplicação da metodologia para a classificação de imagens de outras datas, com as devidas adaptações, de forma a ter-se uma série temporal da variação na distribuição e na abundância das macrófitas aquáticas. Desta forma, ter-se-a um mapeamento sazonal do alimento do peixe-boi amazônico, informação esta que será confrontada com os dados de rastreamento com o intuito de avançar o conhecimento sobre a importância do recurso alimentar para a migração da espécie.

4. Referências bibliográficas

Colares, I.G. **Hábitos alimentares do Peixe-boi da Amazônia (*Trichechus inunguis*, Mammalia, Sirenia)**. 1991. 110p. Tese de Doutorado - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 1991

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/fauna/index.cfm>>. Acesso em: 13 nov. 2006.

International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). Disponível em: <<http://www.redlist.org/>>. Acesso em: 13 nov. 2006.

Junk, W.J.; Bayley, P.B. & Sparks, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: International Large River Symposium. **Canadian Special Publications in Fisheries and Aquatic Sciences**, nov. 1989. v.106, p. 110-127.

Marmontel, M.; Rosas, F.C.W. & Calvimontes, J. Seasonal movements and migratory routes of Amazonian Manatees *Trichechus inunguis* (Mammalia, Sirenia) in the Mamirauá and Amanã Sustainable Development Reserves, Western Brazilian Amazon. *In prep*, 2005.

National Space Agency (NASA), Global Land Cover Facility, Earth Science Data Interface. Disponível em: <<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>. 2006>. Acesso em: 13 nov. 2006.

Piedade, M. **Biomassa, produtividade e atividade fotossintética de *Echinochloa polystachya* (HBK) (Graminea, Poaceae), capim semi-aquático da várzea amazônica**. 1988. 154p. Tese de Doutorado - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 1988.

Rosas, F.C.W. Biology, conservation and status of the Amazonian Manatee *Trichechus inunguis*. **Mammal Review**, v. 24, n. 2, p. 49-59, 1994.