



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.23.13.09-TDI

## **MIGRAÇÃO DO PEIXE-BOI AMAZÔNICO: UMA ABORDAGEM POR SENSORIAMENTO REMOTO, RADIOTELEMETRIA E GEOPROCESSAMENTO**

Eduardo Moraes Arraut

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,  
orientada pelos Drs. Evelyn Márcia Leão de Moraes Novo, e José Eduardo  
Mantovani, aprovada em 25 de abril de 2008

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/349LMH2>>

INPE  
São José dos Campos  
2011

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):****Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

**Membros:**

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr<sup>a</sup> Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.23.13.09-TDI

## **MIGRAÇÃO DO PEIXE-BOI AMAZÔNICO: UMA ABORDAGEM POR SENSORIAMENTO REMOTO, RADIOTELEMETRIA E GEOPROCESSAMENTO**

Eduardo Moraes Arraut

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,  
orientada pelos Drs. Evelyn Márcia Leão de Moraes Novo, e José Eduardo  
Mantovani, aprovada em 25 de abril de 2008

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/349LMH2>>

INPE  
São José dos Campos  
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Arraut, Eduardo Moraes.

Ar69m Migração do peixe-boi amazônico: uma abordagem por sensoriamento remoto, radiotelemetria e geoprocessamento / Eduardo Moraes Arraut. – São José dos Campos : INPE, 2011.  
150 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.23.13.09-TDI)

Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

Orientadores : Drs. Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo, e José Eduardo Mantovani.

1. Trichechus inunguis. 2. Landsat. 3. Áreas de vida. 4. Migração. 5. Amazônia. I.Título.

CDU 528.8 (811)

---

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

**Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de Doutor(a) em  
Sensoriamento Remoto**

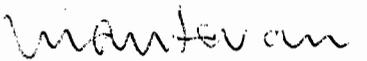
**Dr. Yosio Edemir Shimabukuro**

  
Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

**Dra. Evelyne Marcia Leão de Moraes Novo**

  
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

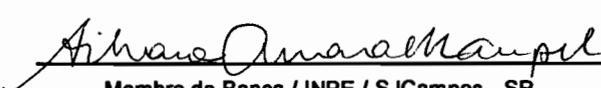
**Dr. José Eduardo Mantovani**

  
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

**Dr. Gilberto Câmara**

  
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

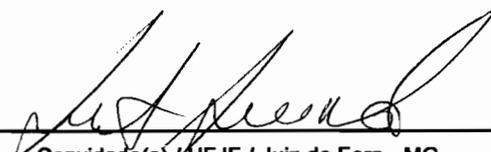
**Dra. Silvana Amaral Kampel**

  
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

**Dra. Miriam Marmontel**

  
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

**Dr. Artur Andriolo**

  
Convidado(a) / UFJF / Juiz de Fora - MG

**Aluno (a): Eduardo Moraes Arraut**

**São José dos Campos, 25 de Abril de 2008**



*Dedico às três pessoas mais importantes da minha vida: meu pai Jose Luis, minha mãe Silvia e minha irmã Josi. Dedico também ao meu Tio-avô Carlos (in memoriam).*



## AGRADECIMENTOS

O tempo que se acreditava absoluto foi descrito como feito de instantes que se transformam com a velocidade. No mundo do dia a dia o tempo vivido é feito de instantes também, mas instantes que parecem se transformar com a força das experiências. Quanto mais intenso se vive, mais rapidamente o tempo passa. Neste doutorado de quatro anos, eu, pensador meio vagaroso que sou, sinto como se tivesse vivido uns oito em dois. Os oitos se manifestam principalmente nas freqüentes dores nos ombros, no estômago, na barriga que aumentou e nas poucas noites de insônia e nas muitas mal dormidas. Os dois na sensação que tenho de ter vivido tudo a passos largos (orbitais...), de ter inserido no meu mapa interior em tão pouco tempo algumas das experiências maravilhosas que o INPE, a Amazônia e Oxford me propiciaram. São muitos a quem devo agradecer por isso.

Em primeiro lugar agradeço à Dra. Evelyn Novo. Ela me guiou em muitas das etapas do trabalho mostrando interesse e envolvimento e me tratou com tamanho respeito e atenção que sempre servirá de exemplo e motivação para minha carreira.

Agradeço também ao José Eduardo Mantovani por ter participado de várias das etapas do trabalho, desde a conversa inicial na qual decidimos que o peixe-boi seria um objeto de estudo interessante.

Agradeço à Miriam Marmontel do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá que me deu apoio essencial em campo, participou de várias discussões e generosamente cedeu os dados de deslocamento dos peixes-boi que tanto esforço lhe custaram.

Agradeço ao Dr. Robert Kenward do Center for Ecology and Hydrology do Reino Unido pelas discussões produtivas sobre a pesquisa do meu doutorado e pelas outras mais gerais sobre ecologia e conservação.

Agradeço ao Prof. Dr. David Macdonald da *Wildlife Conservation Research Unit* (WildCRU) da Universidade de Oxford por ter me acolhido tão bem em seu grupo e por ter dado ideias interessantes para o trabalho.

Agradeço à CAPES por ter financiado minha bolsa de doutorado por esses quatro anos e a bolsa para realizar o sanduíche no Reino Unido.

Agradeço ao Projeto GEOMA – Áreas Alagáveis que financiaram os trabalhos de campo.

Agradeço muito a meu pai, José Luis Arraut, por me dar apoio incondicional e participar da minha vida com tanto entusiasmo e dedicação. É o melhor amigo que tenho.

Agradeço a minha mãe Silvia Moraes por, também, me apoiar tanto e por ser pessoa tão corajosa profissionalmente e ao mesmo tempo tão dedicada na vida pessoal. É um exemplo de força interior pra mim.

Agradeço a minha irmã Josi por ser parte tão importante de tantos aspectos da minha vida, inclusive o acadêmico. Sua forma de pensar é em alguns aspectos complementar à minha e por isso as conversas com ela me ajudam a ver os assuntos que estou pesquisando por perspectivas que não conseguiria enxergar sozinho.

Agradeço também ao Henrique, cunhado que adquiri durante o doutorado e por quem já desenvolvi afinidade.

Agradeço aos Drs. Yosio Shimabukuro, Gilberto Câmara e Dalton Valeriano por terem sido parte das minhas Bancas de qualificação e proposta e terem me dado valiosos conselhos na ocasião.

Agradeço aos Drs. Antônio Miguel Vieira Monteiro e Camilo Rennó pela prontidão em ajudar nas horas importantes.

Agradeço à Sammya Agra D'Angelo do Grupo de Ecologia de Áreas Alagáveis Amazônicas do Max Planck no INPA por sua paciência, delicadeza e boa vontade ao me ajudar na identificação das espécies de macrófitas que encontrei em campo.

Agradeço aos Drs. Bob Bonde, Jim Reid e Benjamin Morales Vela por me receberem tão bem em Gainesville e pelas valiosas discussões científicas.

Agradeço à Etel, Vera, Lucas, Cris, Tamara e Naiara por serem tão prestativos e atenciosos.

Agradeço à Camila Aguirre pela convivência tão harmoniosa no tempo em que moramos juntos.

Agradeço ao Conrado Rudorff por ter encarado os trabalhos das disciplinas junto comigo de forma tão harmoniosa.

Agradeço ao Claudio Barbosa por sua importante participação nas primeiras fases do meu doutorado ao ceder dados para os trabalhos das disciplinas e dar valiosos conselhos.

Agradeço ao Antônio por ter sido um assistente de campo excelente e ao Beré e ao Zé Raimundo por terem trabalhado muito bem nas vezes que saímos juntos.

Agradeço ao Seu Sabá, Seu Jota, Seu Mizinho, Seu França (o Gago), Seu E... ao Josimar pelas tantas conversas sobre assuntos que variaram desde peixe-boi até futebol e novela.

Agradeço aos estagiários do IDSM Carolina, Roberta, Gabriel, Bia e Bruno pela importante ajuda em campo.

Agradeço à Liana Anderson e ao Luis Aragão, um casal de pessoas de primeira qualidade. Eles me receberam muito bem e foi com eles que tive as melhores noites e tardes de domingo em Oxford. Vida longa à Singoumalti back band!

Agradeço ao Paul Johnson do WildCRU por seus conselhos de estatística e sua forma atenciosa de lidar com as pessoas.

Agradeço à Marion Valeix, à Laura Fasola (Lali), ao Thomas Merckx, à Ruth Kanski e ao Silvio Marchini pelas muitas noites interessantes no grupo de estudos e em passeios e festas por Oxford.

Agradeço a Dra. Laura Hess por gentilmente ter cedido as imagens originais JERS-1.

## RESUMO

O Peixe-boi Amazônico *Trichechus inunguis* é um mamífero aquático herbívoro que se distribui por toda a bacia amazônica. Por centenas de anos serviu de alimento para as populações locais e segundo relatos históricos abundava nos Rios Solimões e Amazonas durante o Brasil Colônia. Mas, no final do século XX, após três décadas de caça comercial em que foram documentadas as mortes de pelo menos oitenta e sete mil animais, tornou-se provavelmente raro e certamente extremamente difícil de ser visto na natureza. Atualmente encontra-se incluído na categoria Vulnerável (alto risco de extinção na natureza) da IUCN *Red List of Threatened Species*. Apesar disso, o conhecimento científico incipiente da espécie no ambiente natural reprime a adoção de medidas que visem sua conservação. Neste trabalho, parte do Projeto GEOMA - Áreas Alagáveis, os deslocamentos de 10 machos rastreados por radiotelemetria VHF na região das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e Amanã foram analisados à luz de uma caracterização espaço-temporal do hábitat. Respondeu-se por que possuem duas áreas de vida, uma nos lagos da planície de inundação durante a água alta e outra no lago de terra-firme Amanã durante a água baixa, e o que desencadeia o processo migratório entre elas. Os dados de deslocamento foram os mesmos usados por Marmontel et al. (dados não publicados) que com base neles haviam descoberto a migração. A hipótese inicial foi que permanecem nos lagos da planície devido à maior quantidade de alimento (macrófitas aquáticas emergentes), porém migram na vazante para fugir da grande redução no espaço aquático que ali ocorre quando a água baixa. A migração seria desencadeada por um nível de água crítico que determinaria a profundidade mínima a partir da qual seria impossível passar pelo(s) ponto(s) mais raso(s) da(s) rota(s). O ambiente foi caracterizado em cada uma das quatro fases do pulso de inundação do Rio Solimões. A curva média  $p_M$  de 10 anos da hidrógrafa e de sua derivada  $p'_M$  foi usada para criar uma definição objetiva para os períodos da alta e da baixa, e por consequência também para os da vazante e da enchente. Foi criado um modelo batimétrico dos lagos e rotas de migração e as bandas 3, 4 e 5 do Landsat-TM restauradas e do Landsat-ETM+ fundidas com a pancromática, ambas para 15m, foram usadas para determinar a variação espaço-temporal nas áreas cobertas por macrófitas emergentes, floresta e água. Com as classificações das imagens foram geradas as informações para a análise de hábitat. Para esta análise, os movimentos diários foram separados dos sazonais por meio de um detector vetorial de dispersão e em seguida as localizações que os representavam foram usadas para calcular as áreas de vida de cada indivíduo. Por meio de modelos lineares generalizados mostrou-se que cada animal tinha uma área de vida de água alta e outra de água baixa ( $R^2=98,87\%$ ,  $p=0,001$ ) e comprovou-se a associação dos indivíduos com as macrófitas aquáticas ( $R^2=98,62\%$ ,  $p=0,001$ ), as quais selecionam ( $F(2;5GL)=7,56$ ;  $p=0,04$ ). Comprovou-se também que a maior redução na área alagada nos lagos da planície de inundação ( $R^2=98,76\%$ ,  $p=0,001$ ) explicava porque não permaneciam ali na água baixa. Mais ainda, a análise sugere que na água baixa o Lago Amanã também é local de concentração de animais de outras regiões da planície. Mostrou-se ainda que em um mesmo ano todos os animais iniciaram a migração da vazante em um intervalo de no máximo dois dias e que há um dia  $t$  que corresponde a um mínimo de  $p'_M$  e a uma inflexão de  $p_M$  antes do qual os 11 eventos de início da migração ocorreram. Após este dia há pontos da rota que ficam rasos demais e as chances de uma migração com sucesso provavelmente terminam.

Expandindo a escala de observação por meio de informações sobre a dinâmica de inundação e de crescimento das macrófitas derivadas da classificação de imagens JERS-1 por Hess et al. (2003), percebeu-se que na resolução disponível o ambiente na área de estudo se repete por toda a Amazônia Ocidental. Este fato permitiu levantar a hipótese de que os lagos de terra-firme sejam abrigo de peixes-boi no período de água baixa em toda a região. Esta hipótese é apoiada por informações que mostram que as maiores matanças de peixes-boi documentadas nas últimas décadas ocorreram nestes lagos. Os resultados permitem recomendar que seja feito um levantamento dos lagos de terra-firme que ainda abrigam peixes-boi para que alguns indivíduos sejam rastreados e as rotas de migração e as áreas de alimentação determinadas. À área que englobe as áreas de vida e as rotas migratórias deve-se adicionar uma faixa marginal (tampão) para que seja fixado o limite de uma Unidade de Conservação (UC). O fato da área abrangida pelos animais rastreados neste estudo exceder 1 milhão de hectares indica que qualquer UC que tenha como um dos fins a conservação do Peixe-boi Amazônico tem o tamanho de uma Megareserva.

# MIGRATION OF THE AMAZONIAN MANATEE: AN APPROACH BY MEANS OF REMOTE SENSING, RADIOTELEMETRY AND GEOPROCESSING

## ABSTRACT

The Amazonian manatee *Trichechus inunguis* is an aquatic herbivorous mammal distributed throughout the entire Amazon basin. For hundreds of years the species has been serving as part of the diet of the native population and historical accounts show that these animals abounded in the River Solimões and Amazonas during Colonial Brazil. In the 20th century, however, after three decades of intensive commercial hunting during which over eighty seven thousand animals were killed these animals probably became rare and certainly became extremely difficult to be seen in the wild. At present the species is included in the Vulnerable category of the IUCN Red List of Threatened Species. In spite of this, scientific knowledge of the species in its natural environment is incipient which prevents actions that aim at its conservation. In this work, which is part of the GEOMA – Flooded Areas Project, the movements of 10 animals tracked with VHF telemetry in the Mamirauá and Amanã Sustainable Development Reserves were analyzed in light of a spatial-temporal characterization of their hábitat. It was shown that they possess seasonal home ranges, and why, and how the migratory process starts. This knowledge was used to suggest the next conservation measures for the species. Tracking data were the same used by Marmontel et al. (unpublished data) that based on them had discovered the migration. The initial hypothesis was that they remain in the floodplain lakes during the high-water season because there they find greater abundance of food (emergent aquatic macrophytes), and that they migrate to *terra-firme* lake Amanã in the low water in search of shelter. The migration process would be initiated by a critical water level that determines the minimum depth below which it is impossible to bypass the shallowest place(s) in the route. The environment was characterized in each of the four floodpulse phases. The 10-year average curve  $p_M$  of the hydrograph and its derivative  $p'_M$  were used to create an objective definition for the high and low periods, and as a result also for the lowering and rising water periods. A bathymetric model was created to study lakes and migration routes in the different phases of the floodpulse. Bands 3, 4, and 5 of Landsat-TM restored and Landsat-ETM+ fused with the panchromatic, both to 15m, were used to determine the areas covered with macrophytes, forest and open water. With the information generated via the classifications the hábitat maps were created. For the hábitat analysis, daily movements were separated from seasonal movements by means of a dispersal detector and then locations that represented the first were used to calculate the home ranges of each individual. By means of General Linear Models (GLM) it was shown that each animal had a high and a low water home range ( $R^2=98.87\%$ ,  $p=0,001$ ) and that in the high water they are found in association with macrophytes ( $R^2=98,62\%$ ,  $p=0,001$ ), which they select ( $F(2;5GL)=7,56$ ;  $p=0,04$ ). It was also shown that the greater reduction in the flooded area in floodplain lakes explained why they did not stay there

during the low water ( $R^2=98,76\%$ ,  $p=0,001$ ). Moreover, the analysis suggests that in the low water Lake Amanã is a concentration place for animals from other nearby areas of the floodplain. It was also shown that in a given year all animals initiated migration in a time window of not more than two days and that there is a Day  $\tau$  that corresponds to a minimum of  $p'_M$  and an inflection of  $p_M$  before which all eleven migration events began. After this day there is a place in the migration route that becomes too shallow for the animals to bypass and the chances of a successful migration probably end. Expanding the scale of observation through information on the flooding dynamics and aquatic macrophytes' growth derived from the JERS-1 by Hess et al. (2003) images, it was observed that in the available resolution the environment in the study area is similar throughout all the floodplain of Rivers Solimões and Amazonas. This allowed to put forward the hypothesis that *terra-firme* lakes are the manatee's main shelter in the low water throughout this entire region. This hypothesis is supported by the fact that the greatest manatee killings in recent times occurred in these lakes during the low water. It is thus suggested that effort should be directed at assessing the species' situation in *terra-firme* lakes during this phase of the floodpulse. The results permit the recommendation that an assessment of which *terra-firme* lakes still hold manatee populations should be carried out. Based on this assessment, a lake should be chosen and the animals that visit it captured and tracked so that the feeding areas in the high water could be determined. To the area that encompassed their seasonal home ranges and migration routes a buffer zone should be added to establish the minimum size of any reserve that aims at conserving Amazonian manatees. The fact that the area necessary to encompass the animals in this study exceeds 1 million hectares suggests that the protected area would fall into the Megareserve category.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1.1 Organização do documento.....	27
1.2 Objetivo .....	27
1.2.1 Objetivos específicos .....	27
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>29</b>
2.1 O Peixe-boi Amazônico.....	29
2.1.1 Alimentação .....	30
2.1.2 Informações prévias sobre os deslocamentos da espécie no ambiente natural .....	30
2.2 Radiotelemetria.....	32
2.3 Área de vida.....	33
2.4 Migração do Peixe-boi Amazônico .....	35
2.5 Ambiente e hábitat.....	36
2.5.1 Análise composicional de hábitat .....	37
2.6 A planície de inundação .....	38
2.7 Sensoriamento remoto orbital das macrófitas aquáticas emergentes .....	39
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
3.1 Área de estudo .....	42
3.1.1 Critérios usados para delimitar a área de estudo.....	47
3.2 Hidrógrafas .....	47
3.2.1 Metodologia .....	47
3.3 Modelo batimétrico .....	48
3.3.1 Dados batimétricos.....	48
3.3.2 Metodologia .....	49
3.3.2.1 Planejamento dos perfis transversais .....	50
3.3.2.2 Processamento dos dados.....	51
3.4 Sensoriamento remoto dos bancos de macrófitas aquáticas.....	53
3.4.1 Dados orbitais .....	53
3.4.2 Dados de campo para treinamento e avaliação das classificações.....	53
3.4.3 Metodologia .....	56
3.4.3.1 Definição das imagens para geração dos mapas de hábitat .....	56
3.4.3.2 Pré-processamento .....	58
3.4.3.3 Distinção entre macrófitas e agricultura: recorte da área de estudo por meio de máscara vetorial .....	59
3.4.3.4 Análise visual - comparação inter-anual das imagens adquiridas em cada uma das quatro fases da hidrógrafa.....	60

3.4.3.5	Análise visual - comparação inter-sazonal / intra-anual .....	64
3.4.3.6	Classificação .....	66
3.4.3.6.1	A acurácia da classificação da vazante foi relativa à sua função da classificação na análise de hábitat .....	67
3.4.3.7	Edição matricial .....	67
3.4.3.8	Mapas de hábitat .....	67
3.5	Deslocamentos dos animais.....	68
3.5.1	Dados de rastreamento VHF.....	68
3.5.2	Metodologia .....	68
3.5.2.1	Captura.....	68
3.5.2.2	Experimento de campo para determinar acurácia posicional dos dados.....	70
3.5.2.3	Pré-processamento .....	71
3.5.2.4	Associação de variáveis às localizações .....	72
3.5.2.5	Separação dos movimentos diários dos sazonais.....	73
3.5.2.6	Cálculo das áreas de vida.....	73
3.5.2.7	Análise de hábitat.....	74
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>80</b>
4.1	Introdução.....	80
4.2	O pulso de inundação do Rio Solimões na região de estudo.....	80
4.2.1	Definição das quatro fases da hidrógrafa.....	85
4.2.2	Características do pulso determinadas a partir da análise da hidrógrafa .....	87
4.3	Modelo batimétrico .....	87
4.4	Mapas de hábitat.....	91
4.5	O ambiente do ponto de vista do peixe-boi .....	94
4.6	Análise de hábitat .....	96
4.6.1	Argumentação a favor do lago de terra-firme Amanã como principal refúgio dos animais rastreados na água baixa .....	103
4.6.2	Porque, na região do médio Rio Solimões, o peixe-boi migra .....	106
4.6.3	Hipótese dos lagos de terra-firme como principais destinos migratórios do peixe- boi em toda a Amazônia Ocidental .....	107
4.6.4	Diferenças na amplitude de variação da cota entre lagos de terra-firme: hipótese da importância da distância do lago para o Rio Solimões como fator de sua escolha pelo peixe-boi na água baixa.....	108
4.7	O desencadeamento do processo migratório .....	111
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>116</b>
5.1	Comentário sobre o efeito do pulso de inundação nos lagos de planície e de terra- firme.....	116
5.2	Sensoriamento remoto das macrófitas aquáticas .....	117

5.3 Observações sobre a amostra usada para a análise de hábitat e a validade dos resultados.....	119
5.4 A migração do Peixe-boi Amazônico.....	121
5.4.1 A ecologia da migração .....	121
5.4.2 A evolução do comportamento migratório .....	124
5.4.3 Fidelidade aos destinos migratórios.....	126
5.5 Implicações para Conservação .....	127
5.5.1 Lagos de terra-firme parecem ser o recurso limitante para a Conservação do Peixe-boi Amazônico.....	127
5.5.2 Áreas de vida sazonais do peixe-boi e a criação de Megareservas na Amazônia.....	128
5.5.3 O Peixe-boi Amazônico no contexto das mudanças globais: aumento da frequência de ENSO implicaria em maior mortalidade de animais.....	129
5.5.4 Re-introdução de animais no ambiente natural.....	130
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>132</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>134</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>145</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>149</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Peixe-boi Amazônico. Fêmea com filhote nascido em cativeiro no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). .....	30
Figura 3.2 - Área de estudo com indicação das rotas migratórias (linhas coloridas com setas nas pontas indicando direção da migração). Em cima, localização na Amazônia (Fonte: Google Earth); abaixo, imagem Landsat-TM RGB/543 de 2/7/2002 (início da vazante). Quadrados coloridos indicam áreas mostradas na Figura 3.2, cruzeiros brancos as posições das hidrógrafas mencionadas nas Seções 3.2.1 e 4.2, mancha avermelhada indica região da planície de inundação do Rio Solimões. ....	49
Figura 3.3 – Detalhes das sub-regiões da área de estudo indicadas na Figura 3.1. Composição Landsat-TM RGB/543 de 16/12/1996 (enchente). Linhas tracejadas são indicações aproximadas do local. ....	50
Figura 3.4 – Distância aproximada entre os pontos amostrais do levantamento batimétrico. ....	52
Figura 3.5 - Perfil batimétrico como visto no aplicativo Sonarviewer. ....	53
Figura 3.6 – Esquema metodológico com passos envolvidos na geração do modelo batimétrico. ....	53
Figura 3.7 – Exemplo de perfis transversais realizados durante o levantamento batimétrico. ....	55
Figura 3.8 – Pontos de amostragem dos bancos de macrófitas na água alta de 2006 usados na classificação das imagens. ....	58
Figura 3.9 – Pontos de amostragem dos bancos de macrófitas amostrados na vazante e na água baixa de 2005 usados na classificação das imagens. ....	59
Figura 3.10 – Esquema metodológico da geração dos mapas de hábitat. ....	60
Figura 3.11 – Sobreposição temporal dos dados de telemetria com as imagens Landsat-TM e a hidrógrafa a partir da qual foram escolhidas as imagens para análise. ....	61
Figura 3.12 – Boca do Mamirauá, RDSM. a) recorte de imagem TM-Landsat-5 de 10/06/1997, composição 543 (RGB), restaurada para 30m, b) mesma imagem restaurada para 15m. c) foto tomada no local indicado pela seta branca na água alta de 2006. Seta branca indica banco de aproximadamente 2 hectares que pode ser visto nas duas imagens. Setas amarelas indicam alguns dos bancos menores que foram mais bem identificados na imagem restaurada para 15m. ....	63
Figura 3.13 – 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 indicam a área apresentada em maior aproximação na Figura 3.13. ....	65
Figura 3.14 – Aproximação das áreas indicadas por um quadrado amarelo rajado na Figura 3.12. (a) e (b) são composições RGB543 que correspondem às imagens da água alta de 1996 e de 1997, respectivamente. De (c) a (f) são fotos nas orientações norte, leste, sul e oeste, respectivamente. (g) e (h) são fotos do quadrante 1x1m com quadrados	

menores de 10x10cm. As fotos foram tiradas no local demarcado por um círculo vermelho em (a) e (b). .....	66
Figura 3.15 – 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). .....	68
Figura 3.16 – Fotos dos dois locais assinalados por um quadrado amarelo na Figura 3.15. Essas fotos foram tomadas nos dias 25/5/06 (final da enchente) e 12/10/05 (água baixa), respectivamente. ....	69
Figura 3.17 – Barco Mamirauá, usado na captura de 2005 no Lago Amanã. ....	72
Figura 3.18 – Fixação do transmissor no Chico Rola. ....	73
Figura 3.19 – Esquema metodológico da análise do hábitat. ....	79
Figura 4.20 – Hidrógrafa nos Lagos Tefé, Mamirauá e Amanã, medido por réguas in loco. Dados coletados e cedidos pelo IDSM. ....	84
Figura 4.21 - – Distância dos Lagos Amanã e Tefé para Rio Solimões e o fato do primeiro estar na margem norte do Solimões e o segundo na margem sul podem explicar diferença na amplitude de variação da cota nestes dois lagos de terra-firme....	85
Figura 4.22 – Dez ciclos de pulsos de inundação no Lago Mamirauá (em cores) e pulso médio (pM) em preto. ....	86
Figura 4.23 – Pulso médio (pM) de 10 ciclos e desvio padrão de pM no Lago Mamirauá. ....	87
Figura 4.24 – Primeira derivada da cota média (p̂M) e desvio padrão de p̂M no Lago Mamirauá para os mesmos 10 ciclos apresentados nas duas figuras anteriores. $\tau$ denota o valor mínimo atingido pela derivada, que corresponde ao ponto de inflexão da curva da hidrógrafa da vazante. ....	87
Figura 4.25 – Não é possível prever a cota mínima de uma baixa a partir da cota máxima da alta anterior. ....	88
Figura 4.26 – Fatiamento do modelo batimétrico calibrado com a cota correspondente à alta do ano 2002 (19 junho) nos Lagos Mamirauá (13,43m) e Amanã (9,59m). Notar como a região da cabeceira do Mamirauá e dos Lagos Acácio, Saracura e Anágua tem profundidade semelhante ao Amanã. No geral, no entanto, o Mamirauá tem profundidades bem mais variáveis. ....	92
Figura 4.27 – Fatiamento do modelo batimétrico calibrado com a cota correspondente à abaixa do ano 2005 (19 outubro) nos Lagos Mamirauá (2,1m) e Amanã (-0,38m). Notar como apesar de ambos estarem bem rasos o Amanã possui áreas bem mais extensas com profundidades na classe de 2 a 4m. ....	93
Figura 4.28 – Sub-quadrantes do mapa de hábitat da água alta, mostrando região do Lago Mamirauá (a) e do Lago Amanã (b). ....	95
Figura 4.29 - Sub-quadrantes do mapa de hábitat da baixa, mostrando região do Lago Mamirauá (a) e do Lago Amanã (b). ....	96

Figura 4.30 – Comparação, por indivíduo, da cota média das áreas de vida dos grupos P e F. ....	100
Figura 4.31 - Comparação da porcentagem de cobertura de macrófitas durante o período de cotas mais altas nas áreas de vida dos grupos P e F, por indivíduo (dados mostrados em porcentagem para facilitar visualização dos valores pequenos). ....	101
Figura 4.32 - Comparação da redução da proporção de cobertura de macrófitas nas áreas de vida dos grupos P e F. ....	101
Figura 4.33 – Maior porcentagem de macrófitas nas áreas de vida de água alta durante a água alta do que se animais estivessem, durante a água alta, em suas áreas de vida de água baixa. Áreas de vida dos indivíduos Matintin (ID=5, em azul) e Zé Sabazinho (ID=4, em vermelho); (a) lagos Acácio/Saracura (planície) (b) Rio Japurá, (c) Lago Castanho (planície) (d) Lago Amanã (terra-firme); todas sobrepostas ao mapa de hábitat da água alta. ....	102
Figura 4.34 - Comparação da redução da área alagada das áreas de vida dos grupos P e F, por indivíduo. ....	104
Figura 4.35 – Comparação da redução da área alagada das áreas de vida dos grupos P e F. ....	105
Figura 4.36 – Redução na área alagada da alta para a baixa na área de vida do Sabá Uixi (ID=5). Em (a) é mostrada a área de vida dele no Lago Piranha com o mapa de hábitat da água alta e (c) com o mapa de hábitat da água baixa; (b) a área de vida dele no Lago Amanã, com o mapa de hábitat da água alta e (d) com o da água baixa. ....	106
Figura 4.37 – Classificação de imagem JERS-1 da água alta. Setas amarelas indicam lagos de terra-firme mais distantes e setas laranjas lagos mais próximos do Rio Solimões. Hess et al. (2003). ....	112
Figura 4.38 – Classificação de imagens JERS-1 da baixa. Setas têm o mesmo significado das mostradas na Figura 4.20. Fonte: Hess et al. (2003). ....	113
Figura 4.39 - Sincronia nas datas de início da migração na vazante e variação de menos de 2m (forma vermelha no meio da figura) na cota de saída do Mamirauá. Setas apontam para a cota no dia de início da migração. Cores diferentes indicam indivíduos diferentes e a abreviatura do nome do animal aparece ao lado da primeira seta que o indica. Setas com linhas inteiras = saída do Mamirauá sem parada no Rio Japurá; setas pontilhadas = deixou o Mamirauá, ficou alguns dias na região do Rio Japurá próxima à Boca do Mamirauá e então desapareceu. ....	115
Figura 4.40 – Início da migração da vazante do Mamirauá dá-se sempre antes do dia 1. Curva de p'M com o período que todos os indivíduos deixaram a região do Mamirauá demarcada pela elipse verde. ....	116
Figura 4.41 – ‘Gargalo’ da rota migratória entre o Mamirauá e o Amanã. Fatiamento do modelo batimétrico calibrado para a cota mínima (8,51m) em que um animal (Matintin) foi encontrado no Mamirauá na vazante. ....	117



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Exemplo dos dados originais das hidrógrafas dos Lagos Tefé, Mamirauá e Amanã.....	51
Tabela 3.2 – Pontos de coleta de dados de macrófitas aquáticas emergentes por lugar e fase do pulso. ....	59
Tabela 3.3 – Imagens usadas para caracterização do hábitat e fases do pulso de inundação às quais correspondem. ....	61
Tabela 3.4 – Nome atribuído a cada área de vida durante a análise e número de localizações usadas para calcular cada uma. As primeiras três letras são uma abreviação do nome do indivíduo e as segundas três uma abreviação do nome do lugar onde fica a área de vida. ....	77
Tabela 4.5 – Animais rastreados no Amanã e/ou no Paranã do Castanho, este último a rota migratória na vazante para o Amanã. ....	108



## 1 INTRODUÇÃO

Uma das primeiras grandes expedições na América do Sul, chamada posteriormente de ‘Novo descobrimento do Rio Amazonas’, teve início no dia 16 de fevereiro de 1639. Critóbal de Acuña e Andrés de Artieda, na companhia do Capitão-Mor Pedro Teixeira, iniciaram uma viagem de 10 meses pelo Rio Amazonas, desde sua nascente em São Francisco de Quito, no Peru, até a sua foz, na cidade do Pará . A intenção era anotar:

“... com especial cuidado, tudo o que nele há digno de advertência; depois de terem marcado seu nível, assinalado pelos seus nomes os rios que nele deságuam, identificado as nações que vivem em suas margens, comprovado sua fertilidade, experimentado os alimentos ali existentes, sentido o seu clima, entrado em contato com os nativos.... e, finalmente, depois de não terem deixado sem averiguação nada que nele se contivesse e de que não pudessem ser testemunhas de vista”.

Esse interesse por tudo o que pudesse ser visto no Brasil tinha sua origem principal no objetivo de explorar as riquezas naturais do país. Essa exploração, como se descobriu nos séculos seguintes, viria a causar uma mudança paradigmática na forma como a natureza era encarada nos territórios das Américas que hoje em dia formam o Brasil e outros países da América Latina.

Talvez por terem sua origem nas regiões temperadas onde a diversidade de espécies é muito menor, os europeus não souberam lidar com a riqueza da biodiversidade local. Aos poucos, porém incessantemente, passaram a levar daqui espécies de interesse comercial de forma tão intensiva e ignorante à dinâmica de recuperação do sistema que levaram à devastação de florestas e à extinção progressiva de espécies (ex. Pau-Brasil *Caesalpinia echinata*). Aliado a isto, a política de matar ou escravizar os índios levou ao desaparecimento da maior parte do conhecimento milenar que os povos locais possuíam do ambiente natural.

Desde que nas últimas quatro décadas a *World Conservation Union* passou a documentar as espécies extintas e ameaçadas de extinção e incluí-las na *IUCN Red List of Threatened Species*. No Brasil, 6 espécies animais foram declaradas extintas, 1 extinta na natureza, 343 estão incluídas nas categorias Criticamente em Perigo (CP), em Perigo (P) e Vulnerável (V) e 3,249 encontram-se incluídas em alguma das categorias

que merecem preocupação da sociedade. Por sua vez, dentre as de plantas 5 foram declaradas extintas, 1 extinta na natureza, 382 nas categorias CP, P e V e 599 em alguma das categorias que merecem preocupação da sociedade (WCU, 2008). Esses números, no entanto, são estimativas mínimas porque tomam como base o número de espécies conhecidas. Segundo Lewinsohn e Prado (2005), o número total de espécies conhecidas no Brasil é de 170 a 210 mil, porém os autores estimam que o número total de espécies no país é de 1,8 milhões (intervalo de confiança de 1,4 a 2,4 milhões).

A Amazônia apresenta um dos maiores desafios e ao mesmo tempo uma das maiores oportunidades para Conservação da sociedade atual (Peres, 2005). Segundo a ex-ministra Marina Silva:

“...O que se fizer da Amazônia será, ousado dizer, o padrão de convivência futura da humanidade com os recursos naturais, a diversidade cultural e o desejo de crescimento. Sua importância extrapola os cuidados merecidos pela região em si, e revela potencial de gerar alternativas de resposta inovadora ao desafio de integrar as dimensões social, econômica e ambiental do desenvolvimento...” (Silva, 2008).

Claramente são necessárias estratégias de curto, médio e longo prazo para abordar a questão Amazônica. Dentre as estratégias de curto prazo, as evidências indicam que a instituição de Unidades de Conservação reduz o desmatamento, mesmo quando não é possível realizar fiscalizações frequentes nas áreas (Ferreira et al. 2005).

Em uma tentativa de abordar o problema Amazônico, o governo brasileiro, através do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), criou a Rede Temática de Pesquisa em Modelagem Ambiental da Amazônia – GEOMA, dentro da qual se insere o presente estudo.

O Peixe-boi Amazônico *Trichechus inunguis* é um mamífero aquático herbívoro que se distribui por toda a bacia amazônica (Figura 1.1). Este trabalho trata da ecologia de sua migração e de como o entendimento deste comportamento pode subsidiar ações para a conservação da espécie e seu ambiente. Propõe-se, dentre outras coisas, a estratégia para a criação de qualquer unidade de conservação que tenha a proteção do peixe-boi como um de seus objetivos.



Figura 1.1- Peixe-boi Amazônico. Fêmea com filhote nascido em cativeiro no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).

### **1.1.1 Organização do documento**

O primeiro capítulo é uma introdução ao contexto geral dentro do qual a pesquisa foi desenvolvida, o segundo apresenta as principais bases teóricas, o terceiro descreve os materiais e métodos, o quarto os resultados e as hipóteses derivadas deste trabalho, no quinto é apresentada a discussão dos resultados e as implicações deles para a conservação da espécie e de seu ambiente, no sexto são apresentadas as conclusões e no sétimo são feitas as considerações finais.

### **1.2 Objetivo**

O objetivo deste trabalho foi demonstrar quantitativamente a existência de áreas de vida sazonais do peixe-boi e identificar os fatores que as explicam, para a partir deste conhecimento sugerir os próximos passos para ações que visem a conservação da espécie e de seu ambiente.

#### **1.2.1 Objetivos específicos**

- Analisar as hidrógrafas dos lagos da região em busca de características potencialmente importantes para a migração do peixe-boi.
- Entender como o espaço físico aquático varia em função do pulso de inundação, criando para tal um modelo batimétrico dos lagos e rios usados pelos animais.

- Caracterizar a variação sazonal do principal alimento (macrófitas aquáticas emergentes) e da área alagada por meio de imagens Landsat-TM e ETM+ e das informações geradas pela análise das curvas e do modelo batimétrico.
- Calcular as áreas de vida dos animais da amostra. Para tal, separar os movimentos diários dos sazonais e fazer um estudo prévio dos algoritmos disponíveis para escolher o mais adequado às características dos dados e ao tipo de análise planejada.
- Realizar uma análise quantitativa do hábitat por meio de modelos estatísticos.
- Identificar formas de usar o conhecimento gerado para subsidiar ações concretas que visem a Conservação do peixe-boi e de seu ambiente natural.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.10 Peixe-boi Amazônico

O Peixe-boi Amazônico pertence à ordem Sirenia, atualmente dividida em duas famílias: 1) Trichechidae, que além do *Trichechus inunguis* inclui o peixe-boi das Antilhas *Trichechus manatus manatus*, o da Flórida *T. manatus latirostris* e o do oeste da África *Trichechus senegalensis*; 2) Dugongidae, que inclui o Dugongo *Dugong dugon* e a já extinta *Steller's sea cow Hydrodamalis gigas* (.). Dentre todos os membros desta ordem, a espécie amazônica é a de menor tamanho. Pode atingir 3m de comprimento e pesar 450kg. É também a única que ocorre apenas em água doce (.).

Sua área de ocorrência conhecida inclui toda a bacia amazônica, desde a Colômbia, o Peru e o Equador até a Ilha de Marajó no Brasil. Relatos históricos indicam que esses animais abundavam nos grandes rios.

“... dentre todos os pescados, aquele que, como um rei, se assenhoreia do das Amazonas, e o enche todo, desde seu começo até quando deságua no mar, é o peixe-boi, que pelo sabor já justifica o nome, pois não há quem o coma que não o tenha por boa carne.” (

)

A caça do peixe-boi amazônico foi documentada desde pelo menos o século XVII. Neste tempo era feita de forma artesanal e a demanda por parte das grandes cidades era pequena. Durante os séculos XIX e XX, entretanto, com a implantação da caça comercial vários milhares de animais foram mortos a cada ano (). Em contraposição ao que dizem os relatos históricos, atualmente são animais extremamente ariscos e sutis, bastante difíceis de serem vistos na natureza, o que dificulta o entendimento de sua biologia, a determinação de seu real status populacional e talvez mascare um pouco sua fragilidade.

Como consequência da super exploração, a espécie encontra-se atualmente listada como vulnerável em dois dos mais importantes documentos sobre fauna ameaçada: a Lista Nacional das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (IBAMA, 2008) e a 2002 IUCN *Red List of Threatened Species* (WCU, 2008).

O intuito destas listas é representar o status da espécie como um todo, em sua área de ocorrência. Baseiam-se mais em estimativas do número de animais mortos e na sua capacidade de recuperação do que realmente em censos populacionais - difíceis para esta espécie. De fato, pouco se sabe sobre extinções locais e a sociedade até o momento ainda está muito distante de um nível de consciência suficiente para preservá-la. Frente à grande dificuldade de fazer censos, principalmente devido ao comportamento extremamente críptico destes animais, uma abordagem para o problema é o estudo do hábitat necessário para que sobreviva.

### **2.1.1 Alimentação**

O peixe-boi amazônico é um animal estritamente herbívoro. Ao contrário das espécies de Peixe-boi marinho, que se alimentam de plantas submersas, flutuantes e emergentes, nessa ordem de preferência, o peixe-boi da Amazônia prefere as emergentes, seguidas das flutuantes e por último das submersas (). 24 espécies de macrófitas aquáticas já foram identificadas em sua alimentação . Nas amostras do trato digestivo e nas fezes analisados por (), as duas espécies mais frequentes foram *Paspalum repens* e *Echinochloa polystachya*, ambas gramíneas emergentes com metabolismo do tipo C4 (Piedade et al. 1991). Segundo (), apesar dos animais terem uma alimentação generalista – 10 espécies de macrófitas na alta e 23 na baixa -, as gramíneas são o item alimentar mais importante, pois representam 96% de sua dieta.

No entanto, essas evidências não são suficientes para indicar preferência alimentar por parte dos animais, pois no ambiente em que o *T. inunguis* vive há ampla predominância de formas flutuantes ou emergentes de macrófitas aquáticas ().

### **2.1.2 Informações prévias sobre os deslocamentos da espécie no ambiente natural**

Os primeiros estudos do deslocamento foram realizados por (*Trichechus inunguis* (*Mammalia:Sirenia*). **Acta Amazônica**, v.11, n. 2, p. 247-254, 1981.

). Os autores capturaram um macho jovem e o mantiveram cativo por um período de 20 meses ao término do qual o marcaram com um rádio-transmissor VHF (frequência de 150mhz) para em seguida soltá-lo em um lago de igapó próximo de Manaus, AM. A soltura foi realizada no dia 7 de abril de 1978 (fase da enchente), e a partir desse momento realizaram um monitoramento intensivo durante 20 dias, quando então pararam de seguir o animal devido a limitações logísticas. Durante o rastreamento, observaram que o animal permaneceu a maior parte do tempo em áreas onde havia mais alimento. O alimento identificado era constituído de vegetação aquática emergente jovem às margens dos lagos, e os bancos flutuantes que vinham se expandindo à medida que a cota aumentava. O animal gastou em torno de 90% de seu tempo próximo a bancos flutuantes. Apesar da impossibilidade de extrapolar os resultados para animais ‘selvagens’ (i.e. nunca mantidos em cativeiro), já que o indivíduo rastreado passou aproximadamente metade de sua vida em cativeiro e foi solto em uma região desconhecida, os resultados mostraram que a técnica de rádio-rastreamento era uma solução prática para o estudo da ecologia de peixes-boi nas águas opacas da bacia Amazônica (*Trichechus inunguis* (Mammalia:Sirenia). **Acta Amazônica**, v.11, n. 2, p. 247-254, 1981.

).

No que talvez seja o mais completo estudo da distribuição e da movimentação de qualquer espécie da ordem Sirenia, pesquisadores da Flórida vêm investigando vários aspectos da biologia do *Trichechus manatus latirostris*. Com relação à movimentação, começaram rastreando os animais com transmissores VHF e desde 1985 vêm usando telemetria via satélite (UHF/ sistema Argos e GPS). Ao longo destes anos, identificaram habitats primários e secundários, rotas de migração, rotas de movimentação diurna e noturna e monitoraram a introdução de animais nascidos em cativeiro e a re-introdução de animais resgatados ( ; ; ;

LEVIN, S. The problem of pattern and scale in Ecology: the Robert H. MacArthur Award Lecture; ; .156p.

; ).

( ) acompanharam os deslocamentos de vários indivíduos do *T. m. latirostris* na costa Atlântica dos Estados Unidos da América. Observaram que os animais se deslocavam para o sul no inverno e para o norte no verão, e descobriram que o principal fator desencadeador da migração era a temperatura da água. Concluíram que o limite de ocorrência ao norte, onde o habitat parece ser de melhor qualidade, é ditado pela movimentação da massa de água oceânica de temperatura mais baixa, que se desloca para o norte no verão e para o sul no inverno. Além disso, observaram que a variação na temperatura ao longo de alguns dias, e não a temperatura absoluta, parece ser o fator mais importante na decisão de iniciar a migração. Nos animais estudados, a fidelidade aos habitats preferenciais foi muito alta. Retornaram sempre à mesma área de inverno

(mais ao sul do estado) e à mesma área de verão (mais ao norte); sendo a fidelidade ainda maior nesta última estação.

Todos esses estudos com o peixe-boi da Flórida tiveram apoio do governo, pois a espécie encontra-se protegida pelo *Federal Marine Mammal Protection Act* de 1992, pelo *Federal Endangered Species Act* de 1973 e pelo *Florida Manatee Sanctuary Act*. Conseqüentemente, eles vêm servindo de subsídio para a implantação de regras coerentes para a pesca e o turismo na região, tais como a delimitação dos locais onde o tráfego é permitido e a imposição de limites de velocidade para as embarcações, e para a criação de áreas de proteção para a espécie ().

## **2.2 Radiotelemetria**

Existem diferentes maneiras de se obter informações sobre os deslocamentos de animais: pelas fezes, pegadas, vocalizações, fazendo observações visuais diretas e rastreando-os por meio de equipamentos de radiotelemetria. Não há uma técnica melhor para todas as situações, e inclusive técnicas diferentes podem ser usadas para seguir um mesmo animal. Para animais de comportamento críptico ou que o ambiente torna muito difícil o deslocamento do pesquisador, ou aqueles pequenos demais para carregar marcadores conspícuos, a rádio-marcação é geralmente uma forma de coletar dados sistemáticos do comportamento e de alguns aspectos demográficos (Kenward, 2001). Por exemplo, enquanto censos que se baseiam em vocalizações dependem dos horários e da frequência com a qual os indivíduos emitem sons, ambos potenciais fontes de viés na amostragem, dados posicionais de animais marcados com radiotransmissores são coletados em horários pré-definidos pelo pesquisador sem que o estado comportamental afete a amostragem.

O princípio da radiotelemetria é a coleta de dados discretos do deslocamento contínuo de um animal. Assume-se que estes dados, quando coletados em quantidade suficiente e preferencialmente de forma sistemática, representam de forma adequada os deslocamentos.

Estudos baseados em radiotelemetria e de natureza descritiva foram usados para medir o tamanho de áreas de vida, identificar habitats preferidos pelos animais, as frequência de interação entre indivíduos, a frequência com que eram mortos ou matavam ou apenas o que faziam ao longo do tempo (Kenward, 2001). Mantovani (2002), por exemplo,

determinou as áreas de vida do Lobo-guará *Chrysocyon brachyurus*, da Jaguatirica *Leopardus pardalis* e da Onça pintada *Panthera onca* na região nordeste do Estado de São Paulo.

A radiotelemetria também pode ser usada para estudos demográficos. Kenward et al. (1999), por exemplo, criaram modelos de sobrevivência e reprodução do *Goshawk Accipiter gentilis* por faixa etária e descobriram que dentre os jovens a mortalidade de machos era maior do que a de fêmeas. Esses autores atribuíram a maior mortalidade dos machos às maiores dificuldades que enfrentavam para encontrar alimento, aliado ao fato de serem em média menores do que as fêmeas e possuírem por isto menos reservas de gordura.

### **2.3 Área de vida**

O conceito de área de vida existe desde 1909, e várias definições já foram propostas (). Talvez a mais difundida seja a usada por (Burt, 1943), também adotada por (White & Garrot, 1990): “ aquela área percorrida pelo indivíduo em suas atividades normais de coleta de alimento, reprodução e cuidado da prole”. Trata-se de um conceito que representa geométrica (um mapa) e quantitativamente (uma área) os padrões de ocupação do espaço pelos animais em um intervalo de tempo. O propósito desse conceito é possibilitar a delimitação da região geográfica necessária para a sobrevivência precisa para sobreviver, e caracterizar como esta se distribui dentro do espaço. Isso é importante tanto do ponto de vista do teste de hipóteses ecológicas (será que são generalistas ou seletivos em sua alimentação?), quanto do ponto de vista da conservação, pois dá subsídios para se estabelecer uma área adequada para proteção. Apesar da utilidade desse conceito, entretanto, ainda não há consenso sobre sua definição, menos ainda sobre como quantificá-lo.

A definição de (Burt, 1943), apresentada anteriormente, baseia-se na palavra ‘normal’ para quantificar os deslocamentos. Mas como estabelecer critérios objetivos e com base biológica para quantificar o que se considera ‘normal’, perguntam (White & Garrot, 1990)? Na prática, os próprios autores respondem, informando que a maioria dos trabalhos aborda essa questão usando uma de duas soluções. A primeira é estabelecer um critério subjetivo para ‘normal’, o que pode ser interessante por dar liberdade para o pesquisador incluir seu conhecimento biológico do sistema, mas não resolve o problema

da falta de objetividade; o critério não pode ser repetido, testado ou usado por outros pesquisadores. A segunda é estabelecer um limite estatístico que estabelece que a área de vida estimada inclua certa porcentagem das localizações. O valor limite mais usado é 95%. Este critério, apesar de arbitrário – pode-se perguntar também, “Por que 95%?” -, é objetivo, pois pode ser replicado e avaliado por outros estudos (White & Garrot, 1990).

Neste trabalho será adotada a definição para área de vida sugerida por ():

“uma área repetidamente percorrida por um animal”,

pois em sua simplicidade parece abranger uma gama maior das situações que podem ser encontradas na natureza. Esta definição considera os padrões de movimentação dos animais, que podem ser definidos de forma objetiva, sem restringi-los com base no comportamento. Inclui movimentos de ida e volta de um animal, por maior que sejam, desde que apresentem certa periodicidade, mas podem ser excluídos estatisticamente quaisquer movimentos unidirecionais de dispersão que levem o indivíduo a deixar a área. Em outras palavras, ‘pergunta’ aos animais o que é importante para eles ao invés de ‘impor’ certos critérios comportamentais *a priori*.

Tipicamente, são medidas três variáveis da área de vida: 1) tamanho, 2) forma e 3) estrutura. A primeira representa a área na qual um animal vive, e é importante, por exemplo, para que se possa delimitar uma região com tamanho suficiente para preservar a espécie. A segunda é a forma geométrica da área ocupada por cada indivíduo (círculo, elipse ou qualquer outra). Quando as formas das áreas de vida de vários indivíduos são analisadas conjuntamente pode-se estudar aspectos de territorialidade e sociabilidade, dentre outros. O terceiro é a configuração espacial dos pontos de localização dentro da área de vida de cada indivíduo. Ou seja, se os indivíduos visitam mais vezes (ou permanecem mais tempo em) certos locais da área de vida ou se sua presença se distribui uniformemente por ela. Conhecer a estrutura pode permitir averiguar como a intensidade de uso de determinadas áreas se correlaciona com certas características do habitat, ou avaliar como determinado impacto ambiental pode influenciar os deslocamentos de um animal ().

Além dessas características espaciais, a área de vida de um animal também é um conceito vinculado ao tempo. Essa é uma afirmação válida do ponto de vista biológico, pois animais podem mudar de região ao longo da vida, cuja utilidade se estende quando

porque freqüentemente os dados disponíveis não refletem toda a variabilidade que um animal (menos ainda uma população ou espécie) pode apresentar ao longo de sua vida. É por isto necessário definir se o período de interesse é anual, sazonal ou algum outro intervalo, seja maior ou menor (). Não há uma medida correta para cada espécie, há uma medida mais adequada para a escala do estudo, que por sua vez depende do tipo de pergunta e da disponibilidade de dados (Levin, 1992; 2000).

Outro aspecto a ser considerado está relacionado ao tamanho amostral, e, portanto, à independência estatística de cada unidade amostral. Por exemplo, localizações muito próximas no tempo podem ser correlacionadas. Um critério normalmente usado para estabelecer correlações é usar apenas localizações cujo intervalo de tempo entre elas seja suficiente para que o animal se desloque de um lado a outro da área de vida (White & Garrott, 1990). Há também critérios mais objetivos, a exemplos dos gráficos de autocorrelação usados por ().

#### **2.4 Migração do Peixe-boi Amazônico**

O primeiro artigo científico que menciona a migração do Peixe-boi Amazônico foi escrito por Montgomery et al. (1981). O autor se baseou em informações que obteve em conversas com moradores do Lago Amanã para afirmar que

“essa migração sazonal (‘arribação’) ocorre de julho a agosto no Lago Amanã e à medida que o nível da água começa a cair os peixes-boi que estão se alimentando nos lagos de várzea ou igapó voltam para os rios e se deslocam via os principais tributários para dentro dos lagos de água funda. (Best, 1983; pg. 63).”

Posteriormente, Marmontel et al. (dados não publicados) rastrearam, entre 1994 e 2003, 8 machos por meio de radiotelemetria VHF na região das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e Amanã (RDSM e RDSA). Os primeiros três animais – Ticuã, Matintim e Zé Taboca - foram capturados no Lago Mamirauá entre o final de junho e o início de julho de 1995 (alta) e marcados com rádio-colares VHF. No início os animais foram acompanhados diariamente na região do Lago Mamirauá, até que desapareceram quando a água começou a baixar. Alguns meses depois, já no período da enchente, os animais retornaram, para novamente desaparecerem na vazante de 1996. No dia 27 de setembro (baixa) de 1996 o Zé Taboca foi localizado no lago Amanã. Esse foi o primeiro registro de migração da espécie (

dados não publicados). Dia 27 de agosto de 1997 o Ticuã também foi localizado no Amanã, o que levantou suspeita de que na baixa este era um destino potencial de vários animais. Ao final do estudo os autores escreveram

“Os resultados revelaram que os peixes-bois passam o período de cheia (abril, maio e junho) nas áreas de várzea, ricas em vegetação aquática, e o período de seca (outubro, novembro e dezembro) em grandes lagos de terra firme, ou em poços nos rios principais. A entrada dos peixes-bois nas áreas de várzea se dá durante a enchente (janeiro, fevereiro e março) e a saída das várzeas ocorre na vazante (julho, agosto e setembro). A fidelidade de uso das mesmas áreas na cheia e na seca, pelos mesmos animais, ano após ano, indica que os movimentos realizados caracterizam migrações.”

A descoberta da migração na região do Médio Solimões, além do valor associado ao entendimento de sua ecologia, serviu de subsídio científico para as negociações que levaram à criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã. Além disso, o contato estreito - 365 dias por ano - entre a equipe de pesquisadores e os moradores locais tem tipo repercussão importante para a conservação tanto do peixe-boi quanto de seu ambiente.

Neste trabalho, a migração será definida como:

“um movimento regular, de ida e volta, de indivíduos entre duas ou mais áreas ou regiões sazonais.” (White & Garrott, 1990)

## **2.5 Ambiente e hábitat**

Ambiente e hábitat são dois conceitos diferentes, porém inter-relacionados. O primeiro é um conceito cuja utilidade extrapola o domínio de qualquer área do conhecimento em particular e, por isso, possui definições variadas. Por exemplo, o Dicionário de Oxford define ambiente como “o entorno ou as condições nas quais uma pessoa, um animal ou uma planta opera”, “o mundo natural, como um todo ou em uma região geográfica em particular, especialmente como é afetado por ações humanas” e a “estrutura global dentro da qual um usuário, um computador ou um programa operam” (Oxford, 2008).

Diferentemente do conceito de ambiente, o de hábitat foi criado para ser usado em estudos científicos e por isso precisa ser operacional e bem definido. Por isso, tendo em

mente que a palavra hábitat vem da palavra Latim *Habitare*, que literalmente significa ‘habitar ou morar’, neste estudo será usada a definição proposta por Hall et al. (1997, pg. 175, parágrafo 1): “hábitat são os recursos e as condições em uma área que produzem ocupação – incluindo sobrevivência e reprodução – por um dado organismo.” O hábitat relaciona a presença de uma população, de uma espécie ou de um indivíduo às características físicas e biológicas de um lugar. Segundo Wiens (2002), entender a distribuição de espécies é, no fundo, lidar com hábitats.

### **2.5.1 Análise composicional de hábitat**

Em uma análise de hábitat procura-se identificar qual(is) tipo(s) de hábitat(s) é(são) importante(s) para os animais. Mas, como definir ‘importância’ a partir das informações possíveis de serem obtidas? Um dos critérios mais aceitos atualmente baseia-se na técnica de análise composicional - um grupo de componentes (ex. hábitats) cuja soma é um é chamado de uma composição (Aitchison, 1982). Em ecologia, a análise composicional é feita comparando-se a proporção de hábitat usado com a proporção de hábitat disponível (Aebischer et al., 1993). As opções possíveis para o ‘uso’ de um hábitat são: 1) Se o animal ‘usa’ um hábitat em maior proporção do que está disponível (o resultado da diferença é positivo) ele o está selecionando, 2) se o ‘usa’ de acordo com sua disponibilidade (resultado da diferença é 0) ele não o está selecionando e 3) se o ‘usa’ em menor proporção do que está disponível (a diferença é negativa) ele o está evitando. O resultado da análise composicional é um ordenamento dos hábitats, do mais para o menos utilizado, e uma estatística F indicando ou não significância a 95% (Aebischer et al. 1993).

O hábitat usado pode ser calculado como aquele contido em uma região tampão ao redor da localização do animal, ou também como aquele contido dentro de sua área de vida. A escolha do critério depende do objetivo do estudo e é limitado pela acurácia das localizações. O hábitat disponível é normalmente estabelecido como sendo o hábitat total dentro do mapa, e como se pode notar seus limites são um tanto quanto subjetivos já que o tamanho do mapa depende de fatores desde o conhecimento biológico que o pesquisador tem do ambiente até o tamanho do arquivo *raster* que o programa de análise consegue importar ou processar.

No entanto, uma peculiaridade da análise composicional é que como a soma das proporções é sempre igual a 1, o ‘uso’ de um hábitat não é independente do uso de outro, e esta falta de independência viola os pressupostos da análise estatística. De fato, o uso de um hábitat em maior proporção implica na ‘evitação’ do(s) outro(s). Este problema é conhecido como ‘a restrição da soma-unitária’ (em inglês, *unit-sum constraint*) (Aebischer et al., 1993). Para resolvê-lo, Aebischer et al., (1993) sugerem que a análise composicional seja realizada com base nas razões dos logaritmos das proporções de cada hábitat, assumindo a proporção de um hábitat qualquer como o denominador e a de cada um dos demais hábitats como os numeradores. Ao fazer este cálculo Aitchison (1982) demonstra que qualquer resultado de qualquer composição é linearmente independente e por isto os valores podem ser comparados estatisticamente.

## **2.6A planície de inundação**

A principal força que rege a dinâmica da planície de inundação é o pulso de inundação (2000

). Trata-se de um fenômeno cíclico e anual cuja origem é a água que desce dos Andes quando ocorre o degelo, e que ao longo do seu percurso é acrescido de águas pluviais vindas de toda a bacia hidrográfica. Um de seus efeitos mais notórios é a influência sobre a cota na planície de inundação e nos lagos adjacentes, que resulta em quatro períodos distintos de inundação: baixa, enchente, alta e vazante. Por ser um fenômeno complexo resultante de processos em várias escalas, seu efeito local é variável. Nas margens do curso principal os alagamentos são mais duradouros e previsíveis, enquanto nas cabeceiras dos rios e igarapés tendem a ser mais curtos e imprevisíveis (2000

). Além disso, devido às diferentes entradas de água que vão se acumulando ao longo do percurso, cada uma com escalas espaciais e temporais próprias, a magnitude da variação na cota é diferente para diferentes regiões da planície. Por exemplo, entre baixa e alta a variação no lago Mamirauá pode chegar a 16m enquanto no Lago Grande de Curuai (Barbosa, 2005) não ultrapassa os 7m. Em virtude dessa variação uma mesma região pode ser tanto ambiente terrestre quanto aquático, dependendo apenas da fase do pulso. As águas trazidas pelo pulso são chamadas ‘brancas’, pois possuem cor branco-amarelada e são turvas e barrentas devido à alta concentração de sólidos em suspensão. O pH das águas brancas é próximo de 7 (neutro) e a carga de nutrientes inorgânicos alta. Por outro lado, as águas pretas, formadas pela passagem de águas da chuva e subterrâneas pelas florestas alagadas, são ricas em matéria orgânica proveniente do

húmus que se dissolve no percurso, têm o pH ácido (de 3,8 a 4,9) e possuem baixas concentrações de sólidos em suspensão e de nutrientes (). É nas águas brancas da várzea, particularmente na alta, que ocorre a maior proliferação de macrófitas aquáticas (), principal alimento do peixe-boi amazônico.

A definição de macrófitas aquáticas é bastante ampla. São classificadas como tal plantas herbáceas que se desenvolvem na água e em solos cobertos ou geralmente saturados por água (). No sistema de rios e planícies de inundação inundado periodicamente por águas brancas, as comunidades bióticas mais características são as macrófitas aquáticas (WCU, 2008). Dentre elas, () aponta *E. polystachya* 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 alta (conhecidos popularmente como ‘matupás’).

## **2.7 Sensoriamento remoto orbital das macrófitas aquáticas emergentes**

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, além de alterações na produção primária do fitoplâncton, que por sua vez afetava a biodiversidade do lago, todos fenômenos atribuídos 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.

(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. A separação do alvo na classificação

é feita com base no seu comportamento em cada uma das três imagens-fração. Os autores geraram um plano de informação temático contendo as classes acima, e o compararam com o resultado de uma interpretação visual. Apesar de terem identificado que a escala das imagens (1:250.000) não permitia que captasse os padrões de menor tamanho da planície, concluíram que a metodologia era promissora.

No entanto, a freqüente e ampla cobertura de nuvens na Amazônia fez com que várias pesquisas se voltassem para o uso de imagens de radar (Alsdorf et al., 2000; Costa, Hess et al., 1990;1995;2003; Rosenqvist et al. 2002). Isto porque o pulso emitido pelo radar não é bloqueado pelas nuvens. Para fenômenos cujo padrão varia, por exemplo, sazonalmente, há dificuldade especial de se obter imagens óticas da enchente e da alta. É o caso das macrófitas aquáticas, que possuem um ciclo de vida intimamente vinculado à dinâmica do pulso de inundação (Junk & Piedade, 1997). A abordagem alternativa adotada foi o uso de imagens de sensores microondas, pois a taxa de transmissão pela atmosfera da radiação nesse comprimento de onda é muito maior que na faixa do espectro óptico. As nuvens e a chuva limitam muito menos o imageamento. Segundo Novo et al. (1998), as principais vantagens do SAR sobre os sensores ópticos são: a possibilidade de monitoramento em condições de nuvens, chuva e bruma (muito comuns em regiões alagáveis), a independência da iluminação solar, a sensibilidade à estrutura macroscópica dos materiais (por exemplo, formas geométricas e aspereza da superfície) e às suas propriedades elétricas, estando estas últimas relacionadas ao teor de umidade dos mesmos.

(Palha et al, 2003) e (Graciani & Novo, 2003) usaram fusões de imagens óticas com radar para identificar bancos de macrófitas aquáticas na planície de inundação do Rio Amazonas. (Palha et al, 2003) trabalharam com os mosaicos do Landsat-TM (resoluções de 30 e 90m) e com as imagens não degradadas (30m), e com o mosaico do JERS-1 gerado para o '*Global Rain Forest Mapping Project*' (GRFM), com resolução de aproximadamente 100m. Os melhores resultados foram obtidos com as imagens Landsat-TM originais (25m), e os autores concluíram que a menor resolução dos mosaicos do Landsat e do JERS-1 não foi adequada para captar muitos dos padrões espaciais presentes na planície. (Graciani & Novo, 2003), por outro lado, usaram imagens Landsat-TM e Radarsat-1, as primeiras com resolução de 25m e as segundas com resolução de 12,5m. Através da fusão IHS das imagens óticas com as de radar,

conseguiram separar as classes 1) Flutuante (macrófitas flutuantes), 2) Cyperacea (variedades *Eleocharis* sp. e *Scirpus* sp.), 3) Typha (formada apenas por esse gênero), água e 4) Paliteiro (formada pelos troncos secos que emergem da água e eram comuns na região de estudo).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 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 3.1). 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.

Em torno dos lagos Mamirauá, Acácio, Saracura, Anágua, Castanho e Piranha há floresta de várzea que fica alagada na água alta e seca na água baixa. De fato, apesar de serem chamados de lagos, na água alta esses corpos d’água se conectam entre si (no caso do Mamirauá, Acácio, Saracura e Anágua), com a floresta no entorno e com os rios e paranás, formando, portanto, uma massa de água contínua. Na água baixa, por outro lado, cada um passa a ser um corpo isolado, que dependendo de quão baixa for a cota no ano, pode permanecer coberto por uma camada pequena de água ou pode secar. A essas conformações de ‘lagos’ da várzea dá-se o nome de ‘sistemas de lagos’ (Henderson, 1999). Como não foi encontrado um termo específico para descrever cada componente de um sistema de lago, nesta tese será mantido o termo ‘lago’ para fazer referência a cada um deles. Quando se estiver tratando de todos, será usado o termo ‘sistema Mamirauá’.

No que diz respeito à composição florística, os lagos Acácio, Saracura e Anágua são de fato uma mistura de áreas mais baixas onde predominam plantas anuais e áreas onde há

uma mistura de árvores, arbustos e plantas anuais, chamadas de ‘chavascal’. A diferença na composição de espécies entre essas duas áreas está diretamente relacionada ao tempo que cada uma permanece alagada a cada ciclo anual de inundação. As áreas cobertas por plantas anuais são as que permanecem mais tempo alagadas e as de chavascal as que permanecem menos tempo. A cada água baixa as plantas anuais, que têm capacidade maior de colonização, são as primeiras a repovoar as áreas terrestres. Como foi posto por (Junk, 1997), a cada pulso de inundação na várzea o ambiente se renova e o ciclo recomeça.

De acordo com a definição matemática proposta na seção 4.2.1 com base na análise de séries temporais de cota ao longo de 10 anos, na região do lago Mamirauá a alta corresponde ao período [17 junho, 26 junho], a vazante a [27 junho, 27 setembro], a baixa a [28 setembro, 30 outubro] e a enchente a [31 outubro, 16 junho]. Entretanto, como será visto posteriormente, o tempo que os animais passaram em cada uma as regiões geográficas não coincide com os períodos definidos com base na hidrógrafa. Isto não é surpresa, já que a definição está relacionada apenas à hidrógrafa e não leva em conta o comportamento do peixe-boi. Por isto, para que se possa tratar das fases da hidrógrafa do ponto de vista do peixe-boi dar-se-á o nome de água alta ao intervalo durante o qual a cota é maior que 8,5m e de água baixa ao intervalo durante o qual é menor que 6,5m. A cota 8,5m foi escolhida por ser a mais baixa na qual um animal (Matintin) foi encontrado no Lago Mamirauá na vazante e a cota 6,5m por ser 7m a menor cota em que um animal foi visto no Lago Mamirauá durante a enchente, de onde se pode concluir que deixou o local onde permaneceu na água baixa alguns dias antes. A partir destes critérios e tendo como base a curva  $p_M$ , a água alta corresponde aproximadamente ao período [28 fevereiro, 23 agosto], a vazante a [24 agosto, 5 setembro], a água baixa a [6 setembro, 23 dezembro] e a enchente a [24dezembro, 27 fevereiro].

Na região de estudo a paisagem é dominada por florestas altas entremeadas por cursos d’água dos mais variados tamanhos (lagos, rios, paranás e igarapés). (Igarapé é o nome regional dado a um canal fluvial de primeira ou segunda ordem que deságua em um rio maior ou em um lago. Paraná é canal fluvial de conexão entre rios maiores.) Há predomínio de desmatamento localizado, cuja finalidade principal é o plantio de roças por moradores das comunidades ribeirinhas, mas há pouca ocorrência de desmatamento

em grande escala. Às margens da maioria dos rios, lagos e paranás da região existem comunidades de 'ribeirinhos' geralmente formadas por um número pequeno de famílias (quase sempre todos os moradores são parentes). Nestas comunidades o peixe-boi é visto como alimento saboroso, e em todas há caçadores. Todos os anos vários animais são mortos na região. Contudo, em resposta ao trabalho que vem sendo desenvolvido pelas equipes da RDSM e da RDSA, algumas comunidades têm diminuído o número de animais caçados ou têm se envolvido no esforço de pesquisa comunicando a morte de indivíduos para que os pesquisadores possam coletar amostras de pele, estômago, ossos, dentre outras coisas. Por outro lado, a caça comercial de grande escala, principal responsável pelo declínio das populações da espécie e comum até algumas décadas atrás, não existe mais nessa região - animais são, no entanto, todavia caçados ilegalmente e a carne comercializada, mas em menor escala.

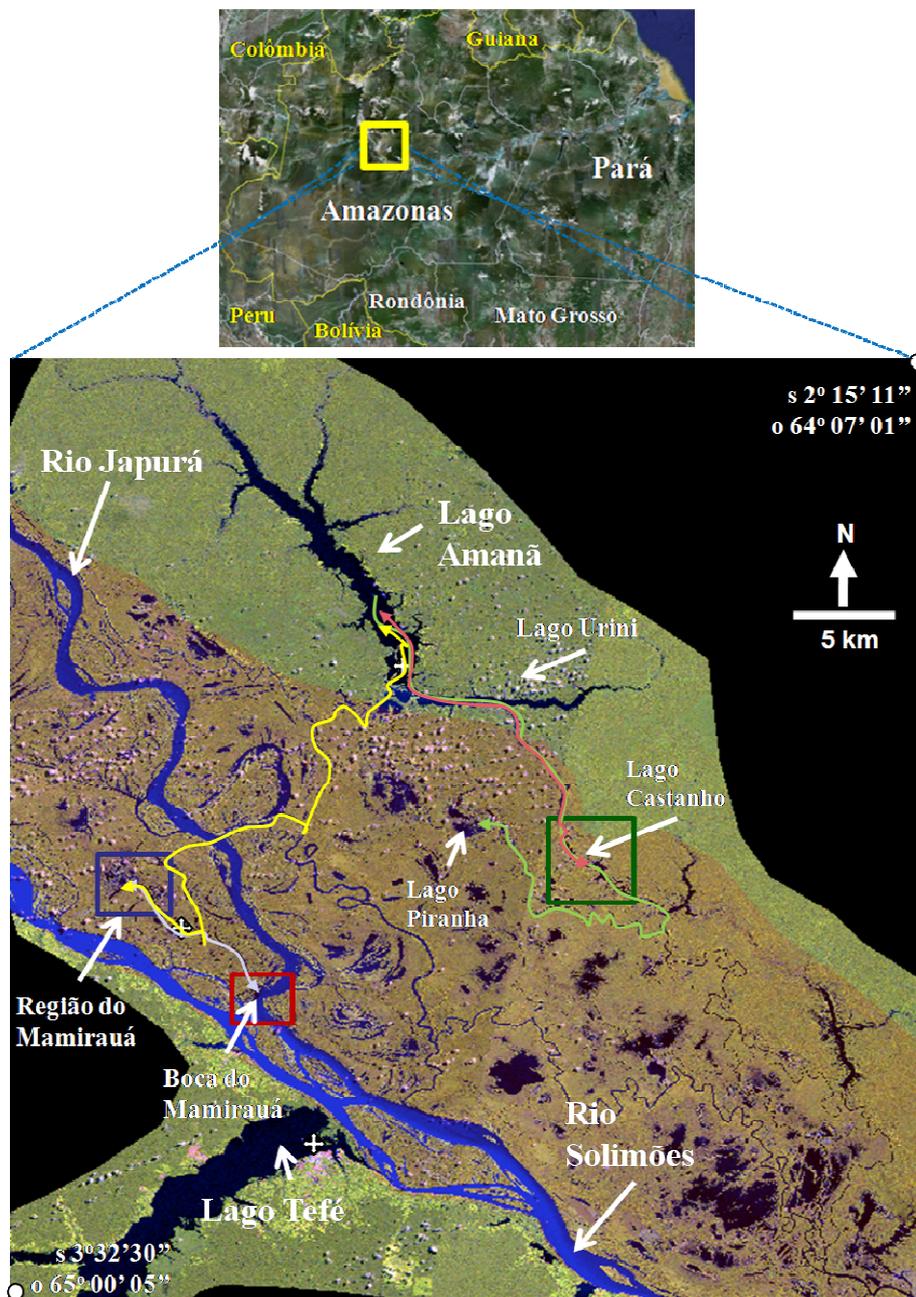


Figura 3.2 - Área de estudo com indicação das rotas migratórias (linhas coloridas com setas nas pontas indicando direção da migração). Em cima, localização na Amazônia (Fonte: Google Earth); abaixo, imagem Landsat-TM RGB/543 de 2/7/2002 (início da vazante). Quadrados coloridos indicam áreas mostradas na Figura 3.2, cruzeiras brancas as posições das hidrógrafas mencionadas nas Seções 3.2.1 e 4.2, mancha avermelhada indica região da planície de inundação do Rio Solimões.

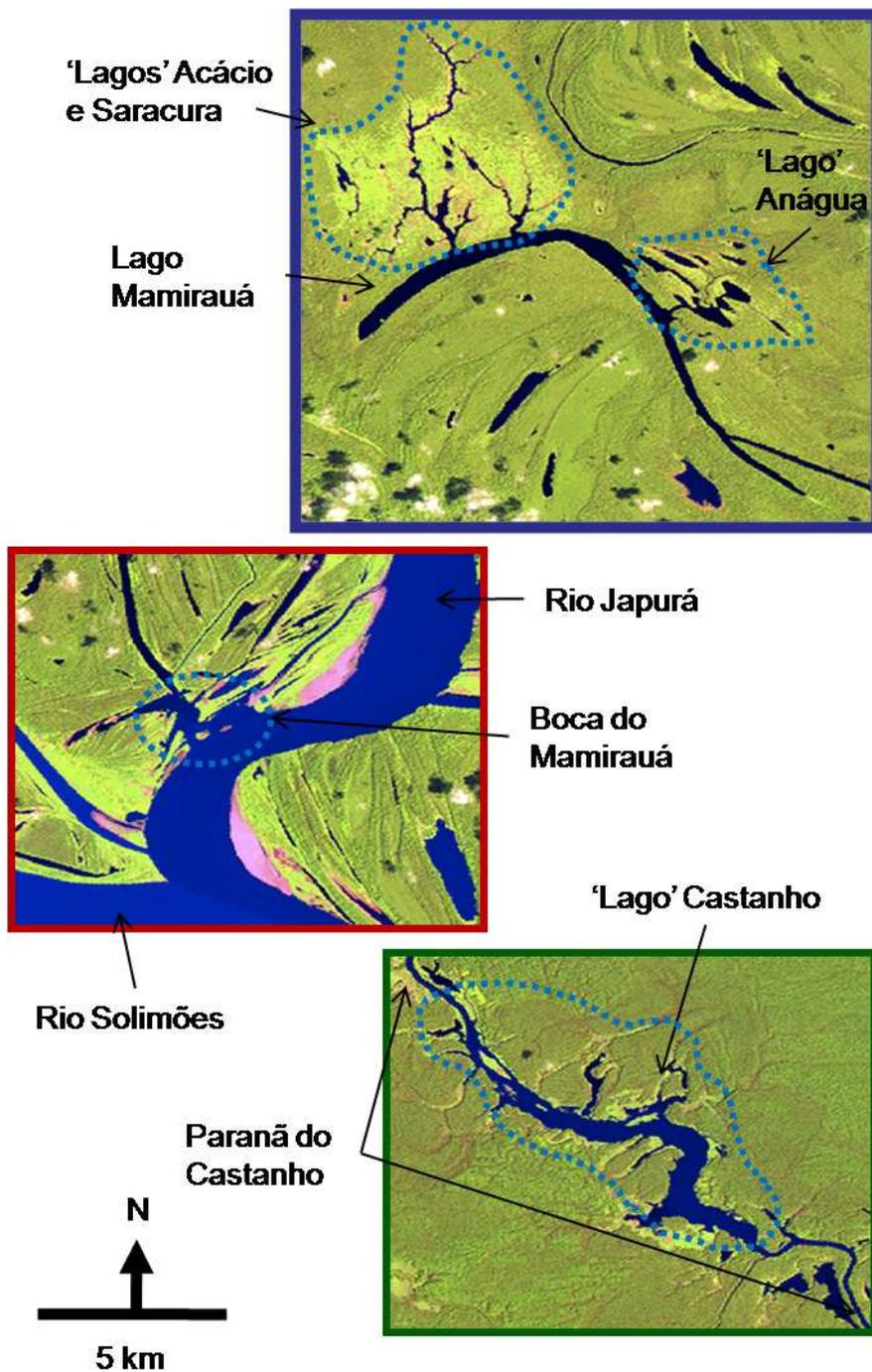


Figura 3.3 – Detalhes das sub-regiões da área de estudo indicadas na Figura 3.1. Composição Landsat-TM RGB/543 de 16/12/1996 (enchente). Linhas tracejadas são indicações aproximadas do local.

### 3.1.1 Critérios usados para delimitar a área de estudo

A abrangência da área de estudo foi determinada com base em dois critérios: 1) conter a máxima distância registrada para o indivíduo que apresentou o maior deslocamento e 2) conter os lagos de terra-firme para os quais havia a hipótese de serem visitados por animais marcados na região do Lago Mamirauá em intervalos de poucos anos (com base nos deslocamentos conhecidos).

### 3.2 Hidrógrafas

Foram analisadas as hidrógrafas dos Lagos Tefé, Mamirauá e Amanã. Os dados foram cedidos pelo IDSM, que realiza medidas diárias por meio de réguas fixas: no Lago Mamirauá desde 1992, no Lago Amanã desde 2001 e no Lago Tefé desde 1990. Esses dados foram gentilmente cedidos pelo IDSM. Um exemplo da tabela original de dados é mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Exemplo dos dados originais das hidrógrafas dos Lagos Tefé, Mamirauá e Amanã.

Data da medição	Cota no Tefé (m)	Cota no Mamirauá (m)	Cota no Amanã (m)
31/8/2002	10,92	9,45	6,03
1/9/2002	10,84	9,37	5,98
2/9/2002	10,75	9,27	5,94
3/9/2002	10,64	9,18	5,88
4/9/2002	10,53	9,16	5,81
5/9/2002	10,43	9,08	5,81
6/9/2002	10,31	8,99	5,78
7/9/2002	10,21	8,89	5,74

#### 3.2.1 Metodologia

Foram analisadas as curvas de cada hidrógrafa, assim como as primeiras e segundas derivadas.

### 3.3 Modelo batimétrico

#### 3.3.1 Dados batimétricos

O levantamento batimétrico foi realizado por meio de um sonar da marca *Lowrance* 480-M acoplado à popa de um barco. As rotas foram escolhidas para que fosse mantido um ângulo de aproximadamente  $45^\circ$  entre os perfis transversais. O deslocamento da embarcação foi feito a uma velocidade de aproximadamente 25km/h e a distância média entre os pontos amostrais foi de 10m (Figura 3.4). A amostragem no Lago Amanã foi realizada de 29/9 a 3/10/05 (baixa) de 2005, a da rota Tambaqui/Castanho dia 19/5/06 e a dos lagos Mamirauá, Acácio, Saracura e Anágua nos dias 20, 30 e 31/5/06. No total foram realizados 77 perfis transversais em um total de 39 horas percurso. Na Figura 3.5 pode ser visto o perfil batimétrico de uma seção de uma das linhas de amostragem do Amanã.

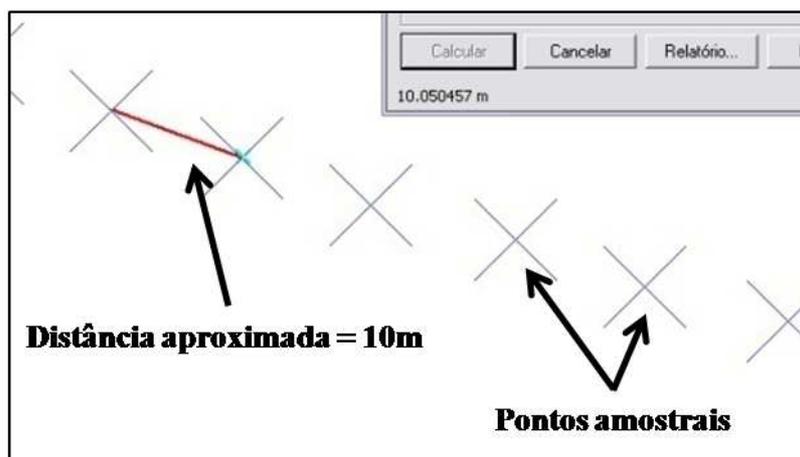


Figura 3.4 – Distância aproximada entre os pontos amostrais do levantamento batimétrico.

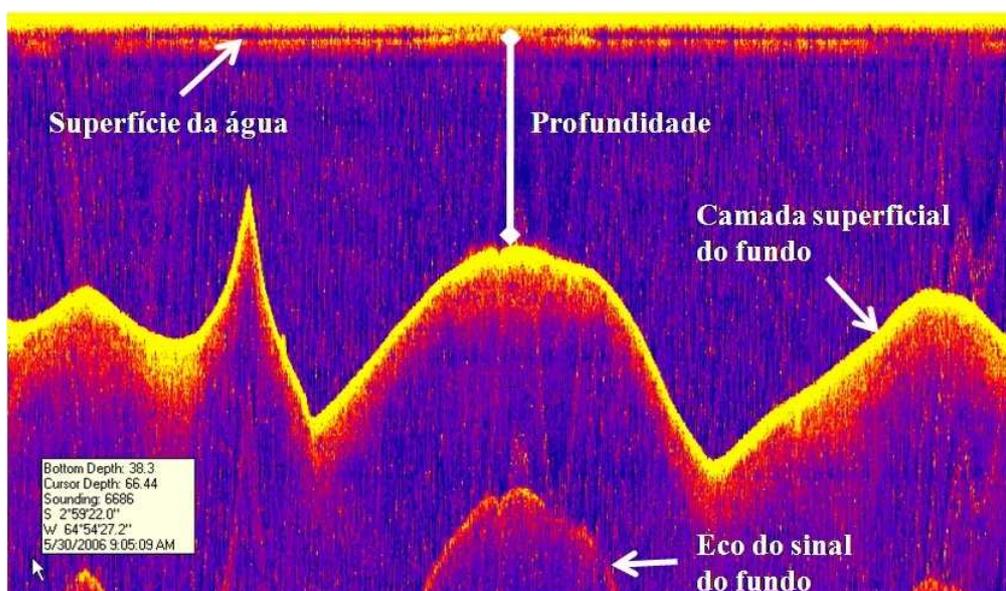


Figura 3.5 - Perfil batimétrico como visto no aplicativo Sonarviewer.

### 3.3.2 Metodologia

Os dados do levantamento batimétrico dos Lagos Mamirauá e Amanã e de duas rotas de migração dos animais entre estes foram usados para construir um modelo batimétrico. As etapas, explicadas em maiores detalhes no texto, são destacadas no esquema metodológico da Figura 3.6. Para maiores detalhes referir-se a ).

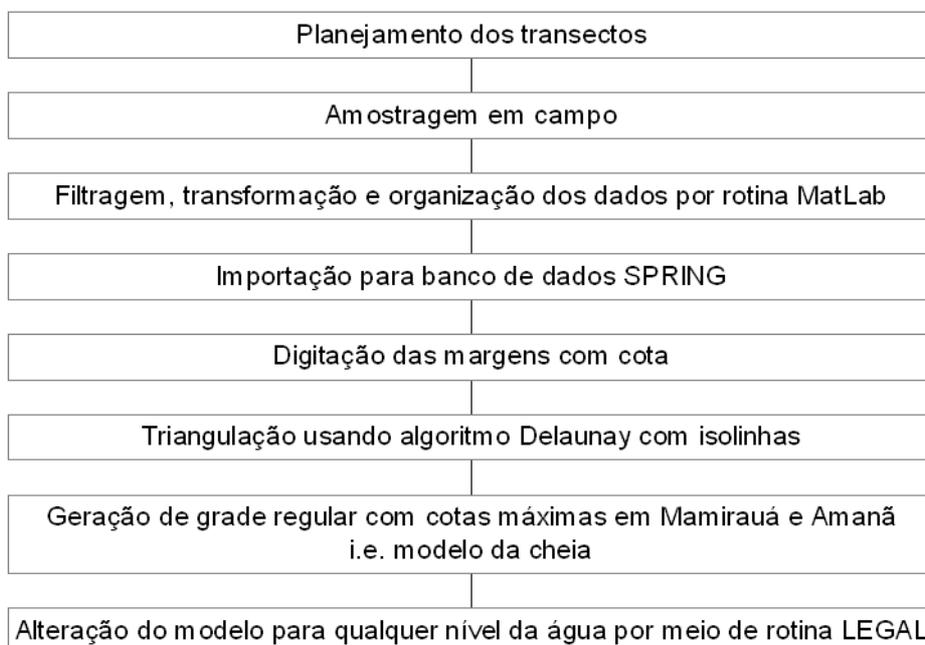


Figura 3.6 – Esquema metodológico com passos envolvidos na geração do modelo batimétrico.

### 3.3.2.1 Planejamento dos perfis transversais

Os perfis transversais foram planejados de forma a aperfeiçoar a qualidade do modelo, tecnicamente determinada pela adequação da amostragem à metodologia de modelagem por triangulação de Delaunay e biologicamente pela adequação da escala da amostragem aos padrões de deslocamento dos animais obtidos por radiotelemetria VHF. Nos lagos a amostragem foi feita através de uma primeira passagem da lancha em ziguezague, procurando manter ângulos próximos de  $45^{\circ}$  entre linhas adjacentes, seguida por um acompanhamento do contorno do corpo d'água e por uma ou mais passagens em linha (quase) reta pelo centro (). Nos rios, por serem mais estreitos e o percurso longo (necessário muito tempo e gasolina) optou-se por amostrar apenas em perfil transversal, procurando sempre o talvegue que seria supostamente a derradeira chance de passagem dos animais na migração da vazante. O canal era encontrado *in loco* por meio da observação contínua das profundidades no monitor do sensor batimétrico – na prática, quase sempre o barqueiro acertava o trajeto dele, e quando havia desconfiança de que havia sido ‘perdido’, fazia-se a volta para re-amostrar o trecho. Nas confluências eram realizadas repetidas passagens em ziguezague para aumentar a resolução da amostragem de modo a identificar o talvegue, muito mais estreito do que a calha dos rios.

Nos lagos Acácio, Saracura e Anágua a principal limitação para a passagem da lancha foram os bancos de macrófitas aquáticas. Por conta disso foi possível amostrar apenas o canal principal e algumas outras áreas que estavam acessíveis ().

Na baixa de 2005 foi realizada uma primeira amostragem no Lago Amanã, complementada na alta de 2006. Os demais lagos e rios foram amostrados na alta.

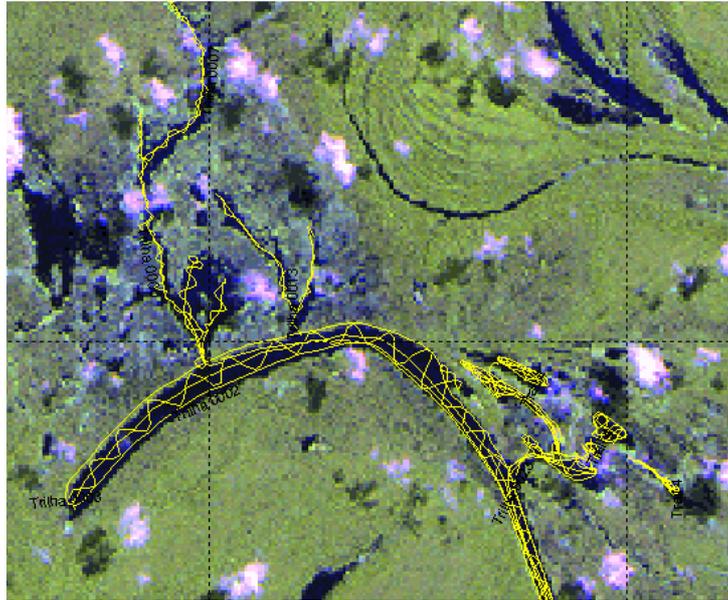


Figura 3.7 – Exemplo de perfis transversais realizados durante o levantamento batimétrico.

### 3.3.2.2 Processamento dos dados

Os arquivos gerados pelo sonar foram exportados e abertos no aplicativo *Sonarviewer* 1.5 (Lowrance, 2007) onde foram novamente armazenados em formato texto. Em seguida foi usada uma rotina em MatLab para: 1) extrair os dados do arquivo gerado pelo aplicativo *Sonarviewer* 1.2.2 os dados relevantes para o modelo: profundidade, velocidade da lancha e coordenadas geográficas, 2) transformá-los de coordenadas *Lowrance Mercator* para Latitude e Longitude (LatLong), 3) transformar os valores de profundidade de pés para metros, 4) transformar as medidas de profundidade com base em uma equação empírica de calibração para compensar o fato que a profundidade do sensor durante a medição também dependia da velocidade e do peso da lancha e 5) padronizá-los com base na cota máxima dos 10 ciclos durante os quais foram feitas medições no lago Mamirauá (dessa forma corrigindo as diferenças entre as profundidades medidas na alta e na baixa decorrentes apenas da cota). Para que o modelo fosse contínuo no espaço apenas a régua do Mamirauá foi usada como referencia. A rotina MatLab gerava arquivos separados para cada etapa do processamento e arquivava-os para que eventuais erros pudessem ser mais facilmente identificados posteriormente.

Os dados foram então importados para o SPRING 4.1 (categoria Modelo Digital de Terreno). Para facilitar o rastreamento de eventuais erros cada perfil transversal foi

inicialmente importado para um plano de informação diferente. Em seguida, foi realizado um mosaico de todos os perfis transversais com o qual foram realizadas as etapas seguintes do processamento. Para aperfeiçoar a triangulação foram digitalizadas linhas de margem com cota seguindo o contorno dos corpos d'água amostrados usando como referência uma imagem Landsat-TM da mesma fase do pulso de inundação na qual foi realizada a amostragem. A cota de cada trecho das linhas de margem foi definida a partir de uma análise das profundidades nos pontos dos perfis transversais mais próximos. O objetivo dessas linhas foi estabelecer limites para o algoritmo de triangulação, caso contrario ele geraria triângulos que teriam como lados linhas pertencentes a perfis transversais distantes (passando por cima de regiões não amostradas, inclusive sobre terra). Isso não afetou a análise, pois apenas a parte do modelo que se encontrava dentro das linhas amostradas foi considerada. Para a triangulação, usou-se o algoritmo de Delaunay.

A partir dos resultados da triangulação foi gerada uma grade regular com resolução de 15m. Apesar da amostragem e dos resultados da triangulação permitirem a criação de um modelo com resolução mais fina, os 15m foram escolhidos para facilitar a comparação visual com as imagens Landsat-TM.

Escreveu-se então um algoritmo em linguagem LEGAL para mudar a cota do modelo, inicialmente calibrado para a cota máxima, e gerar planos de informação que simulassem as profundidades em diferentes fases do pulso de inundação. Sobre esses planos de informação foram definidas classes de profundidade que foram usadas na análise visual.

A cada etapa do processamento foram realizadas verificações dos resultados intermediários para que os erros fossem corrigidos antes de continuar. Além disso, uma vez finalizadas as triangulações foi realizada uma verificação completa. Quando profundidades aparentemente erradas foram detectadas foi realizada uma verificação de toda a etapa do processamento para confirmar a veracidade do valor, ou corrigi-lo.

### **3.4 Sensoriamento remoto dos bancos de macrófitas aquáticas**

#### **3.4.1 Dados orbitais**

Foram usadas imagens dos sensores TM e ETM+, respectivamente, dos satélites Landsat-5 e 7, com resolução de 30 x 30m (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) e 15x15m (pancromática). A escolha se baseia no fato desses satélites possuírem a maior série histórica da região, com cenas coincidentes com as épocas nas quais foram coletados os dados de rastreamentos dos animais. Foi feita uma pesquisa no banco de dados da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE para identificar todas as imagens históricas disponíveis da região e foram selecionadas todas as que mostravam toda ou parte relevante (ex. os lagos de interesse) da região de estudo livre de cobertura de nuvens. As bandas do TM foram restauradas para 15x15m, para que os limites dos bancos de macrófitas de menor tamanho que ocorrem na região sejam captados com maior precisão. O algoritmo de restauração tem a função de reduzir o ‘borramento’ na imagem, conseqüente das limitações do sensor. Trata-se de um filtro linear cujos parâmetros são definidos pelas características do sensor (não empiricamente, como nos filtros tradicionais). As bandas do sensor ETM+, por sua vez, foram re-amostradas para 15 x 15m por meio de uma fusão com a pancromática. A cada banco foi associada uma posição geográfica, calculada a área de cobertura relativa de cada espécie pelo método do quadrante (1mx1m, com subdivisões de 10cmx10cm), tomadas fotografias das principais espécies para identificação e anotadas algumas variáveis biofísicas (ex. altura do estande) e o estado fisiológico das espécies principais.

#### **3.4.2 Dados de campo para treinamento e avaliação das classificações**

O levantamento dos bancos de macrófitas teve início em 2005, quando foi feita uma amostragem na baixa (campanha de campo de agosto a outubro). Outra amostragem foi realizada durante a alta (campanha da enchente/alta de 2006). Os pontos amostrados na água alta de 2006 e na água baixa de 2005 são mostrados nas Figura 3.8 e Figura 3.9, respectivamente. O número de amostras em cada campanha é apresentado na Tabela 3.2. Como pode ser observado, devido a restrições de tempo para realizar as missões os lagos não puderam ser amostrados sempre nas duas fases do ciclo hidrológico. Não são mostrados nas figuras e não estão incluídos na tabela os pontos onde não foram



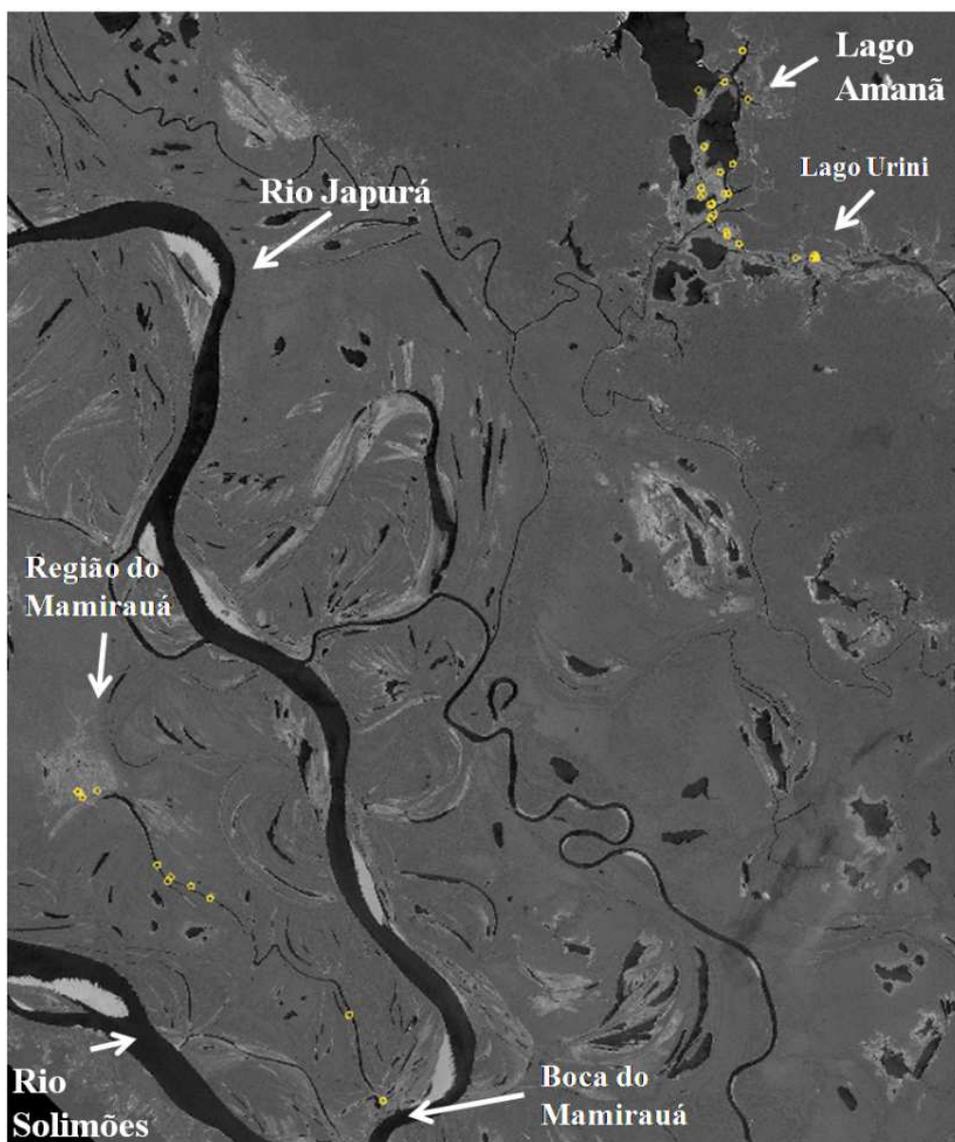


Figura 3.9 – Pontos de amostragem dos bancos de macrófitas amostrados na vazante e na água baixa de 2005 usados na classificação das imagens.

Tabela 3.2 – Pontos de coleta de dados de macrófitas aquáticas emergentes por lugar e fase do pulso.

Local	Alta	Vazante/Baixa	Enchente
Amanã e Urini	16	20	16
Mamirauá <sup>1</sup>	35	9	-
Piranha	16	-	-

<sup>1</sup> Além do Mamirauá em si inclui-se nessa categoria a Boca do Mamirauá, o Cano do Mamirauá, o canal do Apará e os Lagos Acácio, Saracura e Anágua.

### 3.4.3 Metodologia

As etapas, explicadas em maiores detalhes no texto, são destacadas no esquema metodológico da Figura 3.10. Todos os processamentos foram realizados no SPRING 4.3 (INPE, 2008).

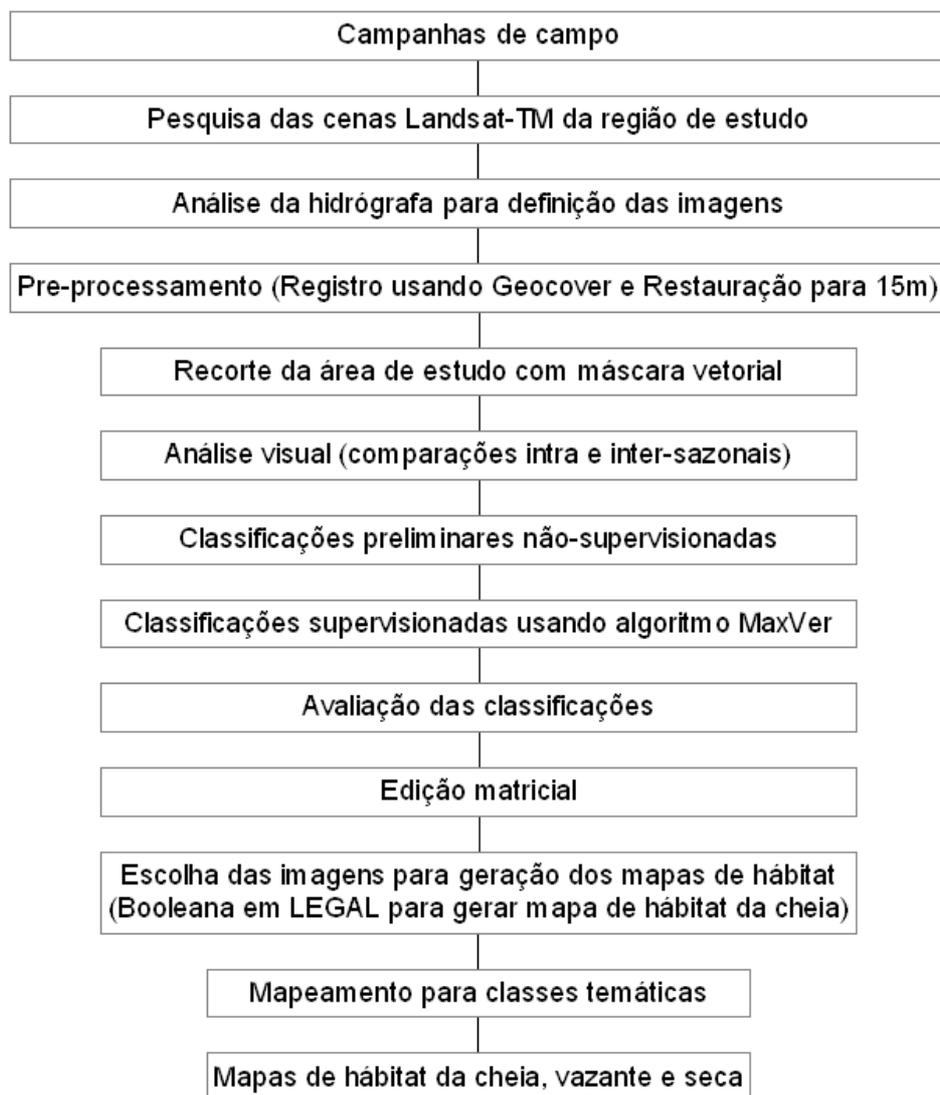


Figura 3.10 – Esquema metodológico da geração dos mapas de hábitat.

#### 3.4.3.1 Definição das imagens para geração dos mapas de hábitat

Foram encontradas 11 imagens de qualidade suficientemente boa para análise nos 11 anos para os quais havia dados de cota (Tabela 3.3). Tendo em vista que o ambiente na área de estudo varia bastante em decorrência do pulso de inundação, e que essa variação influencia o sinal captado pelo sensor orbital, as datas das imagens foram observadas

junto à curva da hidrógrafa (Figura 3.11). Como pode ser observado, em 1997 foram adquiridas 4 imagens seqüenciais, cada uma de uma fase da hidrógrafa. Nessa mesma figura também podem ser observadas as datas para as quais havia dados dos deslocamentos dos animais (em azul), informação esta usada para selecionar as classificações que seriam usadas para gerar os mapas de hábitat.

Tabela 3.3 – Imagens usadas para caracterização do hábitat e fases do pulso de inundação às quais correspondem.

<b>Data de aquisição da imagem</b>	<b>Fase do pulso segundo definição matemática</b>	<b>Fase do pulso segundo classificação baseada nos deslocamentos dos peixes-boi</b>
8/8/1995	Vazante	Vazante
9/7/1996	Vazante	Alta
16/12/1996	Enchente	Enchente
10/6/1997	Enchente	Alta
29/8/1997	Vazante	Vazante
14/9/1997	Vazante	Baixa
21/8/2000	Vazante	Vazante
2/7/2002	Vazante	Alta
13/9/2002	Vazante	Vazante
15/3/2003	Enchente	Enchente
10/10/2005	Baixa	Baixa

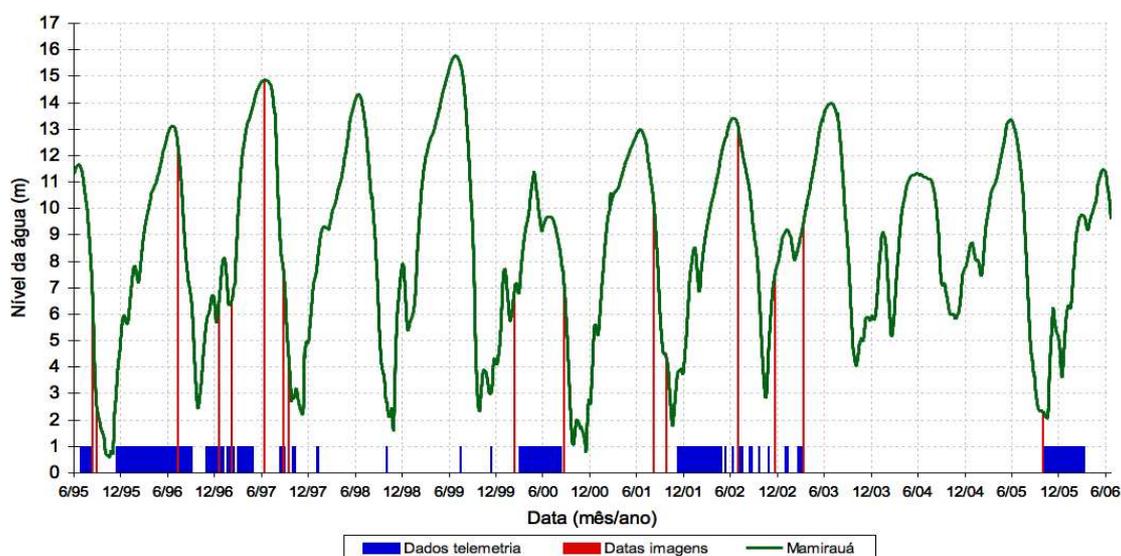


Figura 3.11 – Sobreposição temporal dos dados de telemetria com as imagens Landsat-TM e a hidrógrafa a partir da qual foram escolhidas as imagens para análise.

### 3.4.3.2 Pré-processamento

As 11 imagens foram registradas usando como referência o produto *GeoCover* disponibilizado pela NASA com acurácia posicional absoluta de aproximadamente 75m (NASA, 2006).

Em seguida, as bandas 3, 4 e 5 do Landsat-TM foram restauradas para 30, 20, 15, 10 e 5m. Cada uma das bandas 3, 4 e 5 do Landsat-ETM+ foi fundida com a banda pancromática através da transformada IHS, o que resultou em imagens com 15m de resolução espacial.

A análise visual mostrou que a restauração para 10m 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 3.12). Nesta figura é apresentado o recorte de uma imagem Landsat-TM de 10/06/1997 (final da enchente, a uma semana da alta) mostrando a região da Boca do Lago Mamirauá, 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 as 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 serem esses freqüentes 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 esta pesquisa. A restauração provou-se útil para o trabalho e por isso as classificações foram realizadas sobre as imagens com 15m de resolução (Arraut et al., 2007).

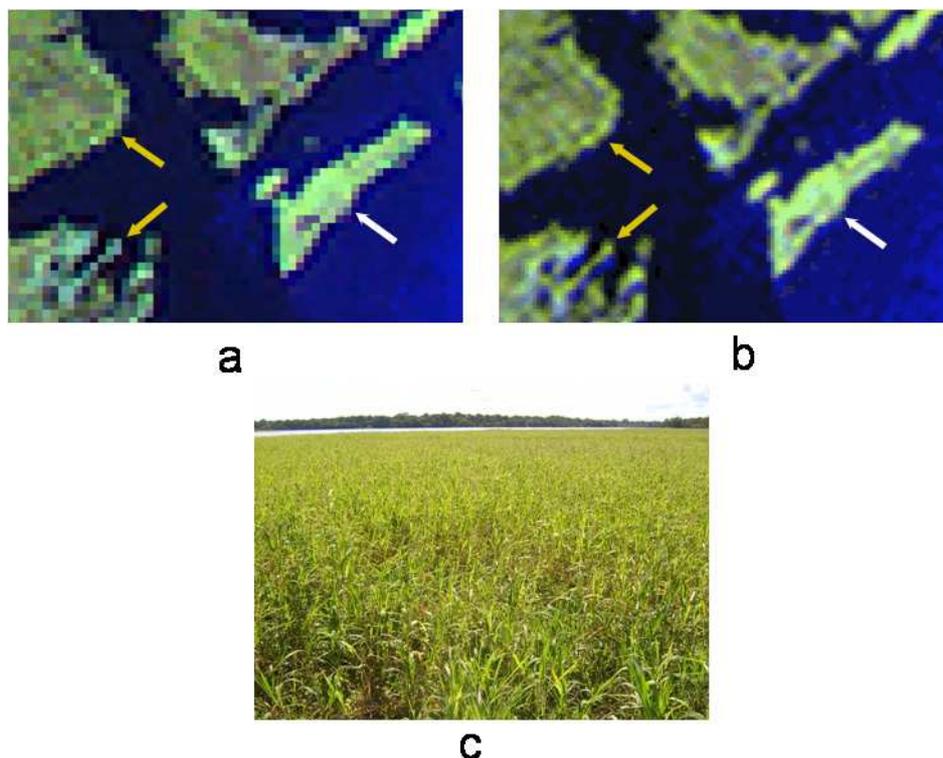


Figura 3.12 – Boca do Mamirauá, RDSM. a) recorte de imagem TM-Landsat-5 de 10/06/1997, composição 543 (RGB), restaurada para 30m, b) mesma imagem restaurada para 15m. c) foto tomada no local indicado pela seta branca na água alta de 2006. Seta branca indica banco de aproximadamente 2 hectares que pode ser visto nas duas imagens. Setas amarelas indicam alguns dos bancos menores que foram mais bem identificados na imagem restaurada para 15m.

### 3.4.3.3 Distinção entre macrófitas e agricultura: recorte da área de estudo por meio de máscara vetorial

Classificações preliminares mostraram que não seria possível distinguir espectralmente bancos de macrófitas aquáticas formados por plantas vigorosas de plantações de mandioca (e outros tipos de agricultura). Nas imagens TM a separação visual entre estes se obtém com base no contexto; os bancos de macrófitas ocorrem entre a água aberta e a floresta e as plantações em terra-firme, aparecendo como manchas rodeadas por

floresta. Optou-se então por remover as regiões das imagens onde apareciam as plantações antes da classificação. Isso foi feito por meio de uma máscara vetorial criada manualmente (digitando o contorno dos corpos d'água) no SPRING e que foi usada para recortar as regiões de terra-firme.

#### **3.4.3.4 Análise visual - comparação inter-anual das imagens adquiridas em cada uma das quatro fases da hidrógrafa**

Observa-se na figura 3.12 que as macrófitas aquáticas, que possuem sinal mais alto do que a floresta e a água na banda 4 do Landsat-TM, têm sinal mais parecido nas imagens das águas altas de 1996 e 2002. Enquanto nestas aparecem em verde-claro mais brilhante (indicando resposta mais alta), na imagem da água alta de 1997 o sinal é mais escuro (resposta mais baixa nesta banda).

Observando-se na Figura 3.14 a parte demarcada por um quadrado amarelo rajado na Figura 3.12, vê-se que no sinal dos bancos da água alta de 1997 há mais mistura com o sinal da água (observar dentro dos círculos coloridos). Além disso, comparando-se a área dentro círculo vermelho nas duas imagens percebe-se que na imagem de 1997 a área coberta por macrófitas era menor. O banco delimitado pelo círculo vermelho, cujas fotos podem ser vistas na mesma Figura 3.14, é formado por macrófitas enraizadas e flutuantes, porém predomina uma cobertura por macrófitas flutuantes de porte pequeno que se desgarram com mais facilidade com a correnteza e com a variação no nível da água.

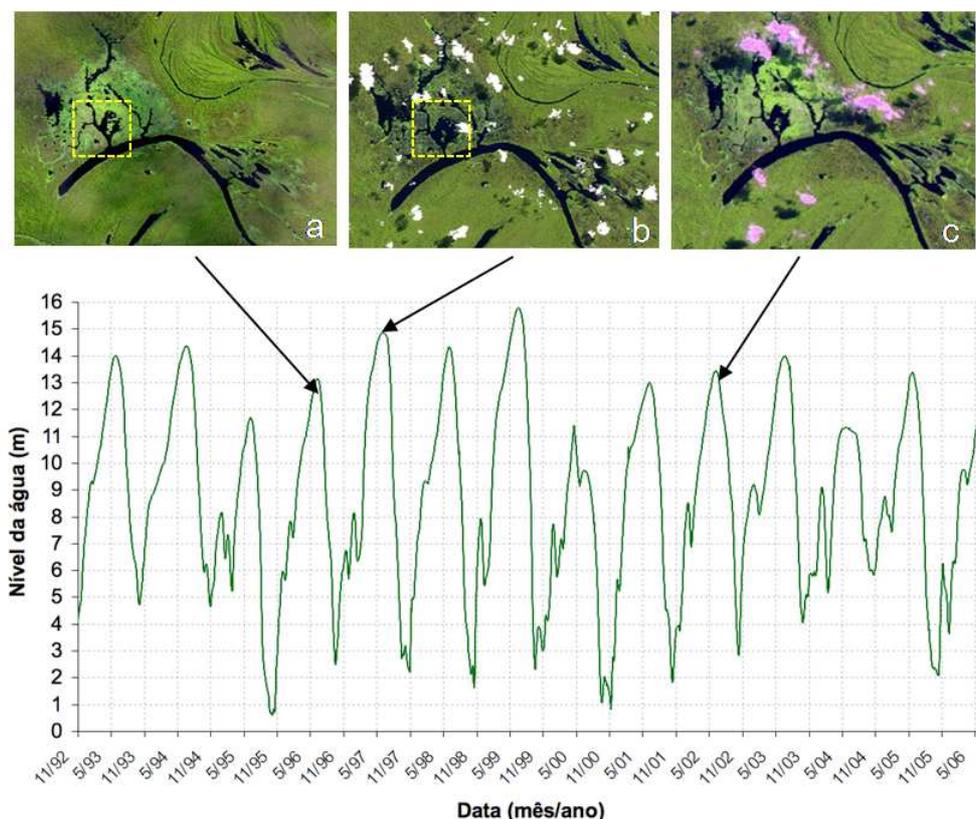


Figura 3.13 – Comparação da cobertura de macrófitas nas águas altas de anos diferentes. Imagens Landsat-TM 5R4G3B. Alta: 9/7/96, 10/6/97 e 2/7/02(ETM+). Setas pretas apontam a cota no dia da aquisição de cada imagem e quadrados amarelos indicam a área apresentada em maior aproximação na Figura 3.13.

Além disso, a análise visual da imagem da enchente de 1997 (Figura 3.15) mostra as macrófitas crescendo vigorosas por toda a área dos lagos Acácio e Saracura (com exceção dos canais principais mais fundos) e nas margens do Anágua. Assumindo que não houve causa de mortalidade em massa das macrófitas entre a enchente e a alta daquele ano, é mais provável que a diferença no sinal dos bancos de 1997 seja devida a alguma diferença entre a alta deste ano e a dos 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 3.16). É por isso provável que o sinal menos brilhante na banda TM-4 (que resulta no verde menos brilhante) dos bancos de macrófitas na alta de 1997 seja

conseqüência da maior quantidade de plantas mortas, que formam um ‘cobertor’ no fundo dos bancos, e do conseqüente maior espaçamento entre as plantas, o que aumenta o efeito espectral da água que está em baixo que por sua vez causa diminuição da refletância.

Apesar da diferença apontada acima, em uma escala mais geral vê-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. Considerou-se, portanto, adequado, usar imagens de anos diferentes para representar as fases da hidrógrafa, procedimento também testado e adotado por Barbosa (2005).

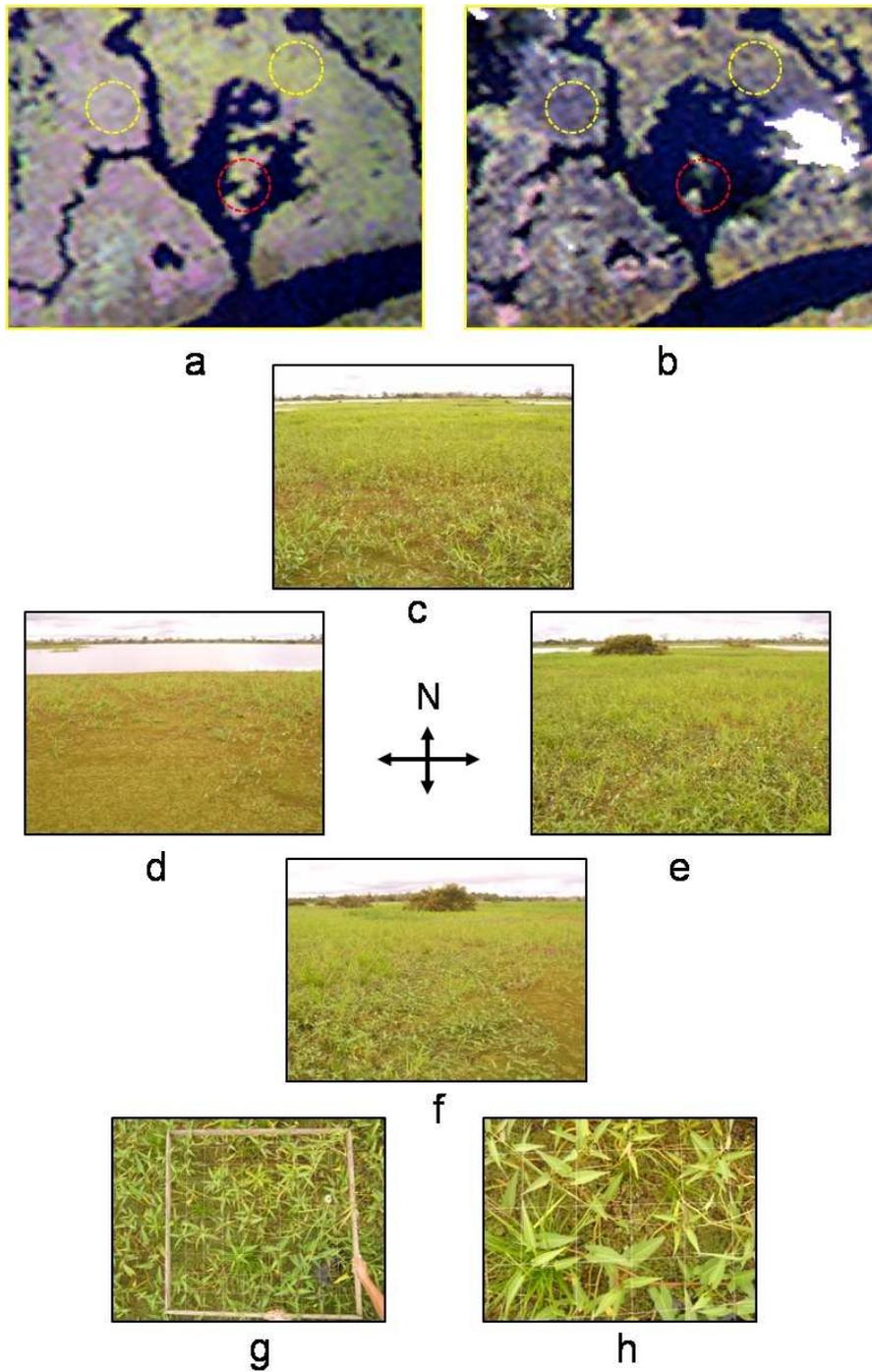


Figura 3.14 – Aproximação das áreas indicadas por um quadrado amarelo rajado na Figura 3.12. (a) e (b) são composições RGB543 que correspondem às imagens da água alta de 1996 e de 1997, respectivamente. De (c) a (f) são fotos nas orientações norte, leste, sul e oeste, respectivamente. (g) e (h) são fotos do quadrante 1x1m com quadrados menores de 10x10cm. As fotos foram tiradas no local demarcado por um círculo vermelho em (a) e (b).

#### **3.4.3.5 Análise visual - comparação inter-sazonal / intra-anual**

Em seguida estudou-se o ciclo das macrófitas aquáticas ao longo das quatro fases da hidrógrafa com o intuito de entender o ciclo do principal alimento do peixe-boi. Na Figura 3.15 podem ser vistas imagens da região do Lago Mamirauá tomadas em seqüência em cada uma das quatro fases do pulso entre 1996 e 1997.

Como pode ser observado, 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, como pode ser observado analisando conjuntamente as Figura 3.15 e Figura 3.16 (na primeira vê-se o sinal alaranjado do solo exposto entremeado por manchas pequenas de cor verde causadas pelas macrófitas que ali crescem e na foto tomada na baixa vê-se o solo exposto e as plantas sobre ele crescendo). Na Figura 3.16 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. A análise das imagens indica que na escala de observação esse processo acontece em sincronia em toda a região de estudo.

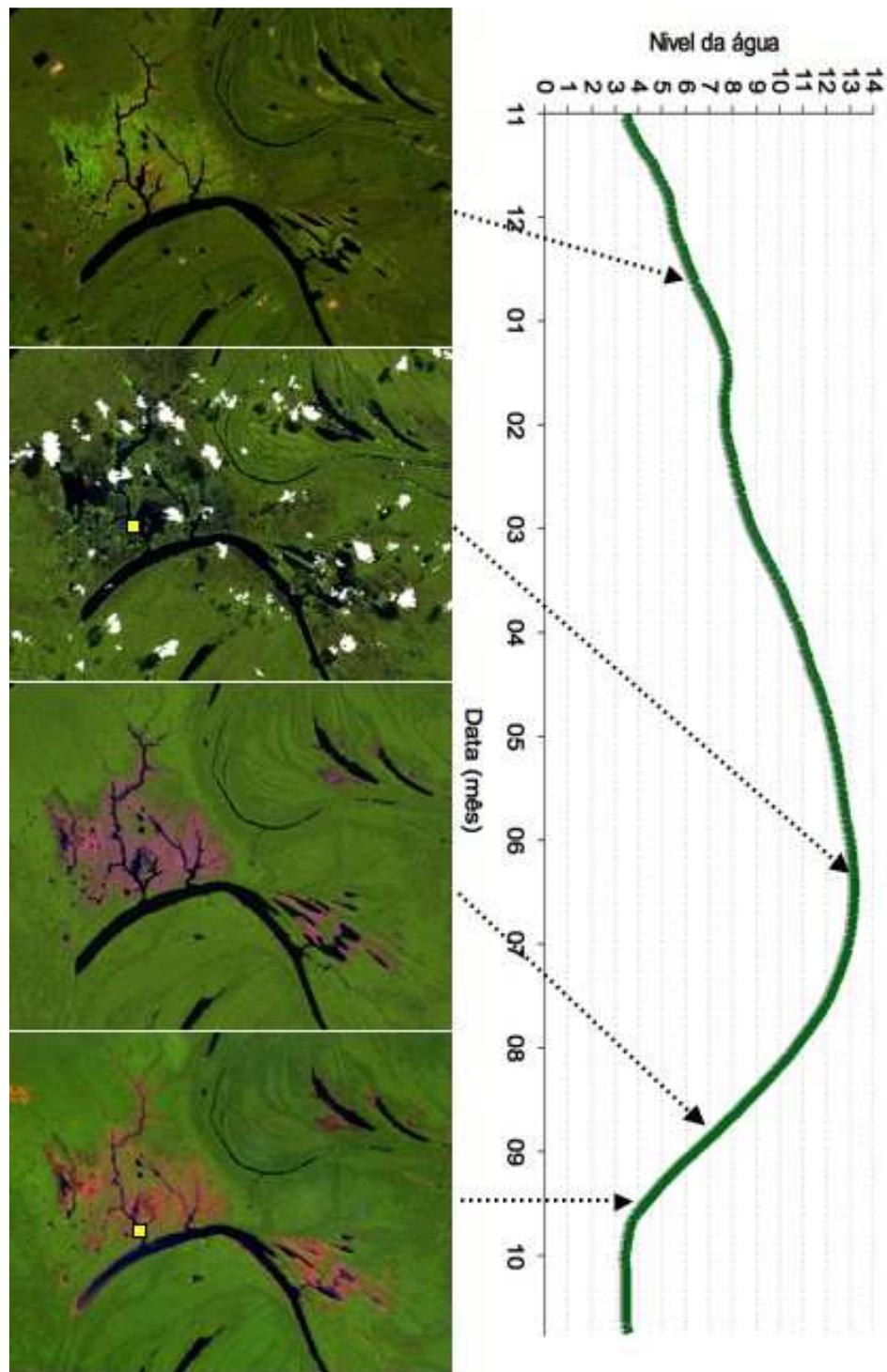


Figura 3.15 – Ciclo das macrófitas na região do Lago Mmirauá no decorrer de um ciclo do pulso de inundação. De cima pra baixo na figura: (data de aquisição da imagem e cota no dia entre parêntesis): enchente (16/12/1996; 6,28m), alta (10/6/1997; 14,86m), vazante (29/8/1997; 7,28m) e baixa (14/9/1997; 4,63m).



Figura 3.16 – Fotos dos dois locais assinalados por um quadrado amarelo na Figura 3.15. Essas fotos foram tomadas nos dias 25/5/06 (final da enchente) e 12/10/05 (água baixa), respectivamente.

#### **3.4.3.6 Classificação**

Feita a análise visual preliminar passou-se à fase de classificação. As classificações foram inicialmente feitas de forma não-supervisionada e posteriormente, supervisionada. Na fase supervisionada foi usado o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MaxVer) com limiar de aceitação de 100%. As amostras de aquisição e teste foram escolhidas, com base nos pontos visitados durante as campanhas de campo de 2005 e 2006 (descritas no capítulo de Dados) e, quando necessário, completadas a partir da escolha de pixels cujo sinal espectral e o contexto indicavam com boa segurança a natureza do alvo. Todos os processamentos foram realizados no aplicativo SPRING 4.3 (INPE, 2006).

Com base na análise conjunta das imagens e do modelo batimétrico foram definidas as seguintes classes: macrófita na água, macrófita não-alagada, mata alagada, mata não-alagada, água aberta e solo exposto.

A qualidade das classificações foi avaliada a partir da matriz de confusão das amostras de aquisição e teste. Na análise das amostras de aquisição e teste o desempenho médio de todas as classificações foi acima de 95%. No entanto, a variabilidade no sinal das macrófitas em diferentes fases do ciclo de vida e a inadequação do sensor TM para discriminar macrófitas em determinadas fases do ciclo (ex. senescentes) de outros alvos tornou-se necessária a edição matricial de algumas classificações. Desta forma, ficou difícil determinar com precisão a acurácia das classificações.

#### **3.4.3.6.1 A acurácia da classificação da vazante foi relativa à sua função da classificação na análise de hábitat**

Na imagem da enchente houve certa confusão entre macrófitas e uma vegetação do tipo arbórea ao redor dos lagos Acácio e Saracura. No entanto, como a principal função dessa classificação era a geração do mapa de hábitat para a análise da migração (descrita no capítulo seguinte) priorizou-se a precisão na classificação das macrófitas mesmo que para isso houvesse certa confusão com outros tipos de vegetação em regiões que não seriam usadas na análise.

#### **3.4.3.7 Edição matricial**

Foi realizada edição matricial apenas na classificação da alta de 1997. Como explicado na seção 3.4.3.4 e ilustrado na Figura 3.12, algumas regiões sabidamente com bancos de macrófitas não apresentaram sinal espectral claramente distinguível do entorno, e como consequência disso não haviam sido classificadas como macrófitas pelo classificador espectral. No entanto, a análise da imagem da enchente anterior mostrou que os lagos estavam, de fato, cobertos por esta vegetação, o que condizia com o conhecimento biológico da dinâmica dessas plantas, baseado tanto na literatura quanto na campanha de campo realizada naquela mesma região na alta de 2005. Foi, portanto, realizada uma edição matricial para inserir a classe macrófita-alagada nessas regiões dos lagos Acácio, Saracura, Anágua e nas bordas do Mamirauá.

#### **3.4.3.8 Mapas de hábitat**

As classificações para geração dos mapas de hábitat foram realizadas sobre quatro imagens, correspondentes a três fases do pulso de inundação: água alta (9/7/1996 e 2/7/2002), vazante (29/8/1997), e baixa (6/10/2005).

O mapa de hábitat da alta foi resultado de uma operação booleana realizada em LEGAL sobre as classificações das águas altas de 1996 e 2002. Essa operação foi necessária porque, com exceção da região do Mamirauá, cada uma das imagens tinha menor cobertura de nuvens nas demais regiões importantes para a análise da migração (Lagos Amanã, Piranha e Castanho). Esse procedimento foi considerado aceitável com base em três observações: 1) a análise preliminar e o estudo de Barbosa (2005) havia mostrado que a mesma fase do pulso podia ser representada por imagens de anos diferentes e 2) na escala espacial das imagens Landsat-TM as regiões de interesse pouco ou nada

mudaram durante os anos estudados e 3) as áreas de vida de cada animal foram calculadas usando localizações de anos diferentes e, portanto, não era necessário representar o estado do hábitat em um ano em particular.

Os dois outros mapas de hábitat foram gerados usando apenas uma imagem de cada fase do ciclo porque suas classificações atingiram acurácia satisfatória e toda as regiões de interesse estavam bem visíveis.

As classes de cobertura incluídas nos mapas de hábitat foram: 1) macrófitas na água (macrófita na água), 2) macrófitas crescendo sobre terra (macrófita não-alagada), 3) mata alagada, 4) mata não-alagada, 5) solo seco e 6) água aberta. Estas foram determinadas com base nos resultados das classificações analisados conjuntamente com o modelo batimétrico, a curva da hidrógrafa e o conhecimento de campo da região.

### **3.5 Deslocamentos dos animais**

#### **3.5.1 Dados de rastreamento VHF**

Os dados de rastreamento foram coletados pela equipe coordenada pela Dr. Miriam Marmontel do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM). Os animais foram rastreados com transmissores VHF. Na maioria dos casos foram usadas embarcações pequenas com motor, mas ocasionalmente foram feitos sobrevôos. Os dados são de qualidade posicional variável: alguns são constituídos por duas coordenadas geográficas e dois azimutes, outros por uma coordenada geográfica e um azimute e outros apenas pelo nome do lago ou ressaca onde o sinal do animal foi detectado (sem posição GPS). São conhecidos os deslocamentos de 10 animais, rastreados usando transmissores VHF por períodos variáveis de tempo (de algumas semanas a dois anos) entre 1994 e 2006 - com exceção do período entre março de 1998 e outubro de 2000, durante o qual não havia animal sendo rastreado. O autor participou da captura e do rastreamento de dois animais, Chico Rola e Sabá Uixi.

#### **3.5.2 Metodologia**

##### **3.5.2.1 Captura**

Em agosto de 2005 o autor participou de uma captura de peixes-boi no Lago Amanã. Durante a captura de 20 a 25 pessoas ficaram em um barco grande durante um mês

inteiro (Figura 3.17). Eram 5 pesquisadores, dois marinheiros e o restante das pessoas eram bons caçadores de peixe-boi moradores das comunidades locais. Foram formadas duas equipes que trabalharam noites alternadas. A partir de conversas com os caçadores locais escolhia-se uma região do lago para armar uma rede de 200m e malha grande que chegava até o fundo, amarravam-se duas latas na ponta que fariam barulho se a rede balançasse e os membros da equipe se dividiam em canoas que ficavam próximas à rede para que se chegasse rápido caso um animal fosse capturado.

Durante o mês de outubro foi capturado um animal, que foi chamado de 'Chico Rola'. Foi fixado um colar VHF (cinto) no pedúnculo caudal dele (Figura 3.18), feita a biometria, e então retirada uma amostra de sangue e uma de pele. O processo todo demorou aproximadamente 45 minutos e após esse tempo o animal foi solto no mesmo lugar onde havia sido capturado.



Figura 3.17 – Barco Mamirauá, usado na captura de 2005 no Lago Amanã.



Figura 3.18 – Fixação do transmissor no Chico Rola.

### 3.5.2.2 Experimento de campo para determinar acurácia posicional dos dados

Nos dias 17, 18 e 20 de setembro e nos dias 5, 6 e 8 de outubro de 2005 foi realizado um experimento de campo no Lago Amanã com o intuito de estimar a acurácia posicional dos dados de rastreamento dos animais coletados entre 1994 e 2006 pela equipe coordenada pela Dra. Miriam Marmontel. Quatro pessoas (os ‘rastreadores’) participaram: Miriam Marmontel, Roberta e Gabriel (estagiários) e o autor. O nível de experiência da equipe era bastante variável: 1) Um rastreador com experiência de alguns anos (Dr. Miriam Marmontel), rastreadores sem experiência- (estagiários rastreando pela primeira vez) rastreador com experiência de alguns meses (Eduardo Arraut). Foram escolhidas pessoas com habilidades tão diferentes porque os dados haviam sido coletados ao longo de vários anos por pesquisadores e estagiários com experiências bastante diferentes com radiotelemetria. Essa variabilidade permitiu que o experimento refletisse de forma mais realista as condições nas quais os dados haviam sido coletados. O transmissor foi posicionado pelos barqueiros Antônio e Beré em 6 locais desconhecidos dos ‘rastreadores’. A fixação deu-se por meio de haste de madeira à qual era amarrada a antena. Essa haste era posicionada a uma profundidade de 1 a 1,5m com a antena direcionada ortogonal ou diagonalmente para a superfície. Os rastreadores foram divididos em dois grupos de 2, cada um em uma embarcação. As embarcações usadas foram uma lancha com motor de 30 hp e uma canoa a remo. Foram tomados azimutes a distâncias de aproximadamente 100, 500 e 1000m e a ângulos

embarcação-transmissor-embarcação de aproximadamente 45, 90 e 120°. Ao final de cada experimento diário o barco era levado até onde estava o transmissor para que a posição dele fosse tomada com o GPS e a orientação da antena anotada.

As triangulações foram realizadas e os erros calculados no aplicativo *Location of a Signal* (LOAS) 4.0b (ESS, 2005). O erro médio foi calculado com base na distribuição de distâncias entre localizações calculadas na triangulação e localizações dos transmissores tomadas com o GPS. Seguindo o padrão comumente adotado em experimentos de radiotelemetria VHF de usar um desvio padrão da distribuição de erros (Kenward, 2001) obteve-se um erro médio de 127m.

No entanto, como mesmo as condições de rastreamento tendo sido variadas o experimento ainda não refletia com exatidão algumas das prováveis situações nas quais os dados foram coletados (pois, por exemplo, geralmente apenas um barco era usado e por isso havia um lapso de tempo entre os dois ou mais azimutes) optou-se por assumir uma acurácia posicional de 300m para as triangulações baseadas nas localizações dos animais.

### **3.5.2.3 Pré-processamento**

O passo inicial consistiu em conferir todas as planilhas de dados de rastreamento em busca de eventuais erros de digitação. Em seguida, todas as coordenadas foram transformadas para que tivessem a mesma unidade (Graus, Minutos e Segundos – GMS).

Nessa fase verificou-se que os dados de rastreamento podiam ser divididos em três grupos, com diferentes acurácias: 1) duas ou três coordenadas geográficas e dois ou três azimutes, respectivamente 2) uma coordenada e um azimute e 3) nome do lago ou ressaca onde o animal havia sido rastreado, i.e., sem coordenada geográfica na planilha. A forma de lidar com cada um deles teve, por isso, que ser diferente.

#### **Triangulações (código 1)**

Os dados que seriam usados nas triangulações foram organizados e exportados para o aplicativo *Location of a Signal* (LOAS) 4.0b (ESS, 2005). Foi usado o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MaxVer) com a opção de usar a melhor bi-angulação caso a triangulação falhasse. Para cada período de aproximadamente 1 mês foi usada uma mesma declinação magnética, calculada usando o aplicativo Declinação Magnética

(LabEEE, 2008). A cada uma das posições calculadas foi associado o código de acurácia 1.

Os resultados das triangulações foram verificados tendo como base uma imagem Landsat-TM adquirida em fase semelhante da hidrógrafa para que fossem retirados eventuais resultados espúrios (ex. animal em terra).

### **Dados com uma localização e um azimute (código 2)**

Quando havia apenas uma localização e um azimute e por isso não era possível fazer triangulação foi estabelecido que a coordenada que representaria o animal seria a própria coordenada do barco de onde o azimute havia sido tomado. A estas localizações atribuiu-se o código de acurácia 2.

### **Escolha de pontos de referência para dados sem posição geográfica (código 3)**

Associado a estas localizações havia apenas o nome do lago ou ressaca onde o sinal do animal havia sido captado, i.e., sem coordenada geográfica associada. Para que fosse possível analisar esses dados geograficamente foi realizado um levantamento em campo. No levantamento foi-se ao lugar (o barqueiro conhecia), tomou-se uma posição no GPS e fez-se o levantamento das macrófitas. A cada localização foi associado o dia e a hora segundo o que havia sido anotado na planilha.

Para evitar que houvesse diferença nas áreas de vida dos animais que fossem decorrentes da escolha desses pontos, a todas as localizações de todos os animais que eram descritas pelo mesmo nome na planilha original foi associada a mesma coordenada geográfica. A essas localizações associou-se o código de acurácia 3.

#### **3.5.2.4 Associação de variáveis às localizações**

Para que posteriormente fosse possível comparar atributos de diferentes áreas de vida a cada localização foram associados valores de variáveis que a caracterizavam, i.e. coletados no mesmo dia e/ou local em que a localização havia sido tomada (em inglês são chamadas *Location Qualifying Variable - LQV*). As variáveis associadas foram de dois tipos: a) ambientais e b) referentes à acurácia posicional da localização. Do tipo (a) foram elas: 1) data, 2) hora, 3) ano, 4) cota no Mamirauá, 5) primeira derivada da cota no Mamirauá, 6) segunda derivada da cota no Mamirauá, 7) cota no Amanã, 8) primeira derivada da cota no Amanã e 9) segunda derivada da cota no Amanã; do tipo (b) foi: 1) código de acurácia posicional (valores de 1 a 3).

### 3.5.2.5 Separação dos movimentos diários dos sazonais

Movimentos diários que seriam a base para o cálculo das áreas de vida foram separados de movimentos de dispersão e/ou migratórios por meio de um algoritmo de detecção de dispersão (Kenward, 2001) do aplicativo Ranges7.14 (Kenward et al. 2007). Os fundamentos do cálculo que é feito por este algoritmo são apresentado no Apêndice B.

No caso dos peixes-boi analisados a ‘dispersão’ que o algoritmo calculava representava de fato a migração. Para calcular quais localizações pertenciam à migração em si e quais pertenciam ao destino migratório cada vez que uma ‘dispersão’ era detectada a planilha de dados era invertida no tempo para que fosse calculada a ‘dispersão’ contrária. As localizações que representavam a migração eram então descartadas da amostra que seria posteriormente usada no cálculo das áreas de vida.

### 3.5.2.6 Cálculo das áreas de vida

As localizações correspondentes aos movimentos diários foram primeiramente visualizadas no aplicativo Ranges 7.14 (Kenward et al., 2007). Como o tamanho amostral para cálculo das áreas de vidas de cada indivíduo era variável, sendo às vezes pequeno, optou-se por agrupar as localizações de um indivíduo em anos diferentes que se sobrepunham espacialmente, desde que tivessem sido tomadas na mesma fase do pulso de inundação. Portanto, a unidade amostral usada foi o indivíduo, com suas localizações de anos diferentes em cada lago ou ressaca agrupadas. O número total de indivíduos  $N$  foi igual a 10 (Tabela 3.4).

Apos vários testes decidiu-se por usar a função Kernel a 95% com parâmetro fixo de suavização. Esta apresentou contornos mais amplos que os algoritmos baseados em distâncias mínimas-de-ligação testados: o Mínimo Polígono Convexo (MCP) e o *Cluster*. A geração de contornos mais amplos foi considerada vantajosa porque algumas das áreas de vida estavam sendo calculadas com um número pequeno  $n$  de amostras ( $n$  variou de 9 a 156); o que além de ser biológica e estatisticamente problemático ainda implicava que as distâncias entre localizações usadas para estimar essas áreas de vida eram grandes demais. Como consequência algoritmos que usam as localizações mais externas para delimitar os limites da área de vida (MCP's) estariam provavelmente sub-representando a área verdadeira e os que usam as distâncias entre localizações adjacentes (*Cluster*) se baseariam em distâncias menores do que as verdadeiras.

No total foram calculadas 10 áreas de vida. Sete nos lagos de planície de inundação Mamirauá, Castanho e Piranha, 3 no Rio Japurá em frente à boca do Mamirauá e 5 no lago Amanã. Cinco dos indivíduos tinham 2 áreas de vida, o que indicava claramente os dois destinos migratórios deles naqueles anos (Tabela 3.4). Na tabela abaixo, N é o número de indivíduos (N=10) e n o número de localizações [6,170]. Há 6 indivíduos com 2 áreas de vida e 4 com apenas uma área de vida.

Tabela 3.4 – Nome atribuído a cada área de vida durante a análise e número de localizações usadas para calcular cada uma. As primeiras três letras são uma abreviação do nome do indivíduo e as segundas três uma abreviação do nome do lugar onde fica a área de vida.

<b>AbrevID lugar</b>	<b>N. locs.</b>	<b>Abreviação dos nomes</b>
ari_jap	18	ari = Chico Ariramba
ari_mam	36	gar = Bento Garcia
gar_mam	43	mat = Matintin
mat_jap	150	mix = Mixirinha
mat_mam	170	pil = Seu Piloto
mix_mam	14	rol = Chico Rola
mix_pag	85	sab = Ze Saba
pil_ama	55	tab = Ze Taboca
rol_ama	19	tic = Ticua
sab_ama	61	uix = Saba Uixi
sab_cas	92	<b>Abreviação e nome do lugar</b>
tab_mam	156	mam = Lago Mamiraua
tic_jap	50	jap = Rio Japurá
tic_mam	58	pag = Lago Pagão
uix_ama	6	ama = Lago Amanã
uix_pir	9	cas = Lago Castanho
		pir = Lago Piranha

### 3.5.2.7 Análise de hábitat

A análise de hábitat foi estruturada de forma que ficasse claro porque os animais permanecem nos lagos da planície de inundação durante a água alta e porque não permanecem ali durante a água baixa; respondendo, conseqüentemente, porque migram. Para tal as áreas de vida foram classificadas em dois grupos em termos de sua posição geográfica: uma área de vida pertence ao grupo **P** se está localizada em um lago da planície de inundação (Mamirauá, Castanho e Piranha) e pertence ao grupo **F** se está fora da planície de inundação (no Rio Japurá em frente à boca do Mamirauá e no Lago

Amanã). Denota-se por  $A_P^i$  a área de vida no grupo **P** do indivíduo  $i$ , chamando a atenção que para  $i = 8, 9$  e  $10$ ,  $A_P^i = \emptyset$ , e por  $A_F^i$  a área de vida no grupo **F** do indivíduo  $i$ , chamando a atenção que para  $i=6$  e  $7$ ,  $A_F^i = \emptyset$ .

Abordou-se o problema em cinco etapas. As três primeiras foram divididas em quatro perguntas respondidas por meio de análise estatística e as duas últimas foram baseadas em argumentações teóricas e na análise do ambiente a ser apresentada no Capítulo 4 (Figura 3.19). A primeira coluna mostra o que foi investigado em cada etapa, a segunda as variáveis envolvidas na análise para responder às perguntas, a terceira o que foi comparado e a quarta a análise estatística usada ou o modelo a partir do qual foram feitas observações qualitativas.

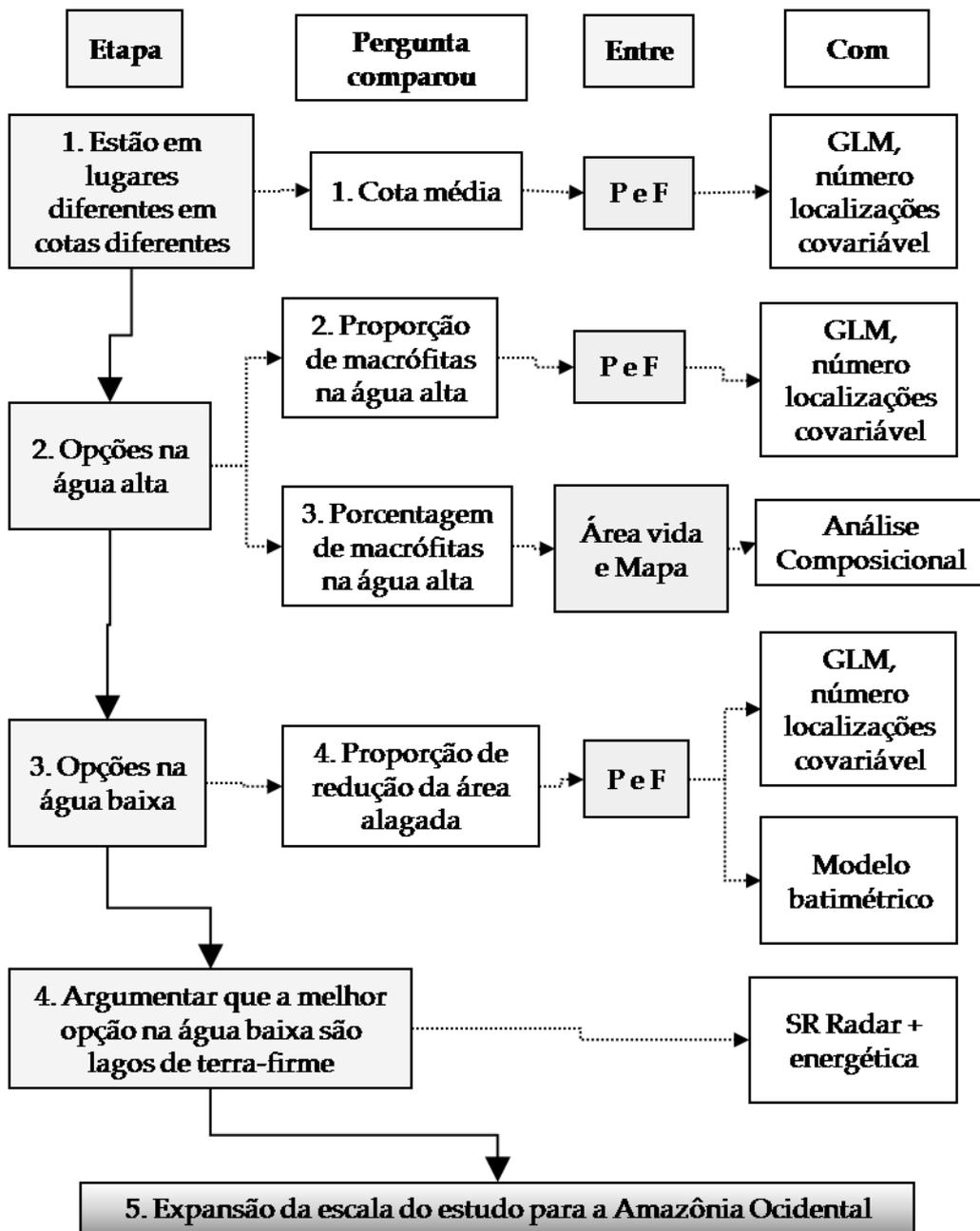


Figura 3.19 – Esquema metodológico da análise do hábitat.

Na primeira etapa investigou-se se as duas áreas de vida de cada indivíduo, separadas com base em critérios espaciais (pelo detector de dispersão), tinham uma cota média diferente. Respondeu-se a pergunta: Há áreas de vida de água alta e de água baixa? Lembrar que a cada localização foi associada à cota do mesmo dia em que a localização foi tomada, i.e. a cota tornou-se um atributo da localização. Estatisticamente, a pergunta 1 foi: há diferença significativa na cota média nas áreas de vida do grupo **P** e do grupo

**F** de um indivíduo? Para testar isso, aplicou-se um Modelo Linear Generalizado (GLM) tendo os indivíduos como ‘fatores’, a cota média por área de vida (calculado com base nas LQV’s) como variável e calcularam-se os erros com base na soma seqüencial dos quadrados.

Na segunda etapa, composta pelas perguntas 2 e 3, analisaram-se as opções dos animais na água alta para entender por que em um momento no qual tinham acesso a todos os rios e lagos da região escolheram permanecer nos lagos da planície? Para responder a esta questão, formulou-se a pergunta 2: tendo como base o mapa de hábitat feito com as duas imagens do início da vazante, há diferença significativa na proporção de macrófitas aquáticas nas áreas de vida no grupo **P** e no grupo **F** de cada indivíduo? Para tal aplicou-se um GLM tendo os indivíduos como ‘fatores’ e a porcentagem de cobertura de macrófitas nas áreas de vida como variável, calculando-se também os erros com base na soma seqüencial dos quadrados.

Tendo sido encontrada diferença significativa na resposta da pergunta 2, a pergunta 3 foi: tendo como base o mapa de hábitat da água alta, a proporção de macrófitas aquáticas dentro das áreas de vida é significativamente maior do que a de macrófitas disponíveis no mapa como um todo (de fato, para este cálculo usou-se a razão dos logaritmos da proporção de cada hábitat, como explicado na seção 2.5.1)? E, além disto, as macrófitas aparecem em primeiro lugar no ordenamento de seletividade do hábitat?

Por fim, na terceira etapa investigou-se porque os animais deixaram a planície de inundação quando a água baixou. Para tal, a pergunta 4 foi: para um indivíduo, a diminuição da área alagada em sua área de vida no grupo **P** é significativamente maior do que aquela de sua área de vida no grupo **F**? Para tal também o GLM foi aplicado tendo os indivíduos como ‘fatores’ e a porcentagem de redução da área alagada nas áreas de vida como variável, calculando-se, também, os erros com base na soma seqüencial dos quadrados. Como se pode observar, o espaço aquático a que se faz referência é bi-dimensional, mas os resultados são analisados à luz da caracterização tri-dimensional do ambiente feita no Capítulo 4.

É importante ressaltar que parte da área de vida de dois animais, que permaneciam a maior parte do tempo mais próximos à margem oeste do Amaná, foi mapeada sobre terra-firme. Isso é razoavelmente comum quando se calculam áreas de vida de animais que vivem em ambientes aquáticos ‘lineares’ para os quais os algoritmos de cálculo de

área de vida ainda não foram adaptados. Como o que importava para a análise era a proporção que um hábitat representava na área total coberta por hábitats dentro de uma área de vida, para contornar este problema foi feita uma normalização tendo como denominador a área total coberta por hábitats dentro de cada área de vida (ao invés de toda a área do polígono que representa a área de vida).

Como pôde ser observado, o indivíduo é a unidade amostral. A pergunta subjacente sempre foi: por que nessa fase do pulso ele está nesse lugar e não em outro? Evitou-se assim que variações individuais interferissem nos resultados, o que seria o caso, por exemplo, se houvesse algum tipo de hierarquia que implicasse que uns ocupavam regiões com mais recursos do que outros. Entretanto, como será visto na seção de Resultados, também são mostradas figuras que comparam os grupos porque mostram que apesar da análise ter sido feita por indivíduo há notoriamente um padrão geral que parece estar relacionado à forma como todos são influenciados pelo ambiente.



## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Introdução**

Os resultados da análise do ambiente, do hábitat e dos deslocamentos são apresentados. Como comentado anteriormente, as características relevantes do ambiente foram selecionadas com base nos estudos qualitativos disponíveis sobre a espécie (Best, 1981;1982;1983; Rosas, 1994; Marmontel et al., dados não publicados, obs. pess.), assim como em uma análise preliminar dos dados de rastreamento, informações de campo obtidas com caçadores na região de estudo e observações em campo. Foram elas: 1) a hidrógrafa (cota absoluta e taxa de variação diária da cota), 2) a profundidade, 3) a área alagada e 4) a área coberta por macrófitas aquáticas. Como será visto, todas estão direta ou indiretamente relacionadas ao pulso de inundação do Rio Solimões e foram, por isso, analisadas segundo uma perspectiva espaço-temporal: no espaço, comparando os lagos da planície de inundação com o de terra-firme Amanã e uma região do Rio Japurá, e no tempo, caracterizando as condições de cada um desses locais nas diferentes fases do pulso de inundação.

### **4.2O pulso de inundação do Rio Solimões na região de estudo**

Na Figura 4.1 é apresentada a hidrógrafa nos lagos Tefé, Mamirauá e Amanã, de 1990 a 2006. Como pode ser observado, o pulso tem um ciclo anual com um máximo de alta na região acontecendo em meados de junho e um mínimo da baixa entre setembro e outubro. Devido à proximidade desses três lagos do Rio Solimões, e ao fato de estarem em uma longitude parecida (nessa região o Rio Solimões escoar no sentido oeste-leste), as curvas nos três lagos tem forma semelhante sendo especialmente parecidas às dos Lagos Tefé e Mamirauá (observe, por exemplo, os anos 1998 e 1999). A principal distinção entre eles ocorreu no ano 2000 quando após apresentarem semelhança no período da enchente a cota no Mamirauá atingiu os 11,5m e em seguida começou a cair rapidamente enquanto o do Tefé continuou a subir até os 16m.

Nos lagos Tefé e Mamirauá o pulso tem amplitude de 8 a 14m enquanto no Amanã a variação é de 5 a 10m. Esta diferença talvez se deva ao fato de o Amanã estar mais longe do Rio Solimões, ligado a ele apenas por paranás (Figura 4.21). É possível também que a diferença no regime de precipitação na bacia que leva água aos lagos

Amanã e Tefé influenciam a amplitude de variação da cota em cada lago. O primeiro encontra-se na margem norte do Rio Solimões e por isto sofre influência do regime de precipitação do hemisfério norte, enquanto o segundo encontra-se na margem sul e sofre influência do regime e precipitação do hemisfério sul.

Na enchente, nos três lagos ocorrem geralmente de 1 a 2 ‘repiquetes’ - os máximos locais que podem ser observados nas Figuras 4.1 e, em maior detalhe, na Figura 4.22. Apesar do curto espaço de tempo para o qual há dados do Amanã, aparentemente os ‘repiquetes’ também têm menor dimensão lá. Outro aspecto notório é a semelhança temporal das três curvas.

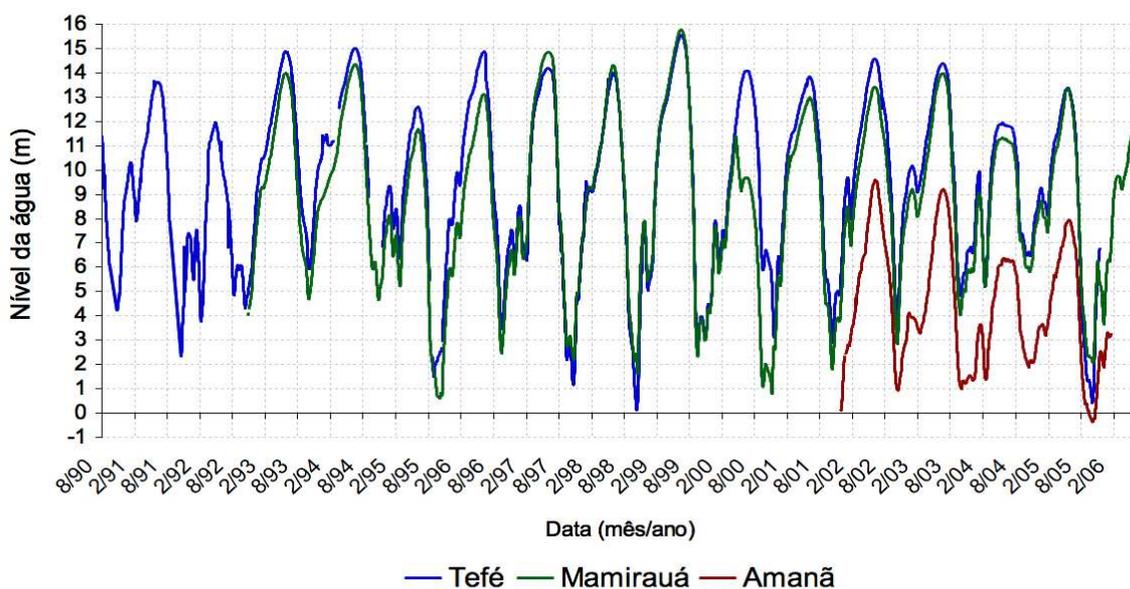


Figura 4.20 – Hidrógrafa nos Lagos Tefé, Mamirauá e Amanã, medido por réguas *in loco*. Dados coletados e cedidos pelo IDSM.

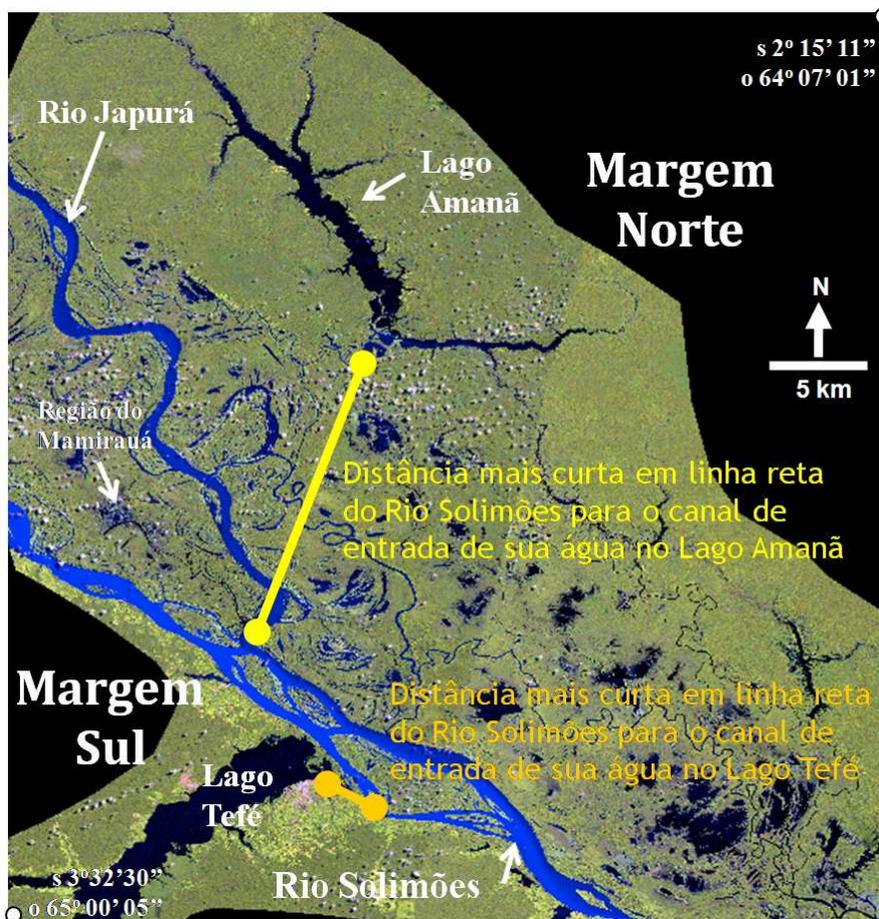


Figura 4.21 - - Distância dos Lagos Amanã e Tefé para Rio Solimões e o fato do primeiro estar na margem norte do Solimões e o segundo na margem sul podem explicar diferença na amplitude de variação da cota nestes dois lagos de terra-firme.

Em resumo, na escala de observação aqui apresentada a hidrógrafa é semelhante nos três lagos. No Amanã, no entanto, ela parece ser uma réplica em menor tamanho da hidrógrafa do Mamirauá e do Tefé.

Não foi possível realizar comparações de cotas absolutas porque as réguas existentes não estão inter-calibradas. Mais ainda, comparações entre cotas absolutas da região do RDSM e RDSA e as de outras regiões da Amazônia (ex. Manaus) também não são possíveis devido à ausência de dados para a inter-calibração dos sistemas.

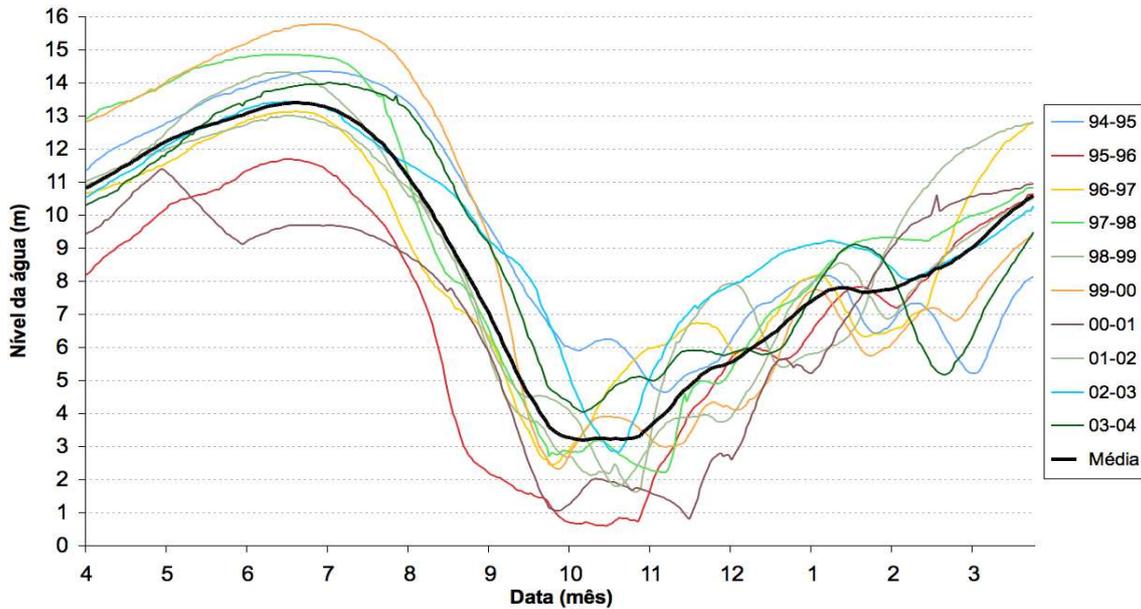


Figura 4.22 – Dez ciclos de pulsos de inundação no Lago Mamirauá (em cores) e pulso médio ( $p_M$ ) em preto.

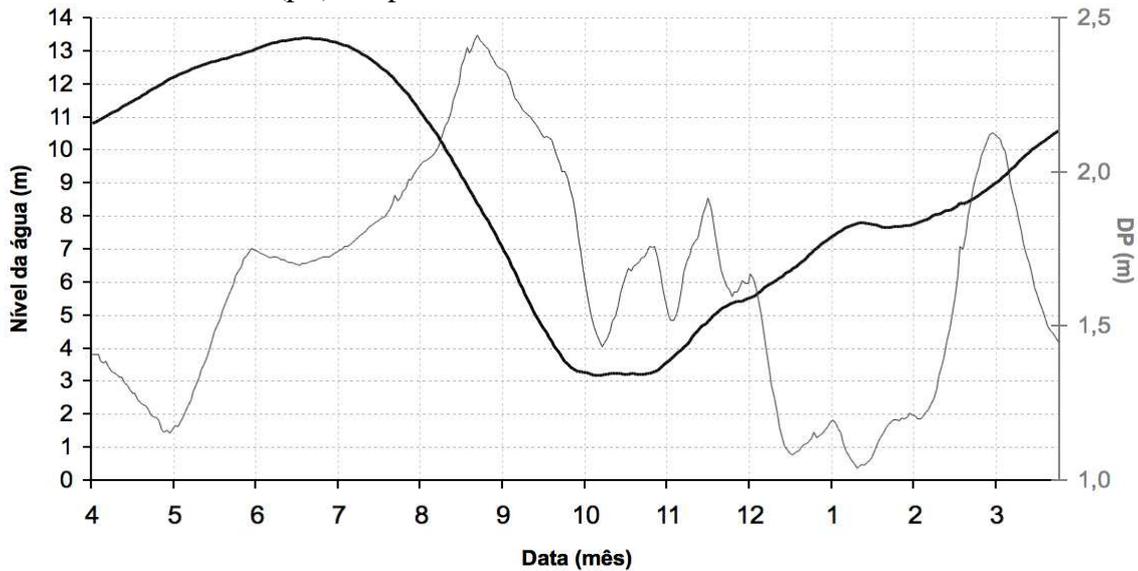


Figura 4.23 – Pulso médio ( $p_M$ ) de 10 ciclos e desvio padrão de  $p_M$  no Lago Mamirauá.

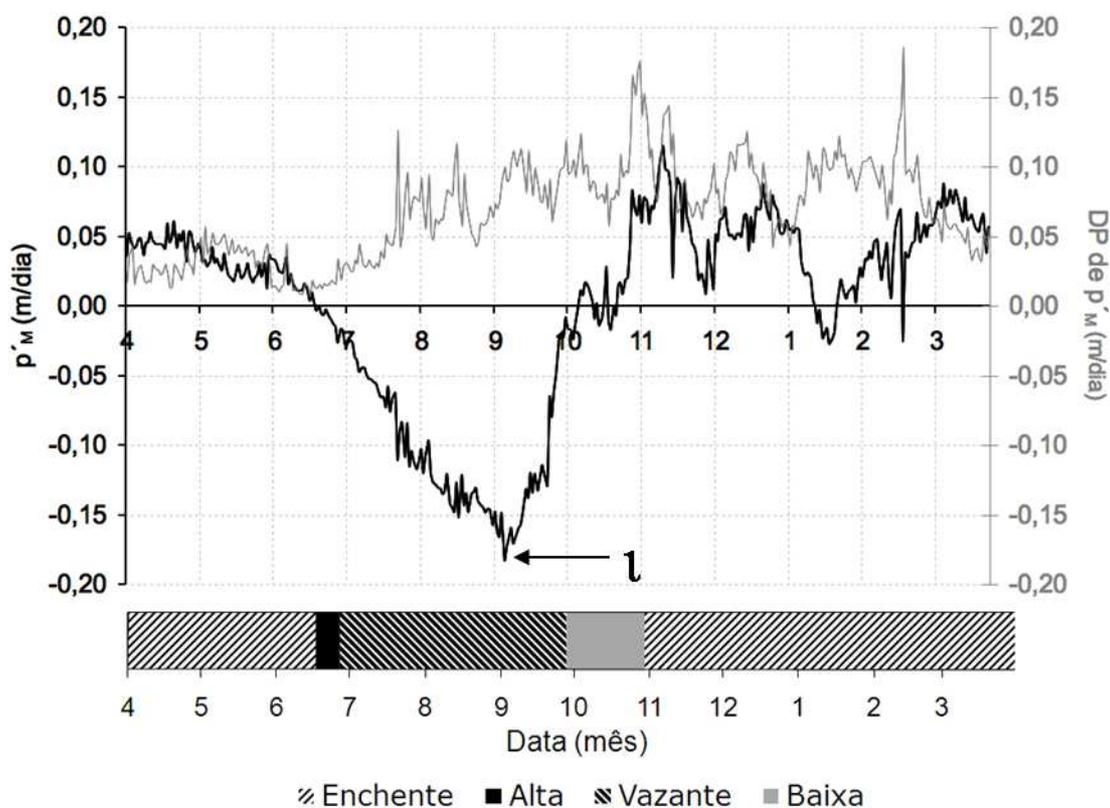


Figura 4.24 – Primeira derivada da cota média ( $p'_M$ ) e desvio padrão de  $p'_M$  no Lago Mimirauá para os mesmos 10 ciclos apresentados nas duas figuras anteriores.  $\tau$  denota o valor mínimo atingido pela derivada, que corresponde ao ponto de inflexão da curva da hidrógrafa da vazante.

Olhando em detalhes a Figura 4.22 percebe-se que há variações consideráveis em anos consecutivos (comparar 94-95 com 95-96, por exemplo). Nesta mesma figura vê-se que ao longo dos anos a forma da curva é mais parecida nas vazantes do que nas enchentes. Enquanto em todos os anos durante a vazante a cota diminui quase continuamente, na enchente ela aumenta de forma mais errática, com ‘repiquetes’ de tamanhos diferentes acontecendo em épocas distintas ano a ano.

Na Figura 4.24 é apresentada a taxa de variação da cota média da água para o mesmo intervalo de 10 anos que aparece nas Figuras 4.2 e 4.3. Observa-se que a taxa de variação da cota em módulo é maior na vazante (0,18m/dia) do que na enchente (0,12m/dia). Fica também claro que a vazante é um fenômeno mais direto do que a enchente – a curva na vazante tem a forma aproximada de uma letra V, ligeiramente assimétrica, enquanto na enchente a taxa de crescimento da cota aumenta e diminui, ocorrendo inclusive situações em que há a diminuição do nível de água indicando uma

inversão do fluxo entre os lagos e o canal principal. Por fim, observa-se que há bastante variação diária na velocidade de aumento ou diminuição da cota.

Uma das perguntas que se fez foi se a partir da cota máxima atingida em uma água alta seria possível ter informações sobre a cota mínima na água baixa seguinte. Tratou-se de um teste cujo objetivo foi entender a previsibilidade para o peixe-boi do nível da água que seria atingido em uma água baixa, para saber se o animal dispõe desta informação antes de ter que decidir migrar ou não. Observa-se na Figura 4.22 que em altas diferentes a cota máxima varia até 6m, variação semelhante à que ocorre entre baixas diferentes. Entretanto, não foi encontrada correlação entre a cota máxima de uma alta e a cota mínima da baixa subsequente no Mamirauá ( $F=3,75$   $p>0,081$ ;  $n=11$ ); i.e., altas com cota maior não são necessariamente seguidas por baixas com cotas maiores (Figura 4.25). Isto indica que provavelmente o animal tem que decidir por migrar ou não antes de saber quão baixo será o nível da água na baixa seguinte.

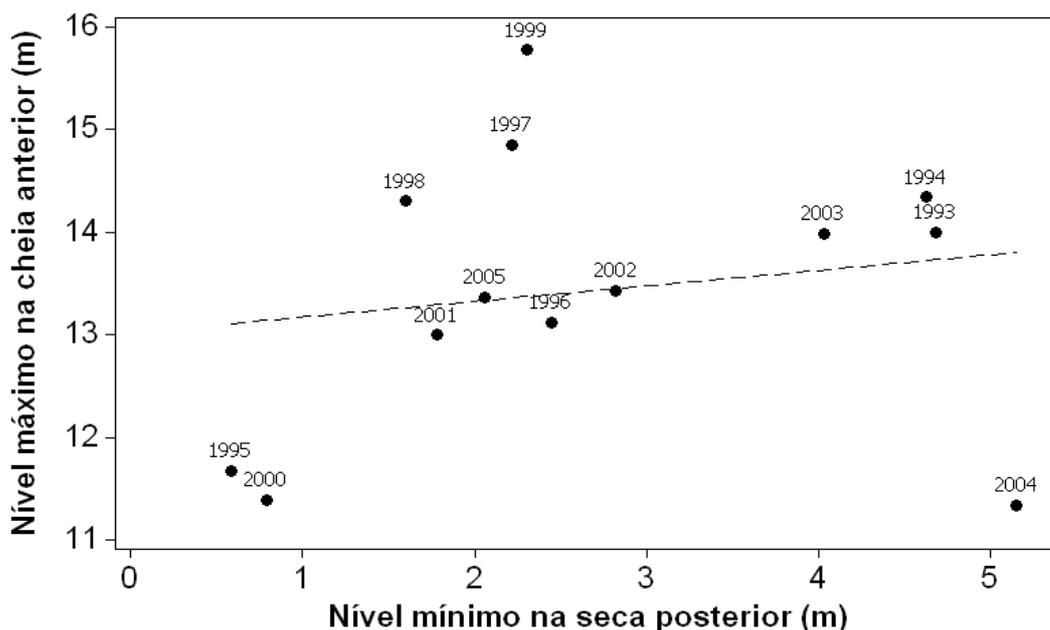


Figura 4.25 – Não é possível prever a cota mínima de uma baixa a partir da cota máxima da alta anterior.

#### 4.2.1 Definição das quatro fases da hidrógrafa

A partir dos gráficos da função pulso médio  $p_M$  (Figura 4.23) e da primeira derivada do pulso médio  $p'_M$  (Figura 4.24) foram definidas as quatro fases da hidrógrafa. A definição foi baseada no teorema fundamental do cálculo, que demonstra que toda

função a valores reais e contínua, definida em um intervalo fechado da reta, possui um ponto de máximo e um ponto de mínimo. Olhando-se a Figura 4.23 nota-se que existe um dia  $\gamma = (21 \text{ junho})$  tal que  $p_M$  atinge o máximo absoluto e, portanto,  $p'_M(\gamma) = 0$ .  $p_M(\gamma)$  será chamado o pico da alta. O intervalo de confiança associado ao nível de significância  $\alpha = 0,05$  ( $n = 10$ ) em torno do dia no qual  $p'_M(\gamma) = 0$  é  $-0,010 < p'_M(\gamma) < 0,008$ . Este corresponde ao período  $\mathbf{A} = [17 \text{ junho}, 26 \text{ junho}]$  que será chamado: a alta. Também existe pelo menos um dia  $\delta$  tal que  $p_M$  atinge um mínimo absoluto e, portanto,  $p'_M(\delta) = 0$  (Figura 4.24).  $p_M(\delta)$  será chamado o pico da baixa. Nota-se também que  $\delta$  está contido no período  $[8 \text{ outubro}, 23 \text{ outubro}]$  em que os valores de  $p'_M$  oscilam em torno de 0. Diferentemente do pico da alta, que ocorre apenas um dia por ano, o pico da baixa pode ocorrer em vários dias. Por isso para construir o intervalo de confiança do pico da baixa utilizou-se o período  $[8 \text{ outubro}, 23 \text{ outubro}]$ , no lugar de um dia como no caso da construção do intervalo de confiança do pico da alta. Tomando-se o valor de  $p'_M(8) = -0,004$  (o início do período), constrói-se um intervalo de confiança associado ao nível de significância  $\alpha = 0,05$  ( $n = 10$ ) e obtém-se  $-0,069 < p'_M(8) < 0,061$ . Este intervalo de confiança corresponde ao período  $[28 \text{ setembro}, 30 \text{ outubro}]$ . Analogamente, a partir de  $p'_M(23) = 0$  (o fim do período) obtém-se  $-0,048 < p'_M(23) < 0,048$ . Este corresponde ao intervalo  $[30 \text{ setembro}, 30 \text{ outubro}]$ . O período  $\mathbf{B}$  é formado pelo primeiro dia à esquerda e pelo último à direita, i.e.,  $\mathbf{B} = [28 \text{ setembro}, 30 \text{ outubro}]$ , que será chamado: a baixa.

A partir dos limites encontrados para os intervalos do pico da alta e da baixa encontra-se que o período  $\mathbf{E} = [31 \text{ outubro}, 16 \text{ junho}]$  corresponde à enchente e  $\mathbf{V} = [27 \text{ junho}, 27 \text{ setembro}]$  à vazante.

Olhando-se a curva na Figura 4.4 nota-se que existe um dia  $\iota = (7 \text{ setembro})$  tal que  $p'_M(\iota) = -0,184 \text{ m/dia}$ , que é o seu valor de mínimo absoluto.  $\iota$  é um ponto de inflexão de  $p_M$ . Construindo-se um intervalo de confiança em torno de  $p'_M(\iota)$  associado ao nível de significância  $\alpha = 0,05$  ( $n = 10$ ) obtém-se o correspondente período  $\mathbf{I} = [21 \text{ agosto}, 17 \text{ setembro}]$ .

A definição proposta acima tem base matemática e, portanto, objetiva. Ela pode ser usada para definir as quatro fases da hidrógrafa em qualquer região. As aplicações disso são grandes, por exemplo, porque permite que os períodos de ocorrência das fases dos

pulsos de inundação de diferentes rios da Amazônia sejam comparáveis em uma escala temporal de um dia (ou o limite imposto pela frequência de amostragem), ou que se saiba se imagens orbitais adquiridas em anos distintos são de fato da mesma fase do pulso, dentre outras coisas.

#### **4.2.2 Características do pulso determinadas a partir da análise da hidrógrafa**

Como se pode observar na Figura 4.24, as quatro fases da hidrógrafa possuem duração bastante diferente. A alta dura apenas 10 dias é a mais curta. A baixa vem em segundo lugar, com 33 dias de duração. A vazante dura 93 dias e a enchente 229 dias. Fica dessa forma claro que a enchente é a fase mais longa, ocupando aproximadamente 7 meses e meio do ano, seguida pela vazante, baixa e, por fim, pela alta.

A análise também mostra que no que diz respeito à estabilidade da cota, estritamente falando a alta em um ano qualquer é extremamente breve (Figura 4.24). Na escala de observação permitida pela amostragem, em um dado ano a cota aumenta até atingir seu ponto máximo, permanece no máximo por um período que pode variar de 2 a 7 dias, e então começa a diminuir.

A baixa, por outro lado, é um fenômeno mais duradouro. Nesta fase a cota permanece razoavelmente estável (os valores de  $p'_M$  oscilam em torno de 0) durante aproximadamente 1 mês. Vê-se também que a variação máxima entre altas é semelhante àquela entre baixas (em torno de 6,5m). Além disto, observa-se que as vazantes formam curvas quase paralelas enquanto as enchentes formam curvas erráticas que se cruzam várias vezes (Figura 4.22). Este maior cruzamento das curvas da enchente parece estar relacionado a outro fenômeno marcante que geralmente ocorre duas vezes por ano nessa fase, o 'repique' (Figura 4.22 e Figura 4.23). Observa-se também que o desvio padrão de  $p_M$  na época do segundo repique é notoriamente menor que na época do primeiro, como mostra a Figura 4.23.

#### **4.3 Modelo batimétrico**

Na Figura 4.26 é apresentado o fatiamento do modelo calibrado para a alta máxima do ano 2002 (19 junho) nos Lagos Mamirauá e Amanã. À primeira vista observa-se que o Lago Mamirauá tem profundidade bem mais heterogênea (de 8m a 38m) que o Amanã. Enquanto no primeiro a profundidade varia de 8 a 38m, no segundo varia de 8 a 16m.

Nas regiões preferidas pelos peixes-boi rastreados o dois lagos tem profundidade semelhante, variando mais ou menos de 8 a 16m, apesar dos Lagos Acácio, Saracura e Anágua (apenas o canal principal pode ser visto) serem ainda mais rasos que qualquer parte do Amanã (como será visto mais adiante, os Lagos Acácio, Saracura e Anágua e a cabeceira do Mamirauá são as regiões preferidas dos peixes-boi).

No Mamirauá, a profundidade cai dramaticamente na sua porção mais a leste (tons de azul). Exatamente no meio da curva que faz para o sudoeste o lago tem um poço que chega aos 38m. Profundidade semelhante foi encontrada apenas no Rio Japurá próximo à boca do próprio Mamirauá (não mostrado na figura). Diferentemente do que ocorre no Mamirauá, nos 40km de extensão do Amanã a profundidade não varia mais do que 4m, quase tudo estando entre 10 e 14m.

No modelo calibrado para a cota mínima atingida na baixa de 2005 (19 outubro) pode ser visto que o Amanã é em média mais fundo do que as regiões ao norte e a leste do Mamirauá (Figura 4.27). Neste último os lagos Acácio, Saracura e Anágua, além de sua própria cabeceira, secaram completamente naquela baixa ao ponto de se tornar possível caminhar por qualquer lugar deles (obs. pess.). No Amanã, por outro lado, mesmo no pico da baixa ainda havia extensa área aquática; a cota mínima variava de 2 a 4m.

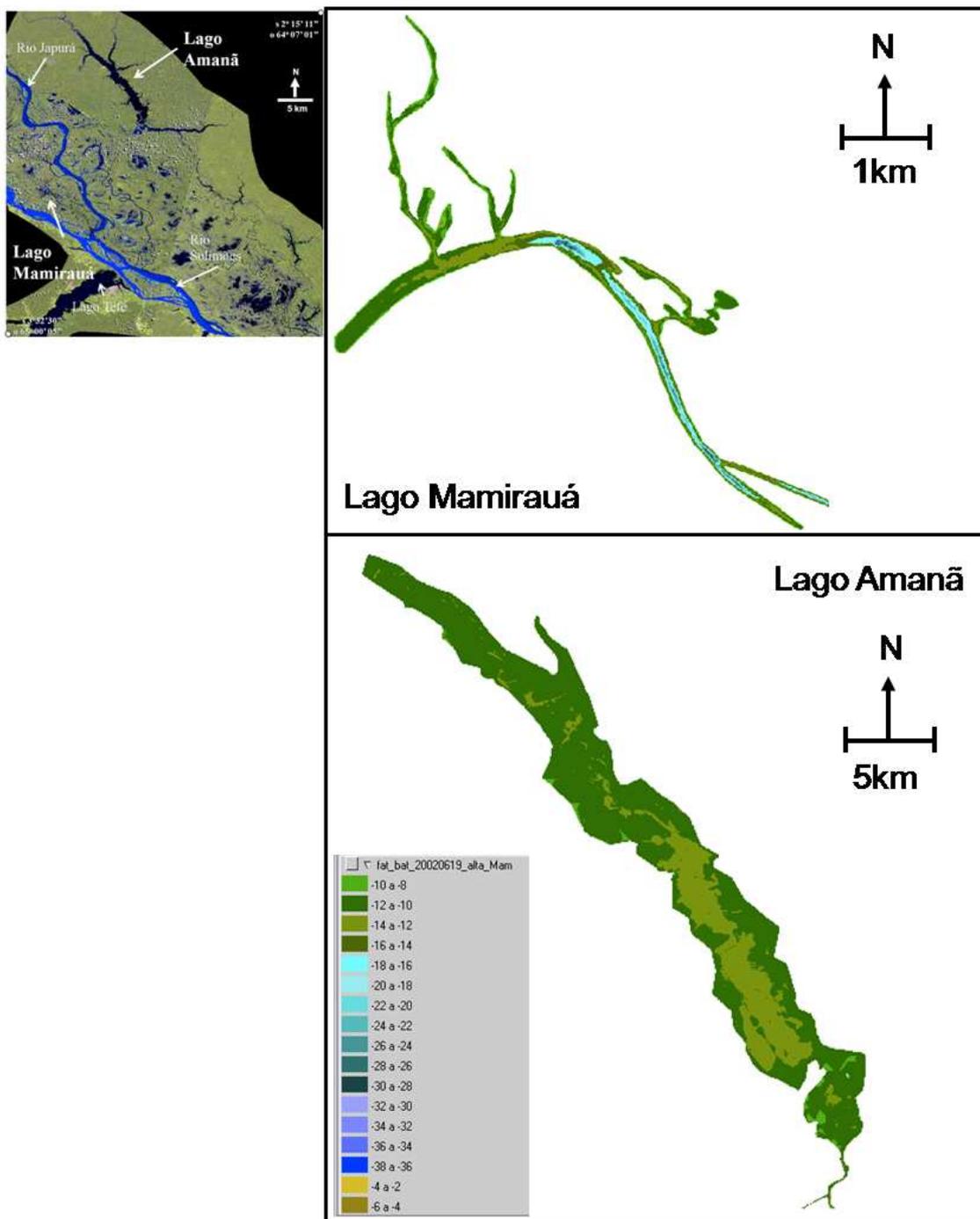


Figura 4.26 – Fatiamento do modelo batimétrico calibrado com a cota correspondente à alta do ano 2002 (19 junho) nos Lagos Mimirauá (13.43m) e Amanã (9,59m). Notar como a região da cabeceira do Mimirauá e dos Lagos Acácio, Saracura e Anágua tem profundidade semelhante ao Amanã. No geral, no entanto, o Mimirauá tem profundidades bem mais variáveis.

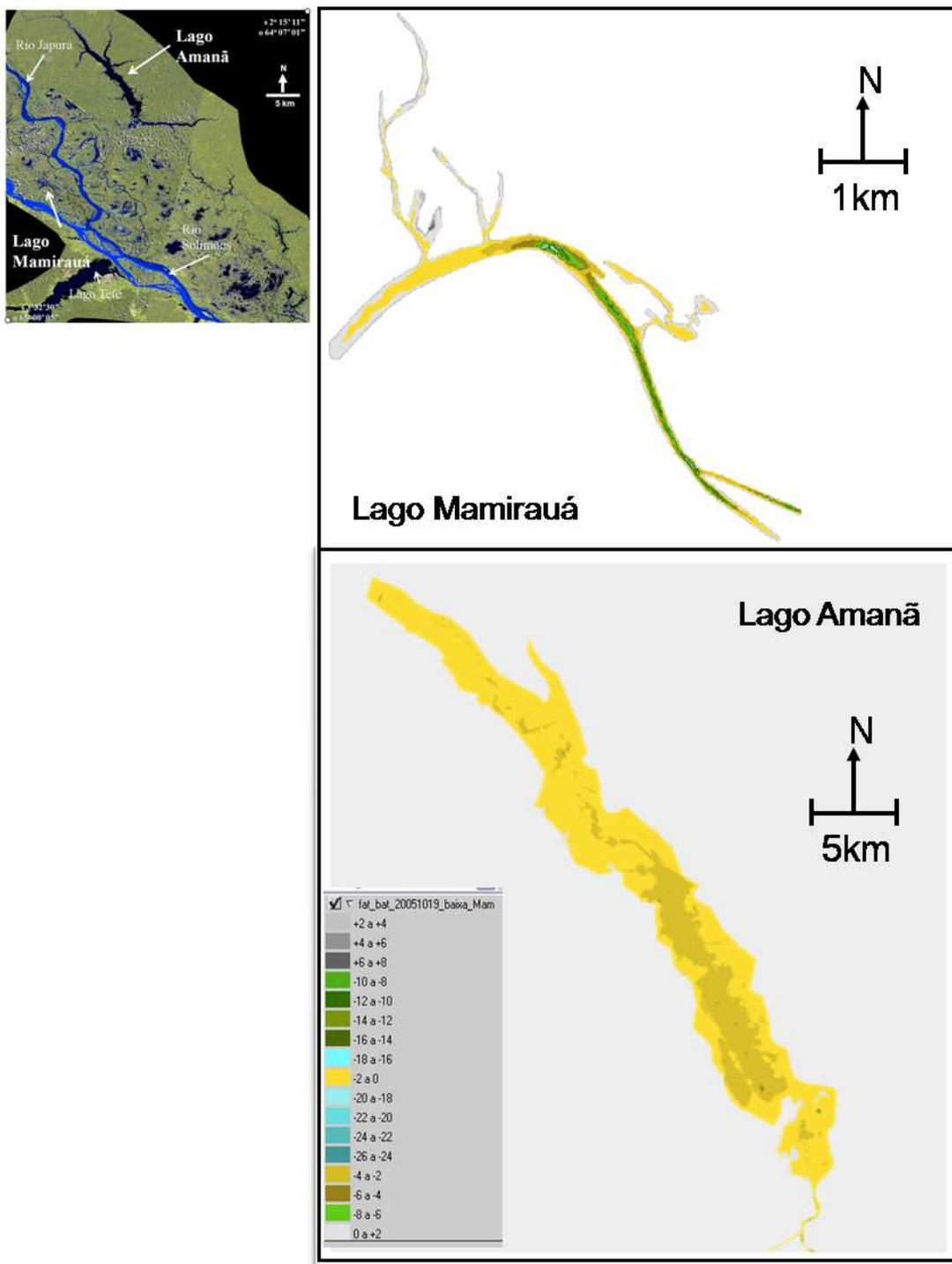


Figura 4.27 – Fatiamento do modelo batimétrico calibrado com a cota correspondente à abaixo do ano 2005 (19 outubro) nos Lagos Mimirauá (2,1m) e Amanã (-0,38m). Notar como apesar de ambos estarem bem rasos o Amanã possui áreas bem mais extensas com profundidades na classe de 2 a 4m. O modelo batimétrico mostrou que a profundidade nos lagos e rios da região de estudo é bastante variável. Na alta ela vai de menos de 6 (nos Lagos Acácio, Saracura e Anágua)

a 42m na pequena região onde o Mamirauá faz uma curva para o sudoeste (Figura 4.26). Em contraste, no Amanã a profundidade é mais homogênea, variando de 8 a 16m. No paraná do Cubuá varia de 16 a 34m, estando as regiões mais fundas nos lados mais abertos das curvas. No Rio Japurá ela vai de 26m na região entre o canal do Apára e o Cubuá a 44m na frente da Boca do Mamirauá.

Na baixa, por outro lado, toda a região norte do Mamirauá, incluindo os sub-lagos, fica praticamente seca (Figura 4.27). A menor amplitude da hidrógrafa no Amanã faz com que na baixa ele seja mais fundo que a região norte do Mamirauá. Nota-se dessa forma que apesar de o Mamirauá ter profundidade absoluta maior, nas regiões preferidas dos peixes-boi (como será visto na seção Análise de hábitat) ele é de fato igual ou mais raso na alta e notoriamente mais raso na baixa.

#### **4.4 Mapas de hábitat**

Os mapas de hábitat da água alta e da água baixa são apresentados na Figura 4.28 e na Figura 4.29, respectivamente.

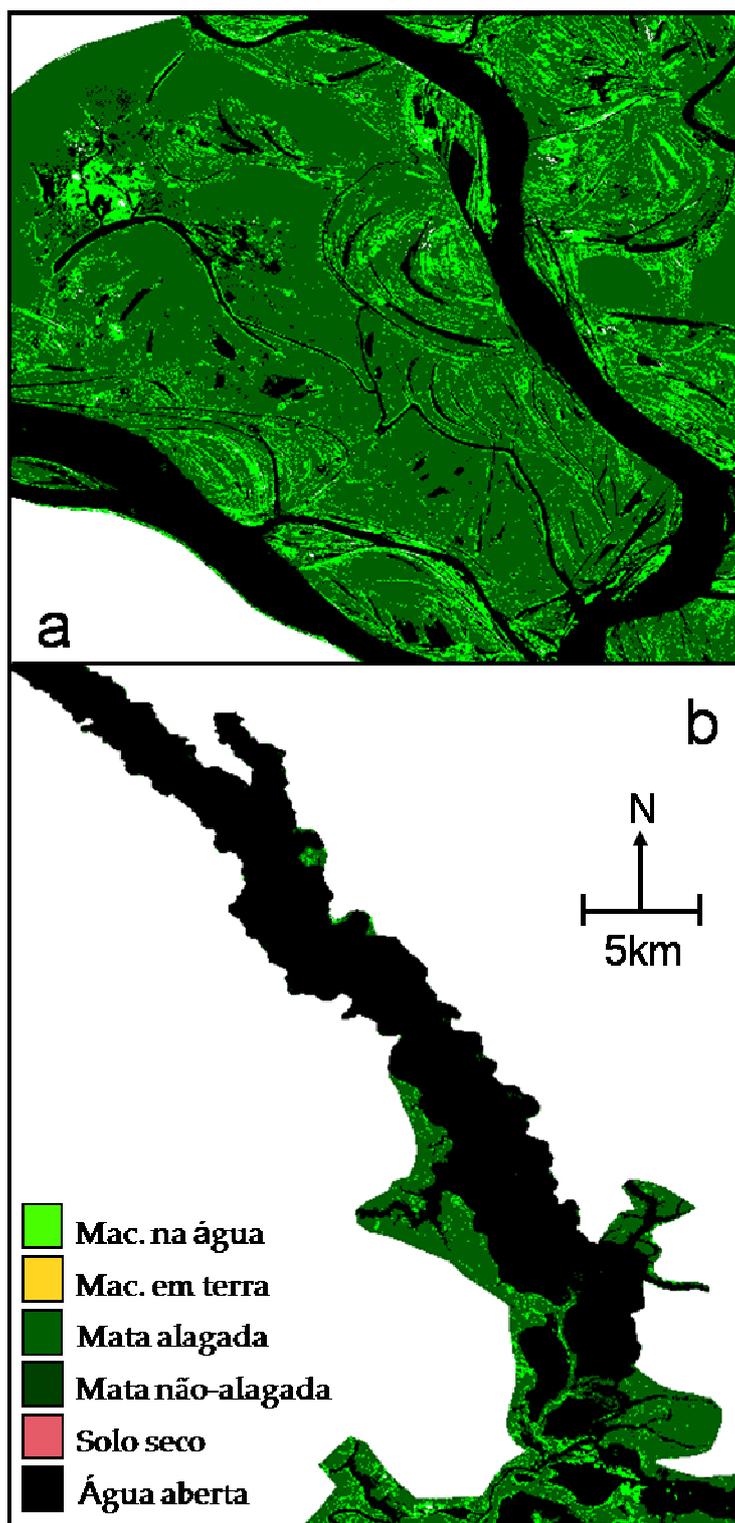


Figura 4.28 – Sub-quadrantes do mapa de hábitat da água alta, mostrando região do Lago Mamirauá (a) e do Lago Amanã (b).

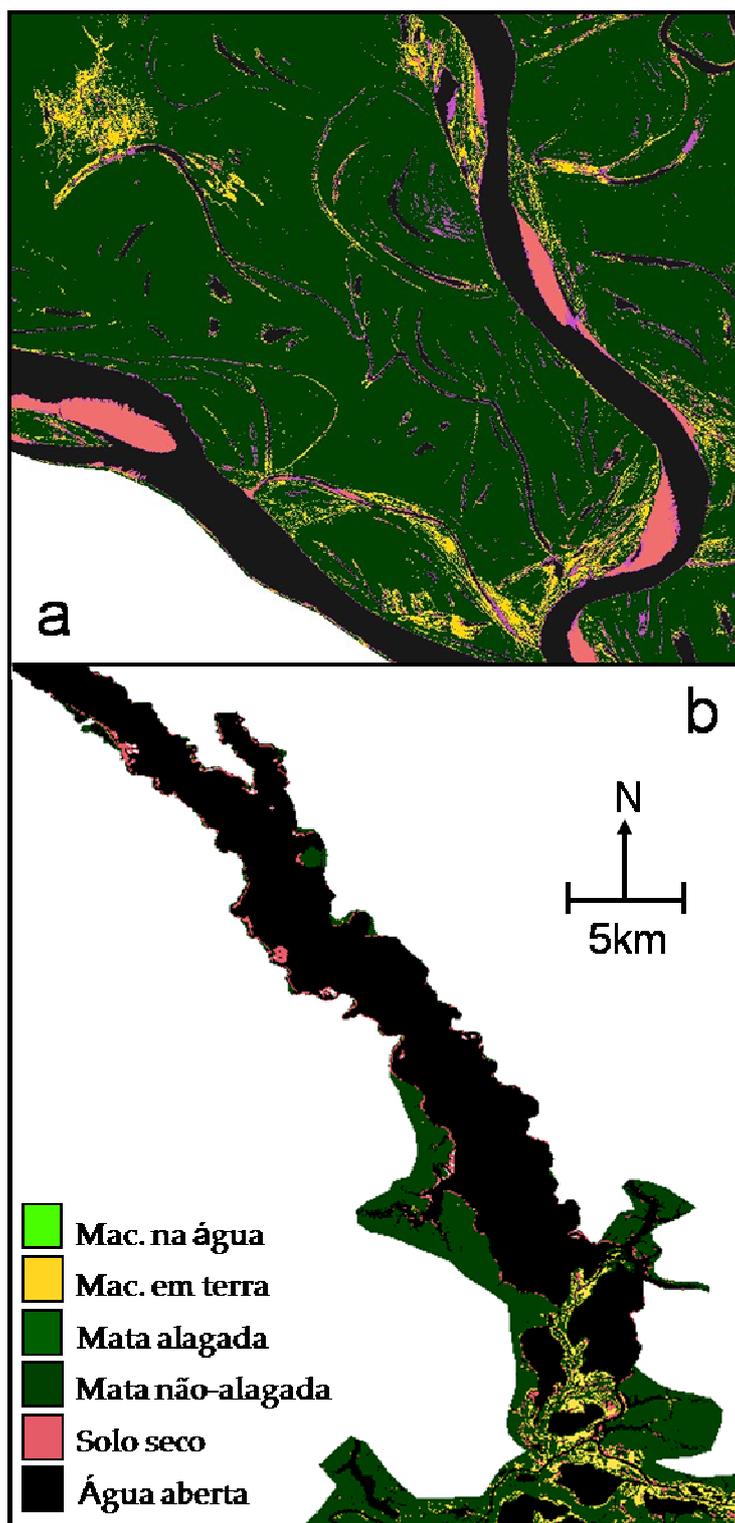


Figura 4.29 - Sub-quadrantes do mapa de hábitat da baixa, mostrando região do Lago Mamirauá (a) e do Lago Amanã (b). A região do médio Rio Solimões é formada por matas altas que rodeiam lagos estreitos e rios meândricos. Na água alta os bancos de macrófitas aquáticas ocorreram

principalmente nos lagos da planície, dentro da mata alagada e às margens dos rios. Os maiores e mais densos foram encontrados nos lagos da planície. Normalmente eram formados por espécies enraizadas (ex. *Echinochloa polystachya*, *Hymenachne amplexicaulis* e *Paspalum repens*), e entre os indivíduos da espécie predominante ocorreram outras espécies de menor porte, flutuantes (ex. *Salvinia* sp.), que formavam um tapete ao ponto de praticamente não restar superfície aquática descoberta. No interior das matas alagadas os bancos encontrados foram mais esparsos e menores, mas a amostra pequena não permite que se façam observações mais gerais. Já às margens dos rios os bancos encontrados eram densos e formados por plantas enraizadas ou fixas às margens, mas, por causa da maior correnteza, a ocorrência de plantas flutuantes entre os indivíduos enraizados foi muito mais baixa do que nos bancos dos lagos da planície de inundação.

#### **4.50 ambiente do ponto de vista do peixe-boi**

Como o foco deste trabalho é o peixe-boi, discutem-se as características do ambiente que a literatura e o conhecimento de campo fazem supor serem importantes para ele, principalmente no que diz respeito à sua migração. Optou-se também por discutir cada fase do pulso de inundação separadamente, tendo em vista que cada uma possui peculiaridades relevantes para a vida do animal.

##### **Alta**

Com a cota no nível máximo os lagos da planície, a floresta alagada e os rios formam um ambiente aquático contínuo e interligado aos lagos de terra-firme. Os animais têm por isso livre acesso a todos os lugares. O alimento é abundante em toda a planície e na região sul do Amanã onde a água preta se mistura com a água branca vinda do Solimões. A floresta alagada e os densos bancos de macrófitas oferecem abrigo contra potenciais predadores.

##### **Vazante**

Com a diminuição da cota, a profundidade diminui em toda a planície. Mais ainda, há evidências de que a extensão da diminuição é imprevisível para os animais (Figura 4.25). Se a redução não for muito grande, alguns lagos da planície podem permanecer conectados aos principais cursos d'água. Se, por outro lado, a cota descer muito, boa

parte destes secará e a conectividade será perdida. As macrófitas começam a morrer e há bancos que se desprendem e ficam à deriva. O alimento gradualmente vai ficando escasso tanto nos lagos da planície quanto nos de terra-firme. Além disso, como a deposição do sedimento trazido na água alta anterior, a profundidade pode ter mudado em alguns pontos da rota migratória, o que é mais grave nas regiões que já estavam mais rasas. Como o modelo batimétrico mostra, há ao menos uma região na rota migratória entre o Mamirauá e o Amanã que, quando seca, o faz antes dos lagos Acácio, Saracura e Anágua.

### **Baixa**

Na baixa, o volume de água se reduz drasticamente. O solo da floresta deixa de estar saturado com água e ela passa a se comportar como uma floresta não alagada, ficando inclusive mais exuberante devido à remoção do estresse hídrico. Os lagos da planície de inundação e os de terra-firme se reduzem – estes últimos, no entanto, sofrem menor redução de volume do que os primeiros. Em alguns anos, pode haver perda da conectividade entre os lagos da planície de inundação e os rios. As macrófitas passam pela fase terrestre e por isso não há alimento de boa qualidade disponível para o peixe-boi.

### **Enchente**

Com a subida da água, as macrófitas que cresceram em terra durante a baixa ficam submersas pela primeira vez e disponíveis para os peixes-boi que há alguns meses estavam jejuando ou se alimentando de detritos do fundo. As macrófitas com ciclo aquático começam a crescer acompanhando a subida da água ou de forma flutuante, formando uma ampla cobertura especialmente nos lagos da planície de inundação e em regiões de pouca correnteza e água branca. Nos lagos de terra-firme, que possuem água preta, há maior crescimento de macrófitas nas regiões onde há mistura entre a água branca vinda do Rio Solimões e a água do próprio lago, mas onde a água é predominantemente preta o crescimento de macrófitas é bastante reduzido. Além disso, gradualmente a conectividade entre os lagos e rios é re-estabelecida e o ambiente aquático vai se interconectando até que volta a formar uma massa de água contínua que inclui tanto os lagos da planície, quanto a floresta no entorno e os lagos de terra-firme. Os peixes e os jacarés retornam para as regiões de floresta alagada.

#### **4.6 Análise de hábitat**

O propósito da análise de hábitat foi elucidar as causas ambientais para a migração do peixe-boi. A migração, como explicado anteriormente, dá-se quando os animais deixam uma região em prol de outra, presumivelmente porque encontram, na última, condições de vida melhores durante um determinado período. Na região de estudo, os peixes-boi migram na vazante e na enchente. Na primeira, quando deixam os lagos da planície de inundação para passar a água baixa no Rio Japurá ou no Lago Amanã. Na segunda, quando voltam para passar a água alta nos lagos da planície.

Nesta seção, o conhecimento sobre as razões que levam o peixe-boi a migrar é testado de forma quantitativa. Até onde sabemos, pela primeira vez. A pergunta principal que se procurou responder foi: Por que os peixes-boi possuem áreas de vida sazonais? E, conseqüentemente, por que migram? Para respondê-la, foram formuladas quatro perguntas intermediárias, analisadas separadamente a seguir:

##### **Pergunta 1: Peixes-boi possuem áreas de vida de água alta e de água baixa?**

As hipóteses foram:

H<sub>10</sub>: Não há diferença significativa na cota média das localizações que compõem as áreas de vida dos grupos P e F de cada indivíduo.

H<sub>1a</sub>: Há diferença significativa.

Como pode ser observado na Figura 4.30, nos cinco casos nos quais os indivíduos possuíam áreas de vida nas duas categorias de análise, as cotas médias das do grupo **P** foram maiores as das do grupo **F** (lembrando que o valor da cota no dia em que a localização foi tomada foi associado como um atributo da própria localização, como explicado na seção 3.5.2.4). Além disto, dentre os cinco indivíduos com apenas uma área de vida, os dois com área no grupo **P** possuíam uma cota média notoriamente maior do que os três com áreas de vida apenas no grupo **F**. No total, a cota média do grupo **P** foi 9,55m (DP=1,11m, n=7) enquanto a do grupo **F** foi 5,85m (DP=0,85m, n=8).

O resultado do GLM, com o número de localizações usadas para estimar cada área de vida como covariável, foi  $R^2=98.87\%$  (n=10, p=0.001), o que indicou que há diferença

significativa na cota média das áreas de vida dos dois grupos e que, portanto,  $H_0$  foi rejeitada.

**Resultado 1: Machos possuem áreas de vida de água alta e de água baixa.**

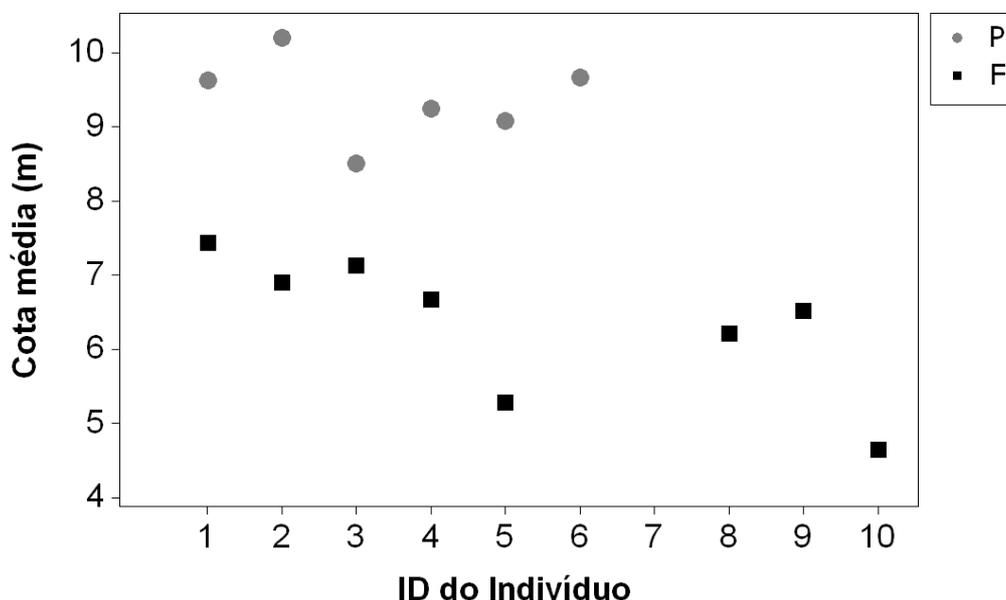


Figura 4.30 – Comparação, por indivíduo, da cota média das áreas de vida dos grupos **P** e **F**.

**Pergunta 2: Na água alta machos são encontrados nos lagos da planície de inundação em associação com as macrófitas aquáticas?**

$H_{2_0}$ : Não há diferença significativa na porcentagem de macrófitas aquáticas dentro das áreas de vida dos grupos **P** e **F** de cada indivíduo.

$H_{2_a}$ : Há diferença significativa.

Na Figura 4.31 pode ser observada a porcentagem de cobertura por macrófitas de cada área de vida. Nos cinco indivíduos que possuem área de vida nas duas categorias (indivíduos 1 a 5), a porcentagem de cobertura de macrófitas é maior em suas áreas de vida no grupo **P**. Dentre os cinco com apenas uma área de vida, os dois com área apenas no grupo **P** (ID's 6 e 7) possuem maior porcentagem de cobertura de macrófitas do que qualquer um dos três do grupo **F** (ID's 7, 8 e 9). No GLM usado para comparar a porcentagem de cobertura de macrófitas nas áreas de vida de cada indivíduo obteve-se um  $R^2=96,22\%$  ( $n=10$ ,  $p=0,001$ ). Incluindo o número de indivíduos usados para estimar

as áreas de vida como covariável,  $R^2=98,62\%$  ( $n=10$ ,  $p=0,001$ ). Portanto,  $H_0$  foi rejeitada.

**Resultado 2: Na água alta machos permanecem nos lagos da planície de inundação em associação com macrófitas aquáticas.**

A maior proporção de macrófitas aquáticas nas áreas de vida do grupo **P** pode ser visualizada nas Figura 4.32 e Figura 4.33.

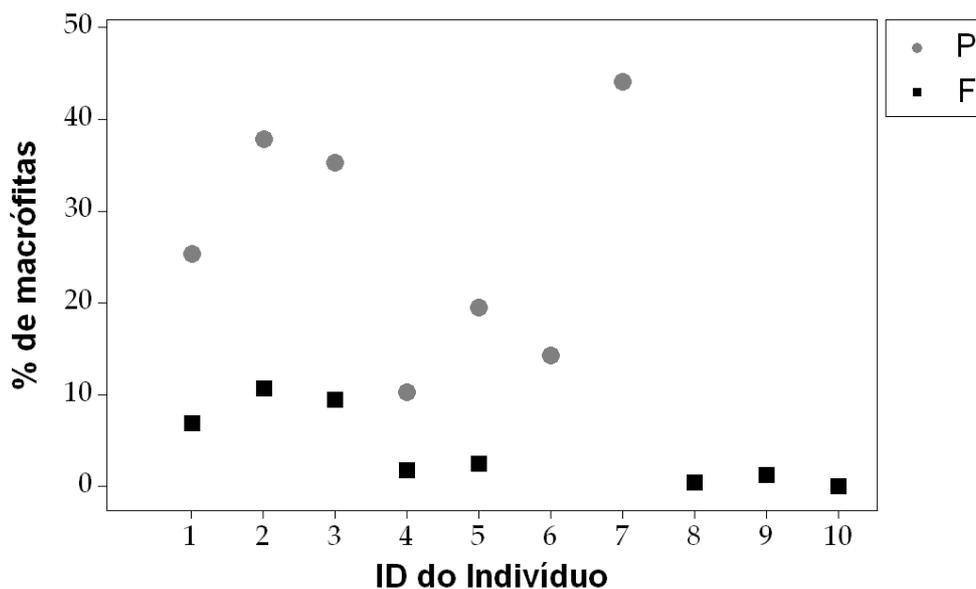


Figura 4.31 - Comparação da porcentagem de cobertura de macrófitas durante o período de cotas mais altas nas áreas de vida dos grupos **P** e **F**, por indivíduo (dados mostrados em porcentagem para facilitar visualização dos valores pequenos).

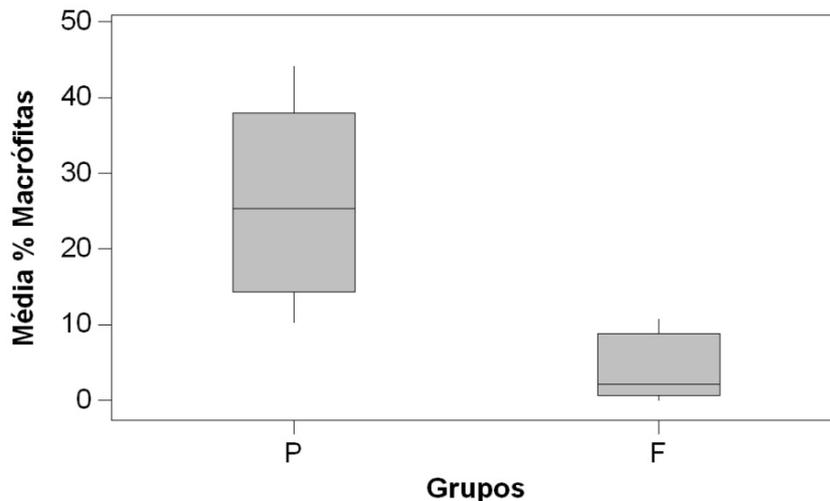


Figura 4.32 - Comparação da redução da proporção de cobertura de macrófitas nas áreas de vida dos grupos **P** e **F**.

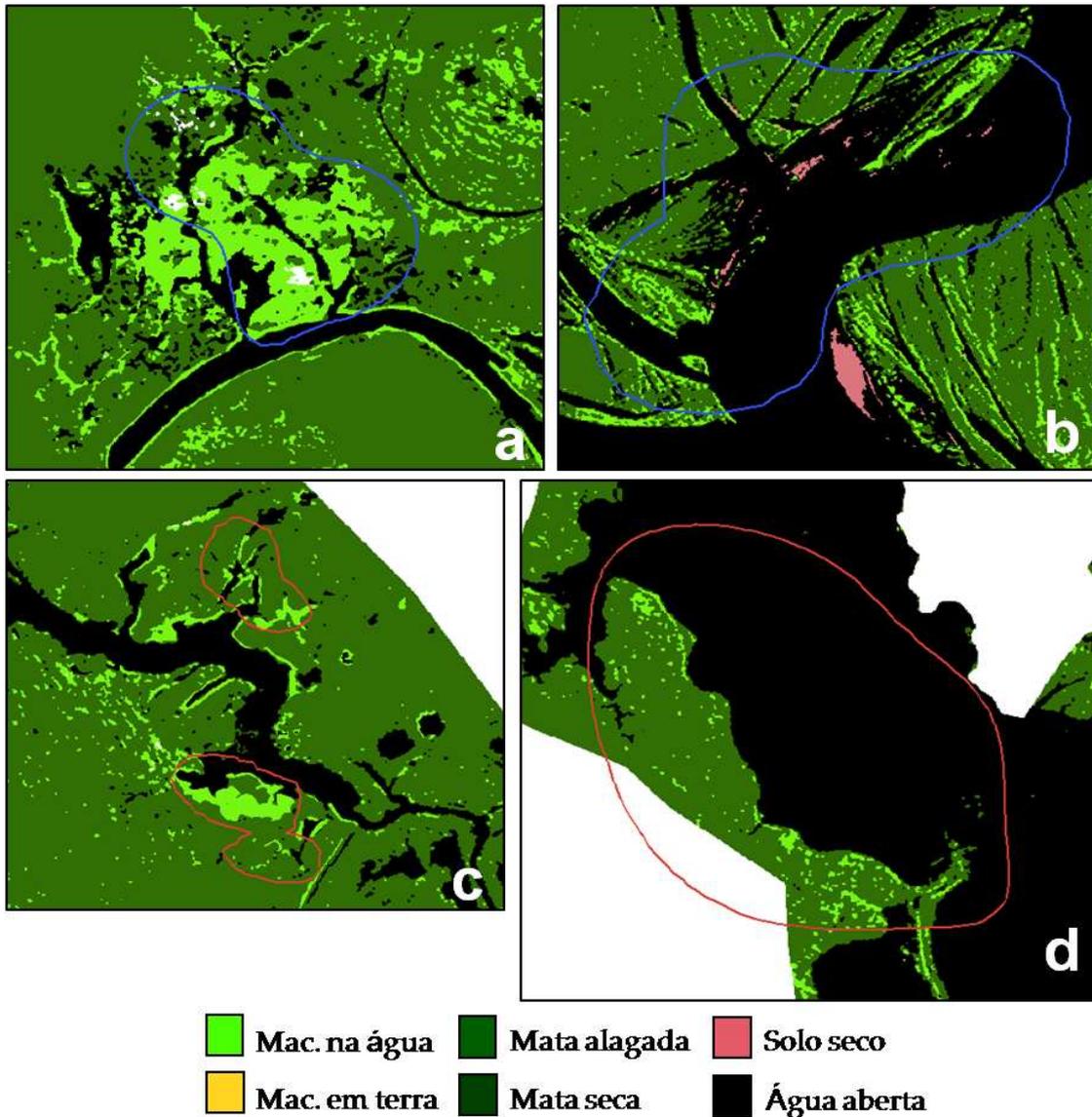


Figura 4.33 – Maior porcentagem de macrófitas nas áreas de vida de água alta durante a água alta do que se animais estivessem, durante a água alta, em suas áreas de vida de água baixa. Áreas de vida dos indivíduos Matintin (ID=5, em azul) e Zé Sabazinho (ID=4, em vermelho); (a) lagos Acácio/Saracura (planície) (b) Rio Japurá, (c) Lago Castanho (planície) (d) Lago Amanã (terra-firme); todas sobrepostas ao mapa de hábitat da água alta.

### **Pergunta 3: Na água alta machos selecionam as macrófitas aquáticas?**

H3<sub>0</sub>: Não há diferença significativa entre a proporção de macrófitas aquáticas dentro da área de vida e no mapa de hábitat.

H3<sub>a</sub>: Há diferença significativa.

O resultado do ordenamento por preferência de hábitat da análise composicional foi: 1) macrófitas aquáticas, 2) água aberta e 3) floresta alagada ( $F(2;5GL)=7,5599$ ;  $p=0,04$ ). Ou seja, as macrófitas aquáticas ocorrem dentro das áreas de vida em proporções significativamente maiores do que ocorrem na área de estudo como um todo e esta diferença é maior do que a diferença entre a proporção de água aberta e de floresta alagada no interior das áreas de vida e no mapa. Portanto, H<sub>0</sub> foi rejeitada.

**Resultado 3: Na água alta machos selecionam macrófitas aquáticas.**

### **Pergunta 4: A maior redução no espaço aquático que ocorre nos lagos da planície pode explicar por que os machos não permanecem ali durante a água baixa?**

H4<sub>0</sub>: Não há diferença significativa na redução da área alagada (da alta para a baixa) dentro das áreas de vida dos grupos P e F de cada indivíduo?

H4<sub>a</sub>: Há diferença significativa.

Na Figura 4.34 pode ser observada a redução da proporção (da alta para a baixa) da área de vida que se encontra alagada, por indivíduo, novamente distinguindo entre os grupos **P** e **F**. Enquanto a redução nas áreas do grupo **P** foi acima de 90%, nas do grupo **F** foi entre 5 e 25% (com apenas um valor maior que este). Aplicando-se o GLM obteve-se um  $R^2=98,52\%$  ( $n=10$ ,  $p=0,000$ ). Com o número de localizações usado para estimar cada área de vida como covariável,  $R^2=98,76\%$  ( $n=10$ ,  $p=0,001$ ). Portanto, H<sub>0</sub> foi rejeitada. **Resposta 4: A maior redução na área alagada nas áreas de vida nos lagos da planície explica porque os machos não permaneceram ali durante a água baixa.**

Obs.: a redução de aproximadamente 45% na área alagada do indivíduo 2 decorreu, em parte, do fato que uma porção de sua área de vida encontrava-se sobre um igarapé, e não no Lago Amanã como as dos outros indivíduos. Como com a resolução espacial das imagens disponíveis não foi possível determinar que parte da floresta no entorno do igarapé era 'igarapé' e que parte era terra-firme, optou-se por considerar que tudo era

floresta de igapó. Isto resultou em uma sobre-estimação da redução na área alagada neste pedaço da área de vida. No entanto, como esta sobre-estimação seria de fato um fator contra o que se queria demonstrar, optou-se por realizar a análise a forma já que um resultado significativo indicaria o que o padrão real é ainda mais forte. Com a disponibilidade de dados SAR polarimétrico de alta resolução estas distinções serão possíveis (Hess, comm. pess.).

Na água baixa, enquanto nas áreas de vida nos lagos Mimirauá, Castanho e Piranha havia em média um quinto da área alagada que havia na água alta, nas áreas de vida do Rio Japurá e do Lago Amanã a área alagada permaneceu praticamente inalterada (Figura 4.35 e Figura 4.36).

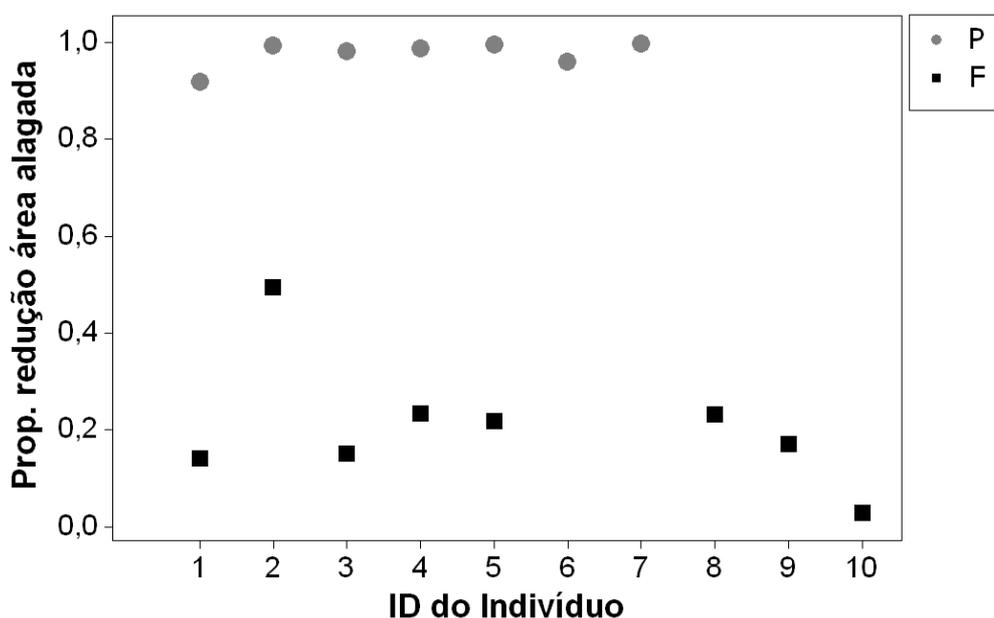


Figura 4.34 - Comparação da redução da área alagada das áreas de vida dos grupos **P** e **F**, por indivíduo.

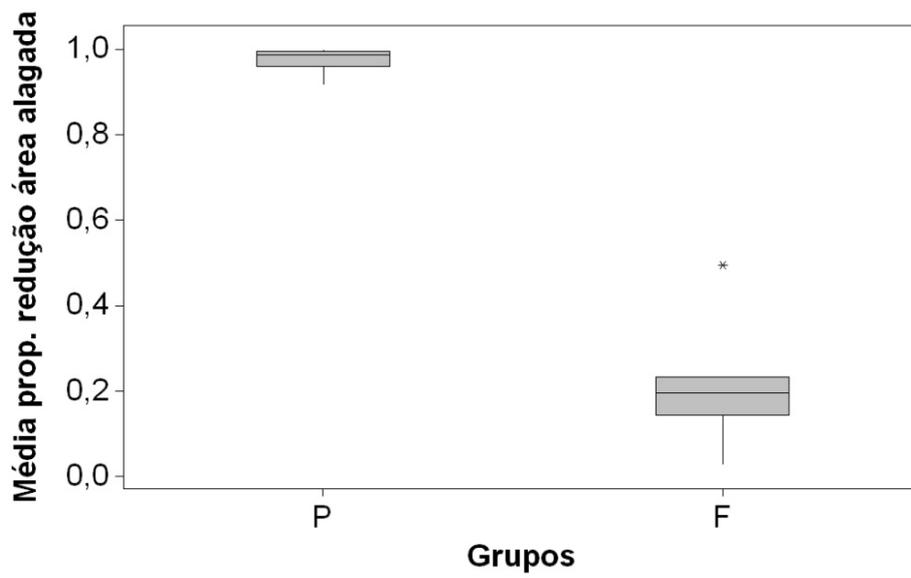


Figura 4.35 – Comparação da redução da área alagada das áreas de vida dos grupos **P** e **F**.

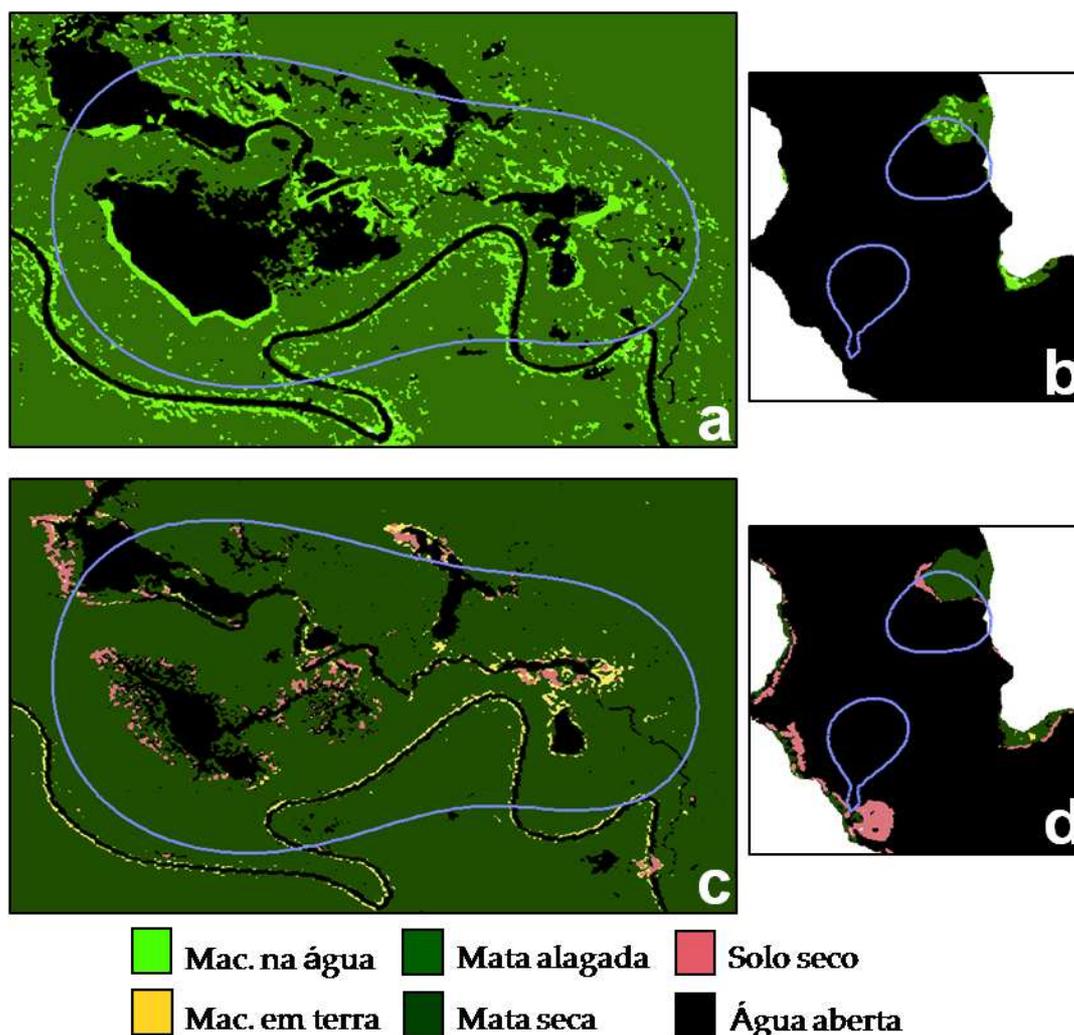


Figura 4.36 – Redução na área alagada da alta para a baixa na área de vida do Sabá Uixi (ID=5). Em (a) é mostrada a área de vida dele no Lago Piranha com o mapa de hábitat da água alta e (c) com o mapa de hábitat da água baixa; (b) a área de vida dele no Lago Amanã, com o mapa de hábitat da água alta e (d) com o da água baixa.

#### 4.6.1 Argumentação a favor do lago de terra-firme Amanã como principal refúgio dos animais rastreados na água baixa

Os resultados apresentados na seção anterior têm como base inicial a prova de que a cota média nas áreas de vida nos lagos Mamirauá, Castanho e Piranha (grupo **P**) é significativamente maior que a cota média nas áreas de vida no Rio Japurá e no Lago Amanã (grupo **F**). Como pode ser observado, o grupo **P** é formado por lagos de planície de inundação e o **F** por um rio grande e por um lago de terra-firme. Analisando os componentes de cada grupo percebe-se que no último foram agrupadas regiões com características mais distintas entre si do que no primeiro. A razão foi que se quis

identificar os fatores que controlam a preferência dos animais pelos lagos da planície de inundação durante o período da água alta, e porque não os preferem na água baixa. Isto é diferente de dizer que preferem os lagos de terra-firme na água baixa. Tratou-se de um artifício de análise necessário porque o número de indivíduos com áreas de vida nos lagos da planície e nos de terra-firme era insuficiente para que fosse provado estatisticamente que os animais preferem permanecer nos lagos de terra-firme na água baixa.

Nesta seção, no entanto, será argumentado que o principal destino migratório dos peixes-boi na água baixa não são o Rio Japurá e o Lago Amanã, mas apenas o Lago Amanã. Para desenvolver o argumento o grupo **P** será dividido em dois sub-grupos: o primeiro chamado de **J** e formado pelas áreas de vida dos indivíduos 1, 2 e 3 no Rio Japurá e o segundo chamado de **A** e formado pelas áreas de vida dos indivíduos 4, 5, 8, 9 e 10 no Lago Amanã (sub-grupo 2).

As localizações que originaram as áreas de vida do sub-grupo **J** foram tomadas quando após deixarem a região do Lago Mamirauá na vazante de 1996 cada um dos três indivíduos permaneceu um certo tempo no Rio Japurá (imediações da Boca do Mamirauá), antes de desaparecer dali por um período que variou aproximadamente de 3 a 5 meses. Mais especificamente, Chico Ariramba (ID=1) ficou lá de 5/8 a 21/9, desapareceu e foi novamente rastreado dia 31/1/97, Matintin (ID=2) ficou lá do dia 2/8 ao 2/9, desapareceu e foi novamente rastreado dia 28/11 e Ticuã (ID=3) ficou lá do dia 2 ao 14/8, desapareceu e foi novamente rastreado dia 30/1/97. Estes intervalos durante os quais os três animais ficaram desaparecidos corresponderam ao período de água mais baixa daquele ano (Figura 4.22, curva amarela 96/97). Como consta que houve esforço de busca por meio de embarcação na região do Mamirauá e Boca do Mamirauá (Marmontel et al., *in prep*), presume-se que ali não estavam na água baixa. Tudo indica por isso que a permanência na região da Boca do Mamirauá foi uma etapa intermediária na migração da vazante de 1996.

Por outro lado, as localizações do subgrupo **A**, tomadas todas quando os animais estavam no Lago Amanã, coincidem com a fase da água baixa. Por exemplo, Zé Taboca (ID=7), que também havia passado a água alta de 1996 na região do Mamirauá foi rastreado por sobrevôo dia 27/9 no Lago Amanã antes de voltar para o Mamirauá na enchente seguinte. De fato, dos 13 animais capturados neste estudo, 9 foram rastreados

no Amanã e 3 estiveram no Paranã do Castanho na vazante (onde foram capturados) (Tabela 4.5). O Paranã do Castanho é uma conhecida rota migratória dos animais que vão passar a água baixa no Amanã – na Figura 3.2 nota-se inclusive que não há nenhuma bifurcação nele de forma que sua única saída ao norte é o Lago Urini, que assim como os lagos da planície pode ficar quase seco na baixa e por isso serve apenas de ‘porta de entrada’ na migração da vazante para o Amanã por esta rota.

Tabela 4.5 – Animais rastreados no Amanã e/ou no Paranã do Castanho, este último a rota migratória na vazante para o Amanã.

ID	Nome	Ano rastreado no Amanã	Paraná do Castanho
1	Chico Ariramba	99	-
2	Matintin	-	-
3	Ticuã	97	97 ; 99
4	Zé Sabazinho	01/02 ; 02/03	02 ; 03
5	Sabá Uixi	05	05
6	Mixirinha	-	97
7	Zé Taboca	96	-
8	Seu Piloto	01/02	-
9	Bento Garcia	01/02	-
10	Chico Rola	05	05
11	Maria do Rio <sup>1</sup>	-	97
12	Maria Bonita <sup>1</sup>	-	97
13	Maria Ruth <sup>1</sup>	05	-

<sup>1</sup> As fêmeas número 11 e 12 nunca mais foram rastreadas depois que foram soltas e a 13 foi encontrada morta 3 dias após sua soltura. Não há por isso estimativa de área de vida pra elas.

Como foi mostrado na análise de hábitat, durante a baixa os animais não têm alimento; sabe-se inclusive que perdem peso a ponto de poderem até morrer de inanição (Best, 1983). Em uma situação como esta a possibilidade de economizar energia está diretamente relacionada à melhoria da aptidão do indivíduo. Tendo em mente que nenhum animal foi rastreado no rio Japurá na água baixa, que a correnteza nele é bem maior que em um lago de terra-firme tal qual o Amanã e que 12 dos 13 indivíduos foram encontrados no Amanã ou indo para ele, argumenta-se que aquele serve

principalmente de região temporária na migração da vazante e que este é de fato o destino migratório principal dos animais estudados.

#### **4.6.2 Porque, na região do médio Rio Solimões, o peixe-boi migra**

Os resultados mostraram que nas cotas mais altas os machos estavam nos lagos da planície de inundação e nas mais águas baixas estavam no Rio Japurá e no Lago Amanã (Resposta à pergunta 1 Figura 4.30). Isto prova quantitativamente que o peixe-boi migra, e corrobora com o padrão apontado por Marmontel et al. (dados não publicados) a partir de observações qualitativas.

A preferência pelos lagos da planície na água alta foi explicada pela maior disponibilidade do principal alimento nestes do que no Rio Japurá ou no Lago Amanã. Esta foi grande ao ponto de 98,62% (n=10, p=0,004; número de localizações como covariável) da diferença na proporção de macrófitas aquáticas dentro das áreas de vida ter sido explicada apenas pelo fato de estarem nos lagos da planície, ao invés de no Rio Japurá ou no Lago Amanã (Resposta à pergunta 2 e Figura 4.32).

Quando se comparou a preferência dos animais pelos três tipos de habitats aquáticos – os bancos de macrófitas, as regiões de água aberta e a floresta alagada –, os machos mostraram preferir o primeiro. Mais ainda, encontrou-se que no período da água alta a proporção de macrófitas aquáticas era maior dentro das áreas de vida do que na região de estudo como um todo, indicando seletividade dos machos pelas áreas onde o alimento ocorre em maior concentração (Resposta à pergunta 3). Isto indica que machos passam a maior parte do tempo em regiões próximas aos bancos de macrófitas aquáticas, o que corrobora com o comportamento dos animais em cativeiro que até 8 horas por dia se alimentando.

Além disso, os resultados confirmaram que os animais deixam os lagos da planície de inundação na vazante devido à grande redução do habitat aquático que ali ocorre (resposta à pergunta 4 e Figura 4.32). O alto valor do coeficiente de determinação  $R^2=98,76\%$  (n=10, p=0,001, número de localizações como covariável) do GLM mostrou que a variação na área alagada explica a localização da área de vida ora num lago de planície ora num lago de terra firme. Junto com as informações obtidas do modelo batimétrico calibrado para água baixa (Figura 4.27), a análise mostrou que a redução não é apenas em área, mas em volume. Ao migrar para o Rio Japurá e para o

Lago Amanã os machos evitaram o risco de ficarem presos em corpos d'água pequenos e isolados, o que os tornaria presa fácil para caçadores e outros predadores potenciais (ex. onças *Panthera onca* e Jacarés-açú *Melanosuchus niger*).

Por fim, mostrou-se que o Rio Japurá é um estágio intermediário na migração do Mamirauá na vazante. O Amanã é o principal destino migratório na água baixa, pois é apenas ali que os animais encontram espaço aquático e pouca correnteza nesta fase do pulso de inundação.

#### **4.6.3 Hipótese dos lagos de terra-firme como principais destinos migratórios do peixe-boi em toda a Amazônia Ocidental**

Na Figura 4.37 pode ser observada uma classificação de uma imagem JERS-1 da água alta da região delimitada a oeste pelo encontro do Rio Jarauá com o Solimões e a leste pelo encontro do Solimões com o Negro (Hess et al., 2003). Observa-se em branco toda a área de mata alagada e em azul a área de água aberta. As pequenas manchas azuis dentro da planície de inundação são lagos (como o Mamirauá) que freqüentemente têm bancos de macrófitas nas regiões próximas das margens (vegetação herbácea alagada, em vinho).

Na imagem JERS-1 da água baixa (Figura 4.38) (Hess et al., 2003) vê-se que, além dos grandes rios, os lagos de terra-firme são os únicos outros locais que permanecem com ampla cobertura aquática nessa fase do pulso. Praticamente todo o resto da planície seca. Analisando as duas figuras conjuntamente, percebe-se que o padrão de lagos de planície de inundação e de terra-firme que ocorre na região de estudo se repete por uma extensa região que vai pelo menos até a foz do Rio Solimões. De fato, este padrão se repete também por praticamente todo o Rio Amazonas, porém o aumento da quantidade de água resultante da descarga do Rio Negro influencia a dinâmica de inundação de formas não avaliadas neste estudo. A partir destas observações levanta-se aqui a hipótese de que lagos de terra-firme são o principal destino migratório dos peixes-boi que habitam toda a planície de inundação dos Rios Solimões e provavelmente também do Amazonas.

Esta hipótese é suportada por dados de caça. Na água baixa de 1963, em que a cota atingiu um nível especialmente baixo, centenas de animais foram mortos nos lagos Amanã, Tefé, Manacapuru, Coari e Badajós (Thornback & Jenkins, 1982) - todos estes

lagos de terra-firme. De fato, segundo os autores, as maiores matanças de peixes-boi ocorreram em lagos de terra-firme e durante a água baixa.

#### **4.6.4 Diferenças na amplitude de variação da cota entre lagos de terra-firme: hipótese da importância da distância do lago para o Rio Solimões como fator de sua escolha pelo peixe-boi na água baixa**

Observando as Figura 4.37 e Figura 4.38 percebe-se que o padrão de lagos de terra-firme mais e menos próximos do Rio Solimões é recorrente - as setas laranjas apontam para lagos de terra-firme próximos ao Rio Solimões que, como o Tefé, provavelmente tem um pulso de inundação de características bastante próximas ao do rio principal; as setas amarelas apontam lagos mais distantes do Rio nos quais o pulso tem provavelmente características mais próximas às do Amanã.

Na área de estudo, os animais que passaram a alta no Mamirauá migraram para o Amanã na baixa (Marmontel et al., dados não publicados), apesar de o Lago Tefé ser mais próximo do Mamirauá do que o Amanã. Até o presente, assumia-se que os dois lagos eram semelhantes e que por isso este padrão era provavelmente resultante da maior população humana no Tefé, evitada pelos animais (note, entretanto, que há relatos de peixes-boi no Lago Tefé). É possível que isso seja verdade, mas este estudo mostra que no que diz respeito à hidrografia os lagos Tefé e Amanã são diferentes, e por consequência abre a possibilidade desta preferência dos animais da amostra pelo Amanã dever-se também à forma como o pulso de inundação afeta a variação na cota neste último. Mais ainda, gera a questão da recorrência do padrão de preferência por lagos de terra-firme mais distantes do Rio Solimões, o que, dentre outras coisas, teria implicações para o estudo da ecologia e da conservação da espécie. Para averiguar inequivocamente quais lagos têm características mais próximas às do Tefé ou do Amanã seriam necessários dados de cota e de batimetria, o que abre possibilidades para estudos futuros.

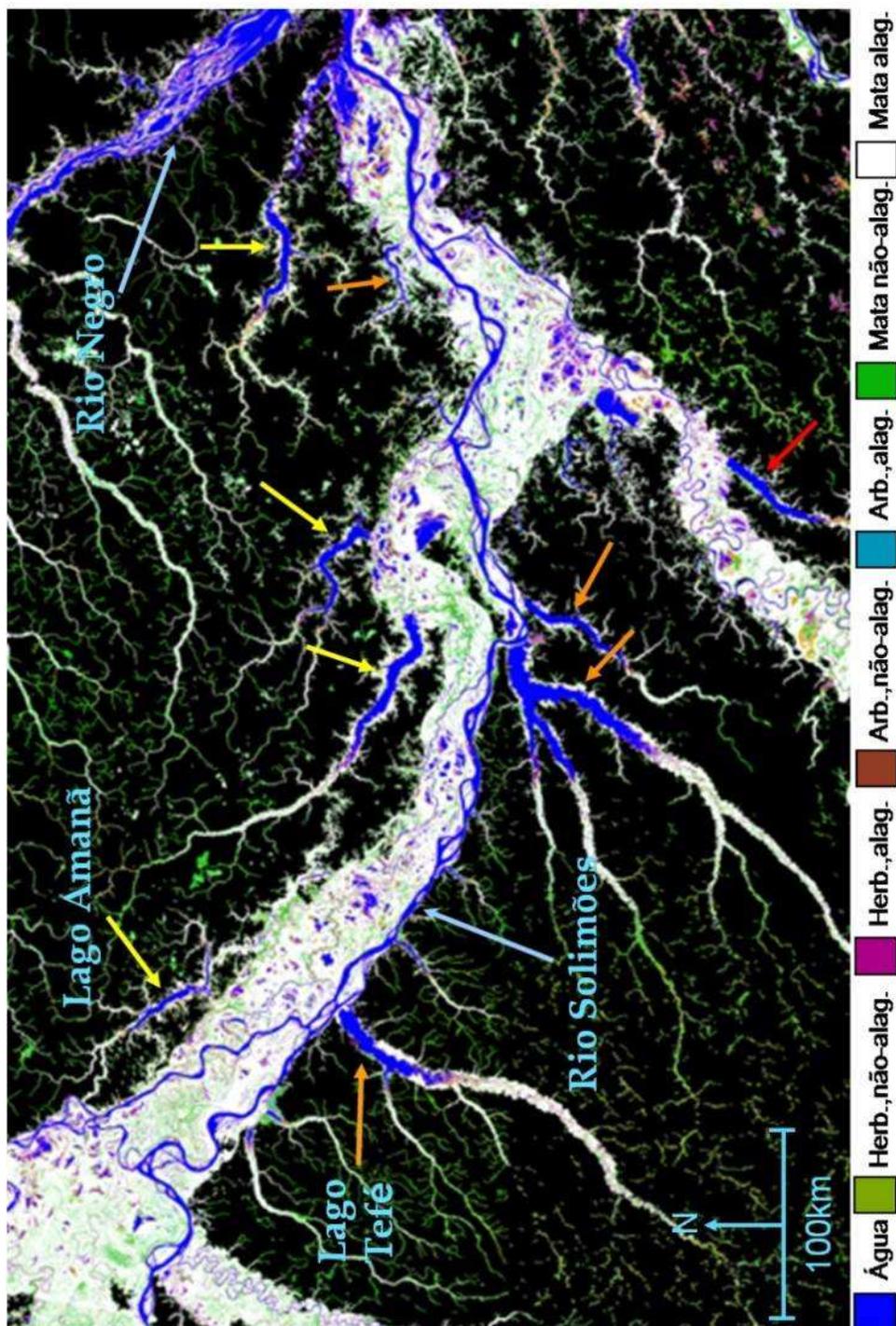


Figura 4.37 – Classificação de imagem JERS-1 da água alta. Setas amarelas indicam lagos de terra-firme mais distantes e setas laranjas lagos mais próximos do Rio Solimões. Hess et al. (2003).

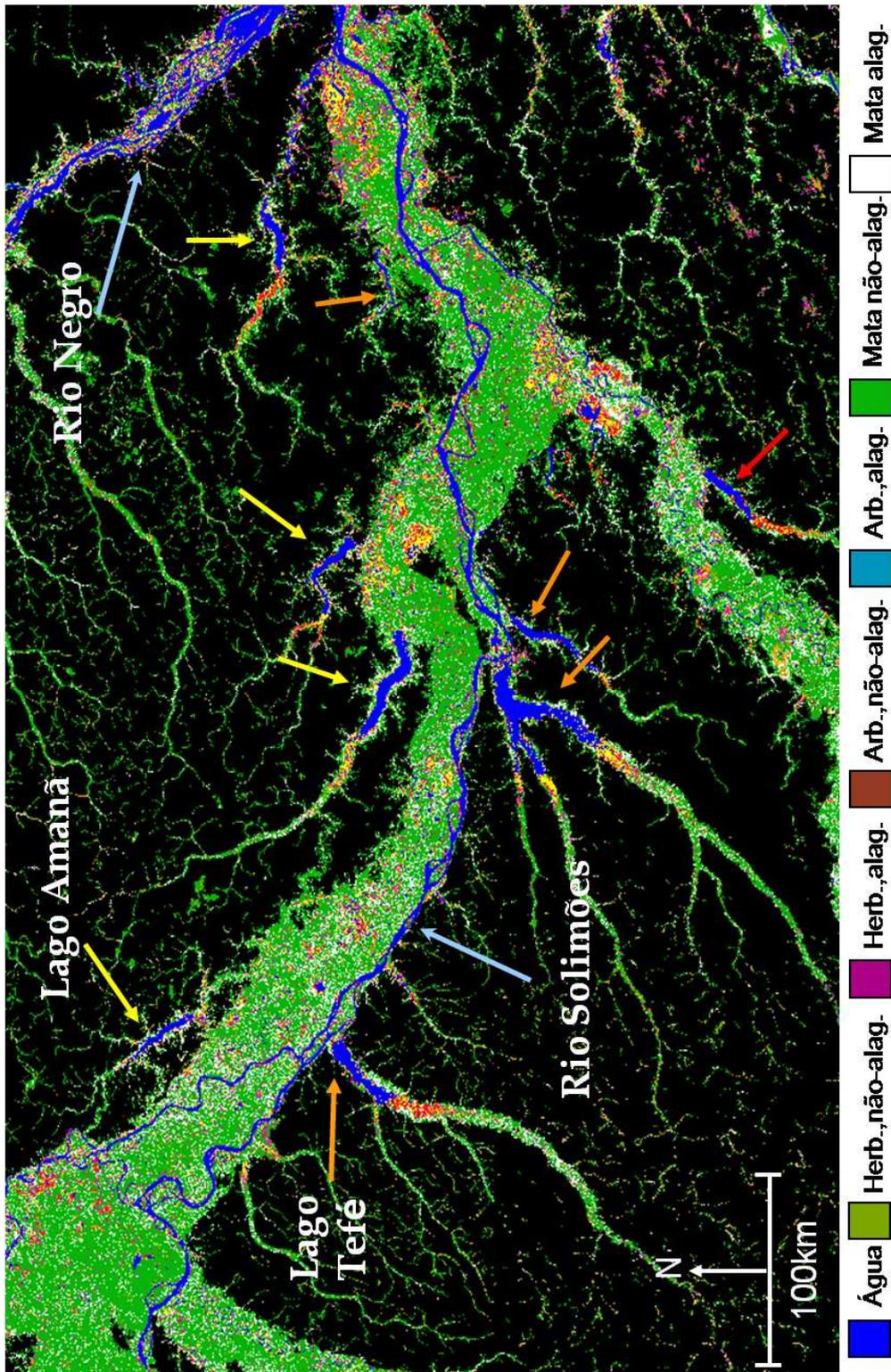


Figura 4.38 – Classificação de imagens JERS-1 da baixa. Setas têm o mesmo significado das mostradas na Figura 4.20. Fonte: Hess et al. (2003).

#### 4.7O desencadeamento do processo migratório

As evidências indicam que a migração se inicia em uma janela de tempo razoavelmente restrita (Figura 4.39). Além disto, todas as 11 vezes que um indivíduo foi rastreado no Mamirauá no início da migração da vazante o animal deixou o lago antes do dia  $t_1$ , que é quando  $p_M$  atinge seu valor mínimo (Figura 4.40; explicação sobre o ponto  $t_1$  na seção 4.2.1), parece ser um momento marcante que tem particular importância para o início da migração do peixe-boi. Observa-se que até este dia a taxa redução do nível da água aumenta de forma praticamente contínua (na escala de alguns dias) e a partir dele começa a diminuir. Ele tem a propriedade de dividir a vazante em dois intervalos de duração diferente: um primeiro com  $\pm 72$  dias, no qual o valor de  $p_M$  diminui em média 6,75m a uma taxa média de 0,13 m/dia, e um segundo com  $\pm 20$  dias, no qual o valor de  $p_M$  diminui em média  $\pm 2,59$ m a uma taxa média de 0,9 m/dia. Quando esse dia é atingido a rota de migração para o Amanã já está rasa e a partir dele a cota começa a diminuir ainda mais rapidamente do que no primeiro intervalo. Do ponto de vista dos animais, isto implica que quando o ponto  $t_1$  é ultrapassado, as possibilidades de uma migração com sucesso entre o Mamirauá e o Amanã terminam.

Levanta-se aqui a hipótese de que esta janela é delimitada por um lado pela necessidade de aproveitar ao máximo o alimento na planície antes de passar um longo período em jejum e por outro pela possibilidade de passar pelo 'gargalo' que existe na rota migratória para o lago Amanã (

Figura 4.41

Figura 4.41).

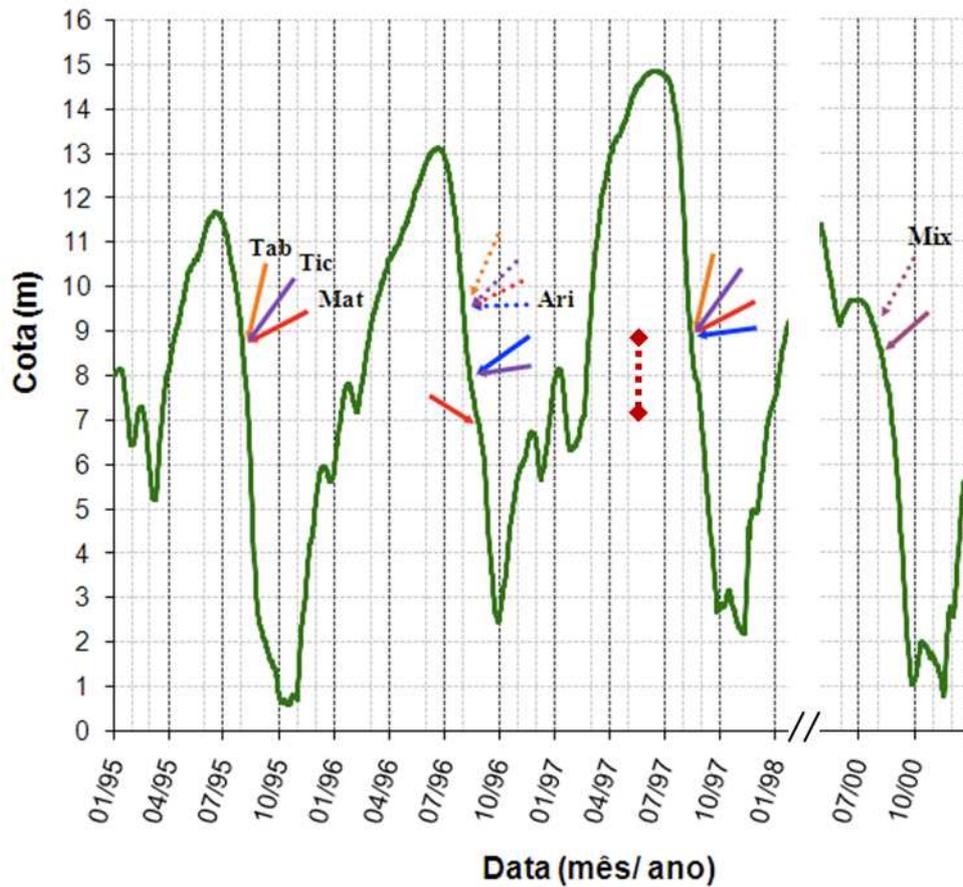


Figura 4.39 - Sincronia nas datas de início da migração na vazante e variação de menos de 2m (forma vermelha no meio da figura) na cota de saída do Mamirauá. Setas apontam para a cota no dia de início da migração. Cores diferentes indicam indivíduos diferentes e a abreviatura do nome do animal aparece ao lado da primeira seta que o indica. Setas com linhas inteiras = saída do Mamirauá sem parada no Rio Japurá; setas pontilhadas = deixou o Mamirauá, ficou alguns dias na região do Rio Japurá próxima à Boca do Mamirauá e então desapareceu.

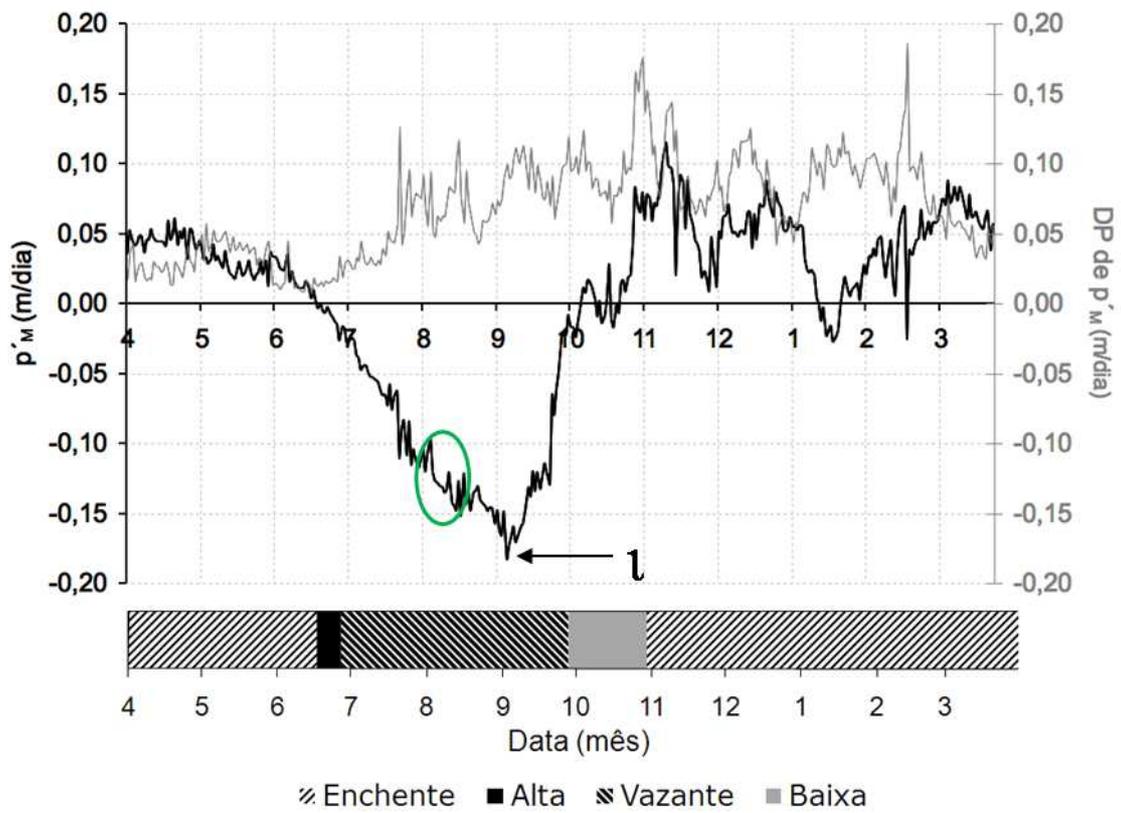


Figura 4.40 – Início da migração da vazante do Mamirauá dá-se sempre antes do dia 1. Curva de  $p'_M$  com o período que todos os indivíduos deixaram a região do Mamirauá demarcada pela elipse verde.

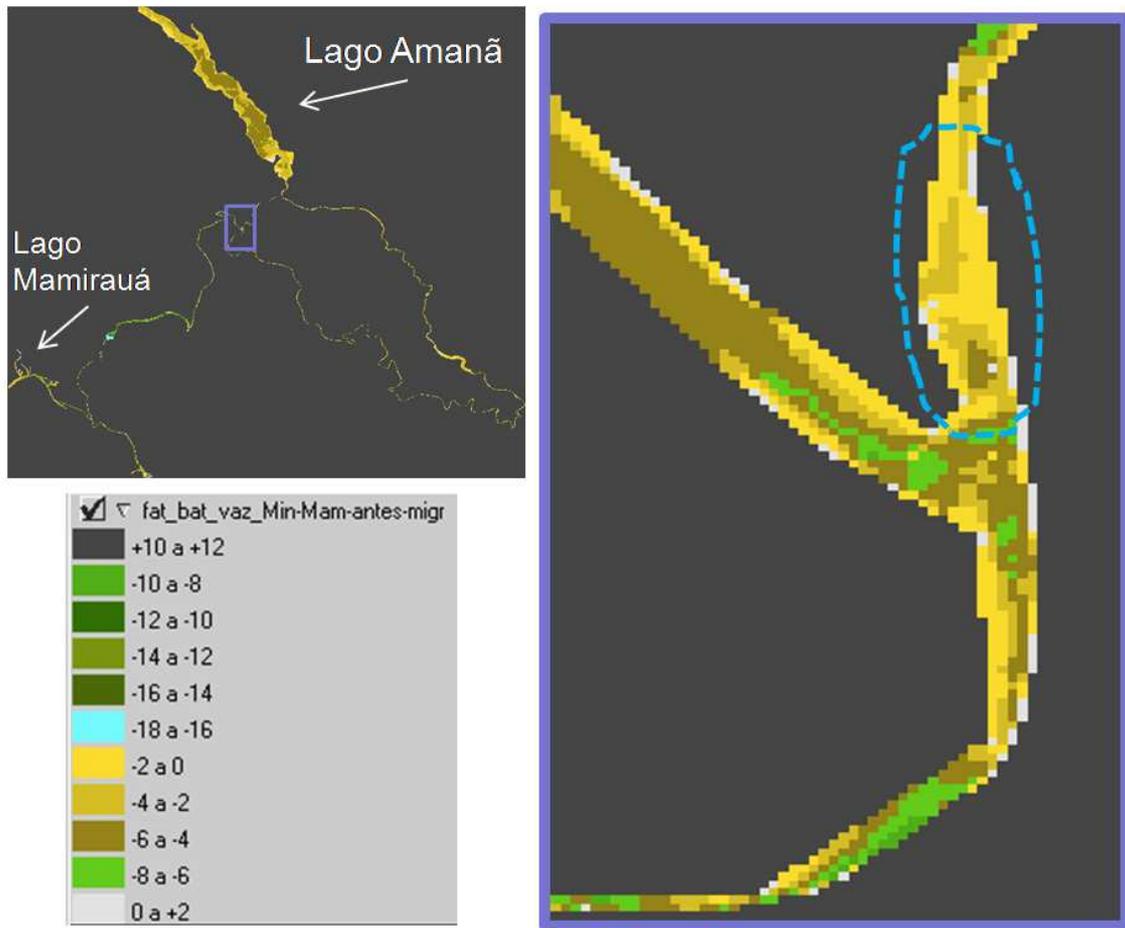


Figura 4.41 – ‘Gargalo’ da rota migratória entre o Mimirauá e o Amanã. Fatiamento do modelo batimétrico calibrado para a cota mínima (8,51m) em que um animal (Matintin) foi encontrado no Mimirauá na vazante.



## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Comentário sobre o efeito do pulso de inundação nos lagos de planície e de terra-firme

Como foi mostrado na seção 4.2, apesar de os Lagos Tefé e Amanã serem de terra-firme, o pulso no primeiro tem a mesma amplitude do pulso no Lago Mimirauá, chegando a ser de 1,5 a 2 vezes maior do que no Amanã. Isto pode ser explicado por sua localização próxima ao Rio Solimões, que é a principal forçante do pulso na região, enquanto o lago Amanã situação mais distante, ligado ao Solimões por canais comparativamente estreitos e meândricos. Estes resultados corroboram com os de Alsdorf (2003), que usou imagens SAR para estudar a capacidade de armazenamento de água na planície de inundação e encontrou cotas menores em regiões diferentes da planície, sendo que essas diferenças estavam relacionadas não ao tamanho do corpo d'água, mas à distância do mesmo para o rio principal.

O Mimirauá é um lago de planície de inundação em que há constantes processos de migração de canais e colmatação pelos sedimentos trazidos pelo Rio Solimões e Japurá. Com isto, a morfometria dos lagos (tamanho, profundidade e forma) varia constantemente ao longo do tempo. O lago de terra-firme, por outro lado, não é um lago propriamente dito, mas um canal fluvial cuja foz foi assoreada pela sedimentação das margens do Solimões. O comportamento hidrológico dos lagos de terra firme é análogo ao comportamento de uma represa, uma vez que seu fluxo natural é barrado pelo Solimões, o que o provoca uma relativa estabilização do nível. Além disso, pelo efeito de barragem, sua foz é constantemente sedimentada, dando origem a um perfil transversal relativamente mais plano. Além disto, por ser um rio de água preta, cuja carga particulada é, portanto, pequena, não sofre processos de colmatação de seu fundo, mantendo por isto seu canal com profundidades razoavelmente constantes, exceto na região imediatamente próxima ao canal de entrada da água vinda do Rio Solimões. Outro aspecto relevante na interação do lago Amaná com o Solimões é o fato de que em algumas fases do ciclo, sua direção de fluxo pode ser invertida pela entrada de água do Solimões.

Uma das conseqüências é que apesar do Amanã ser mais raso do que o Mimirauá na alta, ele é mais profundo na baixa (Figura 4.26 e Figura 4.27). Isto, aliado ao seu fundo

mais plano, faz com que da alta para a baixa a redução na área alagada no Amanã seja notoriamente menor do que no Mamirauá, como foi comprovado nas classificações para geração dos mapas de hábitat. A entrada esporádica de água do rio Solimões durante algumas fases do ciclo pode contribuir para a fertilização das águas pretas e proporcionar o escasso alimento a ser utilizado eventualmente pelo peixe-boi durante sua estadia no Amanã.

## **5.2 Sensoriamento remoto das macrófitas aquáticas**

Como explicado nos resultados, na região de estudo os bancos de macrófitas foram encontrados principalmente nos lagos da planície de inundação, na floresta alagada e às margens dos corpos d'água. Os que ocorriam às margens dos rios, paranás e lagos de menor porte freqüentemente eram de tamanho e/ou largura pequenos ao ponto que a discriminação nítida por meio de imagens Landsat-TM com 30m de resolução era difícil. Para a discriminação destes, a restauração para 15m com o algoritmo do SPRING desenvolvido por Fonseca (1987) provou-se útil (Figura 4.3). A restauração para 5 e 10m, no entanto, gerou muito ruído ao ponto de praticamente impedir discriminação visual de alguns alvos (Arraut et al., 2007). Da mesma forma que a restauração para 15m, a fusão IHS para 15m das bandas 3, 4 e 5 do ETM+ com a pancromática provou-se útil para a discriminação das macrófitas. Ambas aproveitaram do contraste entre os sinais mais baixos na banda TM4 da água e da floresta e o dos bancos de macrófitas para permitir que o contorno destes últimos fosse mais bem delimitado.

Do ponto de vista da classificação, com classificador espectral de Máxima Verossimilhança (MaxVer) baseado em pixels não foi possível diferenciar as macrófitas das plantações de mandioca (ou outras agriculturas da região). Mesmo com a restauração e a fusão para 15m, a diferenciação destas deu-se por meio do contexto no qual se encontravam. As macrófitas sempre associadas à água, enquanto na região de estudo as plantações são encontradas em região de terra-firme. A solução encontrada foi a criação de uma máscara vetorial para recortar as plantações antes da classificação. Isto foi possível na situação em questão, mas não seria conveniente em estudos que abrangessem áreas maiores ou regiões onde houvesse manchas de terra-firme entremeadas pela planície de inundação.

Observou-se também que apesar do padrão geral de cobertura de macrófitas ser semelhante em uma mesma fase do pulso em anos diferentes, em uma escala mais fina de observação há diferenças anuais. Isto pôde ser notado a partir da análise das imagens da água alta, quando se constatou que o sinal espectral das macrófitas nos lagos Saracura e Acácio na imagem adquirida em 1997 era diferente daquele das adquiridas em 1996 e 2002. 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 e conseqüentemente diminuiu a acurácia da classificação (pois se tornaram menos distinguíveis da floresta no entorno). Neste estudo, o problema foi resolvido por meio de uma edição matricial tomando como base as imagens da alta da mesma região em anos diferentes e a da enchente do ano anterior, tendo esta última mostrado que havia extensa área de bancos de macrófitas crescendo na área dos lagos Saracura e Acácio. O procedimento foi julgado satisfatório porque mais do que a acurácia absoluta em cada classificação o que se buscava era captar o fato de que em uma dada água alta a região havia estado coberta por macrófitas aquáticas. Esta era a escala temporal que ‘interessaria’ ao peixe-boi, que passaria toda (ou boa parte) da estação naquele local.

Do ponto de vista dos sensores utilizados, embora os dados de sistemas ativos de micro-ondas tivessem sido provavelmente mais adequados ao estudo de áreas alagáveis em ambientes de florestas (Costa, 1998, Hess et al. 2003), foi necessário recorrer aos dados do Landsat-TM por ser a única base de imagens históricas da região, coincidentes com o período para o qual havia dados dos deslocamentos do peixe-boi. Em estudos futuros é interessante que sejam testados outros sensores para melhorar a qualidade das classificações e minimizar a necessidade de recorte vetorial das áreas agrícolas e de edição matricial, estes dois procedimentos particularmente laboriosos para serem realizados em áreas extensas e paisagens complexas. Estudos com radar e fusões óptico/radar vêm demonstrando serem estas boas alternativas (Graciani & Novo, 2003;

Hess et al., 1995;2003), mas mesmo estes não foram testados em paisagem semelhante à encontrada no médio Rio Solimões. No primeiro, foram feitas classificações de macrófitas na usina hidrelétrica de Tucuruí, onde os bancos são em sua maioria bem maiores. No segundo e no terceiro, a resolução espacial foi de 100m, o que provavelmente não seria adequado para captar bancos pequenos que ocorrem com frequência na região do médio Rio Solimões. Seria por isso provavelmente mais adequado testar as fusões ótico/radar usando sensores SAR de alta resolução espacial; o ALOS-PALSAR é um sensor SAR orbital novo que adquire imagens com resolução espacial de 12,5m e que por isso pode vir a apresentar resultados interessantes (tendo em mente que a resolução real para a classificação será de aproximadamente 25m, pois será necessário aplicar um filtro para redução do *speckle*).

Alternativa promissora é a aplicação de classificadores de resposta espectro-temporal (Vieira, 2000). O princípio destes é relacionar cada pixel da imagem a um sistema cartesiano tridimensional com a distribuição das componentes temporal, espectral e radiométrica dispostas nos eixos X, Y e Z, respectivamente. Em princípio esta metodologia é limitada pela necessidade de imagens seqüenciais de um mesmo lugar. No caso de sensores ópticos com resolução adequada para mapeamento de macrófitas na região do médio Rio Solimões sua aplicação seria limitada. Entretanto, tendo em mente que é possível usar imagens de anos diferentes para representar o estado do ambiente alagável em uma mesma fase do pulso de inundação (Barbosa, 2005; este estudo), tal algoritmo poderia ser testado com dados Landsat-TM. Seria, de fato, uma forma de tornar automático e aperfeiçoar o procedimento de classificação da imagem da água alta de 1997 realizado nesta pesquisa, que levou em conta o crescimento dos bancos de macrófitas na enchente anterior.

Tendo em mente os objetivos do trabalho, as estratégias adotadas demonstraram a viabilidade do uso das imagens Landsat-TM para a classificação de habitats alagáveis na região do médio Rio Solimões.

### **5.3 Observações sobre a amostra usada para a análise de habitat e a validade dos resultados**

Como explicitado anteriormente, apenas peixes-boi machos foram rastreados neste estudo. Isto ocorreu apenas porque foram capturados mais frequentemente, pois não

houve esforço de captura direcionado a um ou outro sexo. Dos treze animais capturados, apenas 3 eram fêmeas, duas das quais nunca mais foram encontradas depois de soltas e uma que foi encontrada morta três dias depois da soltura (na autópsia percebeu-se que estava magra e que tinha um coração notoriamente menor do que o normal, e por isso acredita-se que o estresse da captura potencializou a morte de um animal que já estava com problemas). Como esta é a única amostra dos deslocamentos do peixe-boi no ambiente natural, não há informação disponível sobre a migração de fêmeas da espécie amazônica. Entretanto, como será argumentado a seguir, tendo em mente o objetivo deste estudo de entender as causas ambientais da migração, a relevância das variáveis analisadas indica que a migração deve ser comum a machos e fêmeas.

Em seu estudo sobre o comportamento migratório do Peixe-boi da Flórida *Trichechus manatus latirostris*, Deutsch et al. (2003) não encontraram qualquer diferença nas distâncias, destinos ou tempos de início e término da migração que estivessem relacionadas ao sexo ou à classe reprodutiva das fêmeas (com e sem filhotes). Para todas as categorias de análise a variação na temperatura da água foi o que melhor explicou a migração. No outono, quando a temperatura da água na costa norte da Flórida e sul da Geórgia diminuía em decorrência do avanço para o sul da corrente do Atlântico Norte, os animais se deslocavam para o sul acompanhando a água mais quente. Na primavera, quando novamente o limite da corrente fria se movia mais para o norte, faziam o deslocamento inverso seguindo as águas mais quentes. A independência de classe ou idade para o tempo de início e término da migração foi explicada pelo fato de que a temperatura que desencadeava a migração (20-22°C) se aproximava do limite da zona termo-neutra da espécie (Worthy et al., 2000).

No que diz respeito ao Peixe-boi Amazônico, pressupõe-se que indivíduos de ambos os sexos se beneficiariam por estar nas regiões onde há alimento durante a água alta. Da mesma forma, as conseqüências negativas diretas (possibilidade de o local secar) e indiretas (aumento da exposição a predadores) da redução do espaço aquático provavelmente também afetam ambos os sexos. Por isto, de forma análoga ao efeito que a variação da temperatura da água exerce sobre a migração da espécie da Flórida, a importância das variáveis ambientais analisadas para a vida dos animais sugere que tanto machos quanto fêmeas migram (lembrando que três fêmeas foram capturadas indo para o Amanã na vazante ou já nele na água baixa).

Outra característica da amostra foi o número relativamente pequeno de indivíduos rastreados (N=10). Isto, aliado ao fato de não haver estimativas populacionais, impede que se tenha idéia da representatividade da amostra em relação à população. Entretanto, a importância das variáveis ambientais analisadas para a vida dos animais e as fortes relações estatísticas encontradas ( $R^2$  sempre maior que 98%) indicam que os resultados são confiáveis.

Apesar de ser interessante ter uma amostra maior e contendo indivíduos de ambos os sexos, as evidências indicam que a amostra utilizada foi suficiente para os objetivos propostos.

#### **5.4A migração do Peixe-boi Amazônico**

##### **5.4.1 A ecologia da migração**

Uma das funções da migração é evitar que o indivíduo permaneça em uma região quando as condições necessárias para sobrevivência não forem adequadas, e permitir que retorne quando melhorarem (Hack e Rubenstein, 2001).

Deutsch et al. (2003) rastrearam por telemetria UHF 78 indivíduos do Peixe-boi da Flórida *Trichechus manatus latirostris* (46 fêmeas adultas, 21 machos adultos e 5 fêmeas sub-adultas) em um período total de 12 anos (maio de 1986 a maio de 1998) e descobriram que na primavera eles se deslocavam para o norte até a costa da Geórgia, onde passavam o verão, e no outono regressavam para a Flórida, onde passavam o inverno. A migração para o sul desencadeava-se quando a temperatura da água do mar descia em média 2°C nas 24 horas antes da partida e atingia aproximadamente 19°C, mas variava entre indivíduos (16 a 22°C) e não estava relacionada ao tamanho corporal ou ao status reprodutivo das fêmeas. Esta queda da temperatura ocorria quando o limite da corrente fria do Atlântico Norte se deslocava para o sul à medida que o inverno se aproximava.

Dentre as possíveis causas arroladas pelos autores para explicar o fato dos animais migrarem para o norte na primavera, as variações regionais na qualidade e na quantidade do alimento (gramíneas aquáticas) foram consideradas as mais prováveis. Os autores se basearam em estudos qualitativos das gramíneas aquáticas em sub-regiões da área de abrangência da espécie (Lefebvre et al., 2000) e em censos aéreos dos animais

realizados em escala espacial mais local (dezenas de quilômetros) que detectaram agregações de indivíduos sobre manchas de alimento (Provancha & Hall, 1991). Além destes, em um estudo da distribuição das gramíneas subaquáticas Sargent et al. (1995) encontraram maior abundância na região central do que na região sul da Flórida. Mesmo assim, Deutsch et al. (2003) alertam que para que as gramíneas aquáticas sejam declaradas a causa da migração para o norte são necessários estudos quantitativos de grande escala da abundância e do valor nutritivo destas, considerados pelos autores extremamente laboriosos - provavelmente porque dependeriam principalmente de esforço de campo já que as plantas têm hábito submerso e a água costeira geralmente não é suficientemente limpa para que sejam captadas por sensores orbitais ópticos.

Movimentos migratórios também foram observados por Sheppard et al. (2006) no Dugongo *Dugong dugon*. Os autores rastrearam 70 animais com transmissores UHF e observaram dois tipos de migração de grande escala (>15km) em resposta a temperaturas da água inferiores a 18°C: 1) deslocamentos diários de meso-escala (15-100km) para habitats com águas mais quentes porém sem alimento e 2) deslocamentos sazonais de macro-escala (>100km) para habitats de águas mais quentes com bancos de capim aquático. Havia, no entanto, outras razões para alguns deslocamentos de macro-escala. Dois animais realizaram deslocamentos diários de ida e volta de 150km para áreas com bancos de capim aquático, tendo no caminho passado por outras áreas cobertas por tais plantas, e não pararam para se alimentar nem nos bancos ao longo da rota e aparentemente nem nos bancos no destino. Segundo os autores, há duas hipóteses para explicar tais deslocamentos: uma razão comportamental (ex. seguindo uma fêmea) ou uma forma de monitorar o alimento em regiões diferentes da área de vida para saber onde buscá-lo em eventual necessidade. A última hipótese é suportada pelo fato de ser aquela uma região de ocorrência de ciclones, que são provavelmente imprevisíveis para os dugongos e frequentemente causam a morte de extensas áreas de capim-aquático. Neste caso as visitas seriam uma forma de monitorar a qualidade dos diferentes habitats para que em um evento climático drástico o animal soubesse em quais locais as chances de encontrar alimento seriam maiores. Estes deslocamentos parecem por isto ter sido a solução que os animais encontraram para lidar com um dos aspectos imprevisíveis do ambiente.

A migração da Baleia-jubarte *Megaptera novaeangliae* marca a separação entre as regiões de verão próximas aos pólos nas quais se alimentam e as de inverno em águas subequatoriais onde se reproduzem (Martin et al., 1984). Corckeron & Connor (1999) sugerem que a migração para as regiões subequatoriais é uma tática para ter os filhotes longe dos principais predadores (Orca *Orcinus orca*), que por encontrarem alimento em regiões mais próximas dos pólos no inverno (focas e leões marinhos, por exemplo) tendem a não migrar até tão baixas latitudes quanto as atingidas pelas jubartes. Por sua vez, a *Wildebeast* Africana *Connochaetes taurinus* (Hack & Rubenstein, 2001) e a Zebra das planícies *Equus burchelli* (Grubb, 1981) possuem populações que migram anualmente centenas de quilômetros pela África para seguir as chuvas e conseqüentemente as áreas onde crescem as gramas das quais se alimentam.

Como relatado, as espécies mencionadas migram para fugir de condições adversas durante uma fase do ano, sejam elas ambientais (Peixe-boi da Flórida e o Dugongo da Austrália), ocasionadas por predadores potenciais (Baleia-jubarte) ou para seguir o alimento *Wildebeast* e Zebra-das-planícies (neste último caso fugindo de onde iriam passar fome). O presente estudo mostra que a migração do Peixe-boi Amazônico é regida por estes mesmos fatores.

Em todas as espécies discutidas até agora, entretanto, há populações que possuem indivíduos que não migram. Deutsch et al. (2003) descobriram que apesar da grande maioria dos animais ter migrado, 6% (n=2) eram residentes em uma área relativamente pequena (<50km) o ano todo. Da mesma forma, Connor & Corckeron (1999) apontam a existência de indivíduos da Baleia-jubarte que permanecem o ano inteiro nas regiões de alimentação. No caso da *Wildebeast* e das Zebras há, de fato, populações inteiras que residem em uma mesma área o ano todo (Hack & Rubenstein, 2001; Grubb, 1981). Em ambos os casos (indivíduos e populações), os residentes presumivelmente encontram em uma mesma região tudo o que precisam para viver.

Observações preliminares por meio de imagens orbitais das regiões da Amazônia a leste e a oeste da que foi apresentada nas Figura 4.37 e Figura 4.38 indicam que lá a paisagem é diferente da analisada neste estudo. A leste, com a junção do Rio Negro com o Solimões, o volume de água aumenta tremendamente e a variação na cota diminui (Barbosa, 2005), os lagos de planície de inundação são maiores e mais rasos. Por sua vez, é possível que a dinâmica de alagamento afete os lagos de terra-firme de forma

diferente. Seria por isto importante rastrear peixes-boi nestas outras regiões para, por exemplo, poder testar hipóteses sobre a influência genética ou ambiental no comportamento migratório da espécie.

#### **5.4.2 A evolução do comportamento migratório**

*Trichechus inunguis* começou a se diferenciar do ancestral dos Trichechidae no início do Plioceno, há aproximadamente oito milhões de anos atrás, na bacia hidrográfica da Amazônia Ocidental cuja saída para o mar passava pela região do Lago de Maracaíbo, na atual Venezuela. Naquele tempo a saída para o Pacífico já havia sido bloqueada pelo soerguimento dos Andes e em decorrência de uma elevação que havia na região central da Amazônia a saída para o Atlântico todavia não havia se formado. Os fósseis ancestrais de *T. inunguis* foram encontrados no curso alto do Rio Juruá, onde hoje em dia fica o estado do Acre (Domning, 1982). Neste ambiente em rápida transformação onde o alimento tornou-se bastante distinto do que o que era encontrado no mar pela espécie ancestral, o antepassado de *T. inunguis* evoluiu rapidamente em direção ao animal que se conhece atualmente.

No final do Plioceno e início do Pleistoceno, há aproximadamente dois milhões de anos, após o soerguimento ainda maior dos Andes e a resultante pressão para que a água se movimentasse para o leste, a erosão rompeu a barreira que havia no meio da região Amazônica e a bacia da Amazônia Ocidental, que se fundiu com a da Amazônia Oriental, entrou em contato com o Oceano Atlântico. Neste momento, após aproximadamente 6 milhões de anos em isolamento dos outros membros do gênero, *Trichechus inunguis* já havia se consolidado como uma espécie. Com o início da drenagem para o leste também começaram a se formar os Rios Solimões, Amazonas e Negro, e demais afluentes (Domning, 1982).

A hipótese da evolução de *T. inunguis* apresentada acima se baseia na hipótese da história geológica da Amazônia e da formação da atual bacia hidrográfica proposta por Hoorn (1994a; 1994b). Campbell et al. (2006), entretanto, discordam da origem Pleistocênica da Bacia Amazônica proposta por Hoorn (1994a; 1994b). Segundo Campbell et al. (2006), desde o Mioceno tardio até o Plioceno tardio (de 6 a 2,5 milhões de anos atrás) havia mega-lagos rasos e interconectados ao largo de toda a Amazônia. Neste cenário não haveria, portanto, separação da Bacia Amazônica entre as da

Amazônia Ocidental e Oriental, mas seria apenas uma mega-bacia. No contexto apresentado por estes autores a drenagem dos Rios Solimões, Amazonas e Negro teria se formado apenas no Plioceno tardio, cerca de 2,5 milhões de anos atrás e aproximadamente 6 milhões de anos mais tarde do que o que foi proposto por Hoorn (1994a; 1994b).

Do ponto de vista da migração de *T. inunguis*, cada uma destas hipóteses implica em cenários evolutivos diferentes, pois as drenagens dos três grandes rios mencionados acima estão relacionadas às origens geológica e geomorfológica de seus afluentes, alguns dos quais foram represados pela sedimentação dos próprios grandes rios e acabaram formando os lagos de terra-firme como são conhecidos hoje.

Independentemente de qual hipótese estiver correta (ou mesmo que nenhuma destas esteja), os indícios são de que *T. inunguis* evoluiu em um ambiente em transformação constante e rápida do ponto de vista geológico, geomorfológico e ambiental. Do ponto de vista ambiental, por exemplo, as plantas marinhas que habitavam a região Amazônica quando esta ainda era parte do Pacífico tiveram que evoluir em um ambiente de água doce. Dentre outras modificações, os tecidos de sustentação tornaram-se mais fortes, o que por sua vez exigiu que o ancestral de *T. inunguis* desenvolvesse dentição apropriada (Domning, 1982). Posteriormente (a origem exata é incerta), com a formação do pulso de inundação a espécie teve que se adaptar a um ciclo anual que trouxe outras profundas transformações tanto para o hábitat físico quanto para a dinâmica do alimento e dos (potenciais) predadores. Talvez uma das adaptações evolutivas mais importantes tenha sido o desenvolvimento da capacidade de passar longos períodos sem se alimentar, uma necessidade para uma espécie aquática cujo alimento passou a ter ciclo anual com fase terrestre.

Dentro deste contexto, a migração pode ter evoluído em resposta ao surgimento do pulso de inundação e à conseqüente necessidade do animal de escapar da planície de inundação na vazante e permanecer fora dela durante a água baixa. Todavia não se sabe exatamente quando os rios foram represados e os lagos de terra-firme formados, mas a hipótese atual é que a Amazônia moderna se formou por meio de processos sedimentares que vêm ocorrendo nos últimos 2,5 milhões de anos (Campbell et al., 2006). Talvez inicialmente os animais migrassem para os rios menores às margens da planície. Quando a foz destes para os Rios Solimões e Amazonas foi bloqueada pela

sedimentação, a porção final destes se transformou nos lagos de terra-firme atualmente visitados pelos animais na água baixa. Há indícios, portanto, que do ponto de vista da migração o habitat atual do peixe-boi tenha características semelhantes ao habitat no qual os animais evoluíram nos últimos 2,5 milhões de anos, durante os quais o padrão migratório atual identificado na área de estudo se concretizou.

### **5.4.3 Fidelidade aos destinos migratórios**

Deutsch et al. (2003) observaram que nenhum dos 78 indivíduos do Peixe-boi da Flórida rastreados migrou para a costa oeste da Flórida. Todos foram consistentes nos padrões de deslocamento ao ponto que a distância média entre os centros das áreas de vida em anos diferentes era inferior a 5 quilômetros, o que mostra que *T. manatus latirostris* apresenta forte fidelidade às áreas de inverno e de verão. Além disso, os quatro animais, que foram rastreados como imaturos e depois como sub-adultos independentes, mostraram forte fidelidade ao padrão de deslocamento e filopatria natal aos destinos migratórios de inverno e verão. Isto ocorre, segundo os autores, porque os jovens aprendem os destinos e as rotas migratórias com os adultos, por um mecanismo de transmissão cultural vertical.

As evidências indicam que o Peixe-boi Amazônico também apresenta fidelidade aos seus destinos migratórios (Marmontel et al., dados não publicados), e a análise espaço-temporal do ambiente realizada neste trabalho apresenta um contexto ecológico para esta fidelidade, como será explicado a seguir.

Na água baixa, os animais passam longos períodos sem se alimentar (Best, 1983; obs. pess.), chegando a perder boa parte da camada de gordura e até a morrer de inanição - segundo caçadores que moram no Lago Amanã, morrem 'entupidos' pela lama do fundo dos lagos que comem, provavelmente para aproveitar folhas em decomposição. Como consequência disto, no início da enchente seguinte encontram-se famintos. Em uma situação como estas, é importante conhecer onde o alimento de boa qualidade irá crescer na enchente e na cheia seguinte para garantir o acúmulo de energia necessária para, dentre outras coisas, suportar a próxima água baixa. Na água alta, por sua vez, a planície, os rios e os lagos de terra-firme formam um ambiente aquático contínuo por onde os animais têm trânsito livre. Entretanto, deslocar-se para longe da região conhecida pode significar que na vazante o animal não saberá o caminho para algum

outro lago de terra-firme que esteja mais próximo. Se o nível da água descer muito, isto pode significar risco de vida ainda mais alto. Como pode ser observado, parece que o ambiente complexo e até certo ponto imprevisível no qual o Peixe-boi Amazônico vive favorece que os animais conheçam bem a dinâmica do hábitat, de preferência acompanhando suas transformações anuais. Em efeito, todos os indivíduos analisados migraram entre os mesmos lagos da planície de inundação e o mesmo lago de terra-firme todos os anos nos quais foram rastreados. Por isto, mesmo sendo importante aumentar a amostra para que seja possível tirar conclusões mais sólidas sobre a população há indícios de que, assim como o Peixe-boi da Flórida, o Amazônico também apresenta fidelidade às suas áreas de vida sazonais.

## **5.5 Implicações para Conservação**

### **5.5.1 Lagos de terra-firme parecem ser o recurso limitante para a Conservação do Peixe-boi Amazônico**

Se em *T. inunguis* o conhecimento da rota migratória for transmitido culturalmente como ocorre com *T. manatus*, a remoção seletiva de adultos pela caça pode ter conseqüências sérias porque implicará na perda do conhecimento que a população tem da região. Animais jovens ou vindos de outras regiões não saberão onde é o lago e possivelmente terão uma percepção menos aguçada dos sinais ambientais que atuam no desencadeamento da migração naquela região. Como conseqüência, estarão mais susceptíveis aos perigos de passar a água baixa na planície ou em um rio.

Em um cenário como este, políticas de conservação que enfoquem apenas a proteção do indivíduo terão efeito mais limitado por não levarem em conta o fato que, do ponto de vista da manutenção das populações selvagens, alguns podem ser mais relevantes do que outros. A caça de 6 animais que tenham como abrigo na água baixa um lago de terra-firme com população de 100 pode ter efeito menos severo sobre a espécie do que a caça do último animal que conheça outro lago de terra-firme. Apesar da grave perda populacional no primeiro caso, no segundo a perda será a de um abrigo para uma população inteira durante a água baixa. Ações que visem à conservação do peixe-boi na Amazônia Ocidental devem, portanto, ter como ponto de partida o estudo da situação atual da espécie nos lagos de terra-firme.

A escolha do lago para se iniciar o estudo dependerá de um projeto piloto no qual serão estudados fatores como a pressão de caça atual e histórica, a presença e a ‘abundância’ de peixes-boi determinadas a partir de entrevistas com moradores locais, dentre outras coisas. A partir da escolha de um lago será necessário rastrear animais para saber qual a extensão da planície de inundação subjacente necessária para proteger aquela ‘população’ de peixes-boi.

### **5.5.2 Áreas de vida sazonais do peixe-boi e a criação de Megareservas na Amazônia**

Peres (2006) definiu em um milhão de hectares a área a mínima necessária para cada uma de uma série de Unidades de Conservação (UC) que deveriam ser criadas na Amazônia. Segundo o autor, um bioma tão grande precisa de UC’s deste tamanho para que se crie uma matriz benigna capaz de garantir a preservação dos processos ecológicos em escala evolutiva. O autor se baseou, dentre outras coisas, no fato de que uma área de 1 milhão de hectares é suficiente para garantir a proteção de populações das mais variadas espécies de plantas e animais pois além da área suficiente para sobrevivência inclui ainda uma região marginal tampão capaz de minimizar as pressões ecológicas negativas (ex. desmatamento, caça predatória) que podem vir a ocorrer próximo das fronteiras das UC’s.

Por sua vez, uma das conclusões do presente estudo é que UC’s que tenham como um dos propósitos a conservação do peixe-boi precisam englobar no mínimo um lago de terra-firme e a área da planície adjacente suficiente para abrigar na água alta os animais que o visitam na água baixa. A essa área é necessário adicionar um zona tampão para que então se possa delimitar a área mínima necessária para a criação de uma UC. Um cálculo preliminar indicou que a região necessária para englobar a área de vida e as rotas migratórias dos peixes-boi analisados é de aproximadamente que 1,1 milhões de hectares, sem que tenha sido incluída a região tampão. Além disso, vale lembrar que a amostra é de 10 machos e que foi coletada de forma não-sistemática, e que, portanto, a área para proteger uma população inteira é provavelmente maior. Ou seja, qualquer UC que tenha como um de seus objetivos o peixe-boi enquadra-se na categoria de Megareserva.

Além disso, Conservação é um campo de estudos interdisciplinar no qual para que sejam geradas medidas efetivas é necessária a interação entre campos do conhecimento tais como Ecologia, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Matemática, Política, Economia e Sociologia, dentre outros. Neste contexto, o peixe-boi tem um interesse particular por ser uma espécie carismática da Amazônia – assim como o Panda, o Coala, as baleias e os golfinhos são para outros sistemas. O apelo social que uma espécie tem é sabidamente um fator positivo para sua capacidade de sensibilizar os tomadores de decisão.

Mais ainda, como foi mostrado neste estudo, os peixes-boi não apenas são encontrados em associação com as macrófitas aquáticas, mas também as selecionam, o que implica que assim como os lagos de terra-firme estas podem ser usadas para descobrir regiões com habitats adequados para abrigar populações da espécie. As macrófitas, como também foi mostrado neste estudo, são detectáveis por sensoriamento remoto. Isto abre possibilidades de estudos em várias resoluções e extensões ao ponto de poder-se amostrar, por exemplo, toda a Amazônia. A relação estreita entre as capacidades atuais dos sensores remotos e o alimento do peixe-boi é uma peculiaridade que torna esta espécie particularmente adequada para projetos de grande escala na Amazônia; por exemplo, do porte da delimitação de Megareservas.

### **5.5.3 O Peixe-boi Amazônico no contexto das mudanças globais: aumento da frequência de ENSO implicaria em maior mortalidade de animais**

Uma das implicações desta pesquisa é que quanto mais intenso for o período da água baixa, mais peixes-boi buscarão abrigo nos lagos de terra-firme. Mesmo sendo os melhores refúgios, quanto mais baixo for o nível da água em uma água baixa, mais isolados dos cursos d'água principais estarão os lagos de terra-firme e menos espaço aquático com profundidade suficiente para oferecer proteção para os animais estes possuirão.

Este efeito foi notado na baixa de 2005, especialmente intensa na história recente, na qual o número de peixes-boi mortos no Lago Tefé foi anormalmente grande ao ponto de o rumor de que estava fácil matá-los ter se espalhado pela cidade de Tefé (obs. pess.). Em um estudo quantitativo a partir de dados de caça, Thornback & Jenkins (1982) relataram que na água baixa de 1963, o ano no qual a cota havia atingido seu mínimo

relatado até então, centenas de peixes-boi foram mortos nos lagos de terra-firme Amanã, Tefé, Manacapuru, Coari, Badajós e Aiapuá. A percepção da maior vulnerabilidade dos animais quando a cota atinge valores especialmente baixos foi também manifestada por Best (1983), que se baseou em observações qualitativas derivadas do seu conhecimento de campo e de suas conversas com moradores da região. A redução dos níveis de inundação e do tempo de alagamento em anos de ENSO é algo bem documentado (Richey et al., 2000; Marengo et al. 1998), assim como a influência deste fenômeno no crescimento de árvores das áreas alagáveis da Amazônia (Schongart et al. 2004). Essa relação negativa entre o ENSO e a dinâmica de alagamento relaciona o primeiro diretamente com a sobrevivência do peixe-boi, relação esta que é agravada pelo fato das maiores densidades populacionais da Amazônia ocorrerem às margens dos Rios Solimões e Amazonas, onde a água e o solo são muito produtivos e de fácil acesso (Junk et al., 2000). Várias cidades estão localizadas nas entradas de lagos de terra-firme próximo à margem destes grandes rios (ex. Tefé, Coari, Manacapuru). Os resultados do presente estudo prevêm, portanto, que em anos de ENSO haja maior mortalidade de peixes-boi. Como o ENSO é um fenômeno determinado por processos de escala global, deduz-se que a espécie pode sofrer influência praticamente direta de mudanças globais que aumentem a frequência deste fenômeno climático. Para que este potencial efeito negativo seja contrabalançado, é necessário que sejam criados mecanismos de proteção mais eficazes da espécie, assim como são necessárias ações direcionadas à mudança da forma como populações de cidades da região encaram a natureza, dentro de um contexto de Desenvolvimento Sustentável.

#### **5.5.4 Re-introdução de animais no ambiente natural**

Seria interessante que animais fossem re-introduzidos em regiões onde há dados dos deslocamentos de indivíduos selvagens, pois só será possível saber se aqueles estão se adaptando se for conhecido o padrão natural de movimentação da espécie. Mais ainda, a possibilidade de existência de transmissão cultural traz perspectivas interessantes para a conservação da espécie porque alguns indivíduos conhecedores de um lago de terra-firme podem ser suficientes para que se inicie um programa de recuperação da população local a partir da re-introdução de animais criados total ou parcialmente em cativeiro. As evidências de que ao menos os animais que vivem ao longo dos Rios

Japurá, Solimões, Amazonas e Negro constituem uma população panmítica indicam que o fluxo de indivíduos entre regiões pode não ser incomum, o que por sua vez implica que animais de lugares diferentes da Amazônia podem ser usados para repovoar regiões alvo de conservação (Cantanhede et al., 2005). A existência de intercâmbio aumenta as chances de que indivíduos introduzidos aprendam as rotas e destinos migratórios com os selvagens, o que aumentaria bastante as chances de sobrevivência dos primeiros.

Do ponto de vista da predação, a existência de uma população local de ribeirinhos que mantenha contato amigável com pesquisadores é uma ajuda fundamental para a reintrodução, principalmente porque os animais que vierem de cativeiro provavelmente estarão acostumados com seres humanos e terão por isso perdido o que talvez seja o principal mecanismo de defesa do peixe-boi – o comportamento críptico.

Atualmente o Lago Amanã parece ser o lugar mais adequado da Amazônia para projetos de reintrodução de peixes-boi no ambiente natural. A reintrodução deveria ocorrer durante a água baixa.

## 6 CONCLUSÕES

Na água alta, quando o ambiente aquático é contínuo, a maior concentração de macrófitas aquáticas ocorre nos lagos da planície, o que faz destes os lugares mais propícios para o peixe-boi. De fato, a análise de hábitat mostra que os animais são encontrados em associação com as macrófitas e que as selecionam, o que quer dizer que nesta fase do pulso a distribuição do peixe-boi é ditada pela distribuição do seu principal alimento. Por outro lado, na água baixa não há alimento acessível em nenhum lago de planície ou terra-firme. Da água alta para a água baixa a redução da área alagada nos lagos da planície é drástica, ao ponto que alguns ficam isolados ou até secam, enquanto nos lagos de terra-firme a redução é pequena, a profundidade permanece suficiente para que os peixes-boi sobrevivam e a correnteza é menor do que nos rios. Isto indica que lagos de terra-firme são os lugares mais propícios para os peixes-boi permanecerem durante a água baixa, e a análise de hábitat confirma isto. Conclui-se, portanto, que o Peixe-boi Amazônico possui áreas de vida sazonais - em lagos de terra-firme durante a água baixa e em lagos da planície de inundação durante a água alta -, entre as quais migra.

Os resultados deste estudo apontam os rios de água branca (tais como o Solimões e o Amazonas) como o principal hábitat da espécie (e onde provavelmente era mais abundante), pois ali se encontra mais do alimento que os animais selecionam. Por sua produtividade mais elevada e seu fácil acesso, estes rios também são os que abrigam as maiores populações humanas da Amazônia. Se a hipótese dos lagos de terra-firme como refúgios para a espécie durante a água baixa for confirmada, ela implicará que anualmente peixes-boi concentram-se em locais onde ficam extremamente vulneráveis aos caçadores. No estado atual de conscientização de muitas populações humanas que habitam a região - onde, apesar de proibida, a caça é sabidamente praticada -, isto implicaria que na água alta o peixe-boi está exposto às conseqüências da degradação do seu hábitat por causa da poluição dos rios e do tráfego intenso de embarcações, enquanto na água baixa sofre a pressão da caça. Não há qualquer estimativa populacional da espécie, mas o fato de serem animais dificílimos de serem vistos na natureza contrasta muito com relatos históricos de abundância por toda a extensão dos Rios Solimões e Amazonas. Isto indica que espécie encontra-se em situação mais séria

do que se imaginava, e que por isto é importante que sejam tomadas medidas imediatas para ajudar sua conservação. Uma das soluções possíveis é a criação de Megareservas que tenham o peixe-boi como um dos propósitos, de acordo com o objetivo de um Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia.

No que diz respeito ao desencadeamento do processo migratório, o fato de todos os peixes-boi rastreados terem iniciado a migração da vazante praticamente ao mesmo tempo sugere que a motivação foi a mesma. Por um lado, eles devem retardar ao máximo a partida do Mamirauá para se alimentar mais antes de passar vários meses em jejum, e por outro foi encontrado um ‘gargalo’ na rota migratória para o Amanã que pode impedir a passagem dos animais após certo momento da vazante.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. **Definição objetiva das fases da hidrógrafa:** A inexistência de uma definição objetiva das fases do pulso de inundação a partir da curva da hidrógrafa impede que sejam feitas comparações em escala mais fina da dinâmica de alagamento em regiões diferentes. Neste trabalho propõe-se uma definição matemática que se adotada resolverá este problema.
2. **Imagens Landsat-TM são adequadas para captar o padrão geral de variação na cobertura por macrófitas, mas inadequadas para captar variações mais finas.** Projetos futuros devem usar também outros sensores. Os hiper-espectrais e os SAR têm se provado uma boa alternativa.
3. **‘Lagos de terra-firme’ não podem ser agrupados em uma categoria homogênea no que diz respeito à variação anual na cota. Isto pode, dentre outras coisas, ter implicações para o peixe-boi:** Lagos mais próximos do Rio Solimões têm uma dinâmica de inundação mais parecida com a deste rio (maior amplitude de variação da cota), enquanto em lagos mais distantes a amplitude de variação é menor. Isso pode ter implicações importantes para que um lago seja escolhido pelo peixe-boi, e talvez por outras espécies.
4. **Tamanho da amostra:** É necessário rastrear mais indivíduos para que seja possível captar melhor a variabilidade populacional.
5. **Sistematicidade dos dados:** É importante desenvolver um protocolo de coleta de dados de rastreamento para garantir a sistematicidade dos mesmos. Isto requer esforço e dinheiro, mas pode trazer benefícios importantes porque permitirá, por exemplo, que se estude a organização espacial e as interações entre indivíduos que habitam um mesmo lago; o que aumentará, por exemplo, o sucesso de projetos de reintrodução.
6. **Transmissão Cultural no Peixe-boi Amazônico:** O fato de o ambiente apresentar dificuldades que variam em escalas temporais curtas (anuais) indica que o mecanismo de transmissão cultural pode ser importante para a espécie.



## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUÑA, C. **Novo descobrimento do Grande Rio Amazonas/ Critóbal de Acuña, 1641** (tradução de Helena Ferreira, revisão técnica de Moacyr Werneck de Castro, revisão de José Tedin Pinto). Rio de Janeiro: Agir, 1994. 180 p.

ABDON, M.M. ; MEYER, M. Differentiation on genus of aquatic macrophytes through remote sensing in the Tucuruí reservoir, Pará State, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT 24, 1991, Rio de Janeiro. **Proceedings...** v.1, p. 311-322, 1992.

AEBISCHER, N.J; ROBERTSON, P.A & KENWARD, R.E. Compositional Analysis of Habitat Use From Animal Radio-Tracking Data. **Ecology** v.74, n.5, p. 1313-1325. 1993

AITCHISON, J. The statistical analysis of compositional data. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v 44, n2, p. 139-177. 1982

ALSDORF, D.E., MEACK, J.M, DUNNE T, MERTES L.A.K, HESS, L.; SMITH, L.C. Interferometric radar measurements of water level changes on the Amazon flood plain. **Nature** , v.404, p. 174-177, 2000.

ALSDOR, D.E. Tracking fresh water from space. **Science** 12 v. 301, n.5639, p. 1491 – 1494. 2003

ARRAUT, E.M., MANTOVANI, J.E.; NOVO, E.M.L.M. Quanto alimento há para o Peixe-boi Amazônico: técnicas de processamento digital de imagens para estimar a dimensão de bancos de macrófitas aquáticas. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 21-26 abril 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais...** , INPE, 6609-6614p. 2007. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.22.18/doc/6609-6614.pdf>>

BARBOSA, C. **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.

BEST, R.C.; MONTGOMERY, G.G.; YAMAKOSHI, M. Avaliação de técnicas de rádio-rastreamento e marcação do peixe-boi da Amazônia, *Trichechus inunguis* (Mammalia:Sirenia). **Acta Amazônica**, v.11, n. 2, p. 247-254, 1981.

BEST, R.C. Seasonal breeding in the Amazonian Manatee, *Trichechus inunguis* (Mammalia: Sirenia), **Biotropica** v.14, n.1, p. 76-78. 1982

BEST, R.C. Apparent Dry-season fasting in Amazonian Manatees (Mammalia: Sirenia). **Biotropica** v.15, n.1, p. 61-64. 1983

BEST, R.C. The aquatic mammals and reptiles of the Amazon. In: SIOLI, H. **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** The Netherlands: Dr. W. Junk Publisher, 1984. p. 371-412.

BURT, W.H. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. **Journal Mammalogy** v.24, p. 346-352. 1943

CAMPBELL JR, K.E., FRAILEY, C.D & ROMERO-PITTMAN, L. The Pan-Amazonian Ucayali Peneplain, late Neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon River system. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** v.239, p.166-219. 2006

CANTANHEDE, A.M.; SILVA, V.M.F.; FARIAS, I.P.; HRBEK, T.; LAZZARINI, S.M. & ALVES-GOMES. Phylogeography and population genetics of the endangered Amazonian manatee, *Trichechus inunguis* Natterer, 1883 (Mammalia, Sirenia). **Molecular Ecology** v.14,n.2, p.401-413. 2005

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

CORKERON R.C.; CONNOR, P.J. Why do baleen whales migrate? **Marine Mammal Science** v.15, n.4, p. 1228-1 245. 1999

COSTA, M.P.F; NOVO, E.M.L.M., AHERN, F., MITSUO II, F. MANTOVANI, J.E., BALLESTER, M.V.; PIETSCH. The Amazon floodplain through radar eyes: Lago Grande de Monte Alegre case study. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 4, p. 339-349, 1998.

DEUTSCH, J.C.; BONDE, R.K. & REID, J.P. Radio-tracking manatees from land and space: tag design, implementation and lessons learned from long-term study. **Marine Technology Society Journal**, v.32, n.1, p. 18-29. 1998

DEUTSCH, J.C.; REID, J.P.; BONDE, R.K.; EASTON, D.E.; KOCHMAN, H.I. & O'SHEA, T.J. Seasonal movements, migratory behavior and site fidelity of West Indian manatees along the Atlantic coast of the United States. **Wildlife Monographs 151, Supplement to the Journal of Wildlife Management**, v.67, n.1, 2003.

DOMNING, D. Commercial exploitation of manatees *Trichechus* in Brazil c. 1785-1973. **Biological Conservation** v.22, n.2, p. 101-126. 1982.

ECOLOGICAL SOFTWARE SOLUTIONS LLC. **LOAS** - location of a signal 4.0b. Hegymagas, Hungary. 2005

FERREIRA, L.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**. v. 19, n.53, p. 157-166. 2005

FONSECA, N.D.A.; MASCARENHAS; BANON, G.J.F. Técnicas de restauração para reamostragem de imagens do satélite Landsat-5, In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES, 1987, Campinas, SP, **Anais...** Campinas, 1987. p. 204-208. (INPE-4189-PRE/1076).

FURCH, K. Water chemistry of the Amazon basin: the distribution of chemical elements among freshwaters. In: **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers, 1984.p. 99-167.

GRACIANI, S. D.; NOVO, E. M. L. M. Determinação da cobertura de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2509 - 2516. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X. (INPE-16199-PRE/10802). Disponível em:  
<<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.10.35>>. Acesso em: 01 set. 2011.

GRUBB, P. *Equus burchellii*. **Mammalian Species** v.157, 1-9p. 1981

HACK, M.A.; Rubenstein, D.I. Migration. In: **Encyclopedia of biodiversity**, Volume 4. S.A. Levin (Ed.) Academic Press, 2001

HALL, L.S.; KRAUSMAN, P.R.; MORRISON, M.L. The hábitat concept and a plea for standard terminology. **Wildlife Society Bulletin**, v. 25, n.1, p. 173-182. 1997

HENDERSON, P.A. O ambiente aquático da Reserva Mamirauá. In: Queiroz, H. L.; Crampton, W. G.R. (Eds.). **Estratégias para manejo de recursos pesqueiros em Mamirauá** Brasília: Sociedade Civil Mamirauá, CNPq, 1999

HESS, L.L.; MELACK, J.M.; SIMONETT, D.S. Radar detection of flooding beneath the forest canopy: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v.11, n.7, p. 1313-1325. 1990.

HESS, L.L.; MELACK, J.M., FILOSO, S.; WANG, Y. Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon floodplain with SIR-C Synthetic Aperture Radar. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.33, n.4, p. 896-904. 1995

HESS, L.L.; MELACK, J.; NOVO, E.M.L.M.; BARBOSA, C.F.; GASTIL, M. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. . **Remote Sensing of Environment** v.87, n.4, p. 404-428, 2003.

HOORN, C. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonian Basin (Earl y Miocene–earl y Middle Miocene, Colombia). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** v.109, p. 1-54. 1994a.

HOORN, C. An environmental reconstruction of the palaeo-Amazon River system (Middle-Late Miocene, NW Amazonia). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** v.112, p.187–238. 1994b.

JUNK, W.J.; HOWARD-WILLIAMS, C. Ecology of Aquatic macrophytes in Amazonia. In: Sioli, H. **The Amazon: limnology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht; W. Junk Publisher, 1984

JUNK, W.J. & PIEDADE M.T.F. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. In: Junk, W.J. **The Central Amazon Floodplain**. Berlin: Springer-Verlag, 1997

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B. & SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: INTERNATIONAL LARGE RIVER SYMPOSIUM, 1989, Ontario. **Proceedings... Ontario**, Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Science, 1989. v.106, p. 110-127.

JUNK, W.J., OHLY, J.J., PIEDADE, M.T.F. & SOARES, M.G.M. **The Central Amazon Floodplain: actual use and options for a sustainable management**. Backhuys Publishers, B.V., Leiden, 2000

KENWARD, R.E. **A manual for wildlife radio tagging**. Londres: Academic Press, 2001. 311p.

KENWARD, R.E.; MARCSTROM, V; & KARLBOM, M. Demographic estimates from radio-tagging: models of age-specific survival and breeding in the Goshawk. **Journal of Animal Ecology** v.68, n.5, p. 1020-1033, 1999.

KENWARD, R.E. **Dados obtidos via radiotelemetria**. (I Simpósio Brasileiro de Radiotelemetria, Londrina, PR, fev. 2006. Comunicação Pessoal.

KENWARD, R.E., SOUTH, A.; WALLS, S. **Ranges 7.14 Analysis system for Biological Location Data**. Anatrack Ltd., Institute of Terrestrial Ecology, Wareham. 2007

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em:  
<<http://www.labeee.ufsc.br/software/declinacao.html>>, 2008

LEFEBVRE, L.W.; REID, J.P.; KENWORTH, W.J. & POWELL, J.A. Characterizing manatee habitat use and seagrass grazing in Florida and Puerto Rico: implications for conservation and management. **Pacific Conservation Biology**, v.5, p.289-298. 2000.

LEVIN, S. The problem of pattern and scale in Ecology: the Robert H. MacArthur Award Lecture. **Ecology** v.73, n.6, p.1943-1967, 1992.

LEVIN, S. Multiple scales and the maintenance of biodiversity. **Ecosystems**. v.3, n.6, p. 498-506, 2000.

LEWINSOHN, T; PRADO, P. How many species are there in Brazil? **Conservation Biology** v.19, n.3, p. 619–624. 2005.

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

LOWRANCE ELECTRONICS. **Sonar Log Viewer (SLV) 1.2.2.** Disponível em: <<http://www.lowrance.com/en/Downloads/Sonar-Log-Viewer-SLV/>>. Acessado em: 25/5/2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Lista nacional das espécies ameaçadas de extinção.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/fauna/index.cfm>>. Acesso em: 27/5/2003

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **SPRING 4.3.** Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acessado em: 25/5/2006

MANTOVANI, JE. **Telemetria convencional e via satélite na determinação das áreas de vida de três carnívoros da região nordeste do Estado de São Paulo.** Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

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. **Dados não publicados.**

MARTIN, A.R.; S. K. KATONA; D. MATILLA; D. HEMBREE; T. D. Migration of Humpback Whales between the Caribbean and Iceland Waters. **Journal of Mammalogy** v.65, n.2, p. 330-333, 1984.

MARENGO, J.A. TOMASELLA, J.; UVO, C.R. DETTINGER, M.D., CAYAN, D.R., MCCABE, G.J., MARENGO, J.A. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil and north-western Peru. **Journal of Geophysical Research** v.103, n.D2, p.1775–1783, 1998.

MONTGOMERY, G.G.; BEST, R.C.; YAMAKOSHI, M. A radio-tracking study of the Amazonian manatee *Trichechus inunguis* (Mammalia: Sirenia). **Biotropica** v.13, n.2, p. 81-85, 1981.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **GEOCOVER-Mr.SID.** Disponível em: <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acessado em: 7/9/2004.

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.

NOVO, E. M. L. M.; COSTA, M. P.; MANTOVANI, J. E. Avaliação do uso de medidas de textura na discriminação de ambientes aquáticos do reservatório da UHE Tucuruí a partir de dados Radarsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9. (SBSR), 1998, Santos. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 1998. p. 155-166. Printed, On-line. ISBN 85-17-00015-3. (INPE-6933-PRE/2895). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/02.08.10.11>>. Acesso em: 01 set. 2011.

OXFORD. **Compact oxford english dictionary of current english**. Disponível em: <<http://www.askoxford.com/?view=uk>>, Acesso em: 23/5/2008.

PALHA, W. S. M.; NOVO, E. M. L. M.; BARBOSA, C. C. F.; CARVALHO, A. S.; FORSBERG, B. R.; MELACK, J. Mapeamento e estimativa de cobertura da terra e de habitats aquáticos de várzea, na região da Amazônia Central utilizando imagens TM/LANDSAT-5 E SAR/JERS-1. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2853 - 2860. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X. (INPE-16211-PRE/10812). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.16.05>>. Acesso em: 01 set. 2011.

PERES, CA. Why we need Megareserves in Amazonia. **Conservation Biology** v.19, n.3, p.728-733, 2005.

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

PIEIDADE, M.T.F. ; JUNK, W.J. E LONG, S.P. The Productivity of the C4 grass *Echinochloa polystachya* on the Amazon floodplain. **Ecology**, USA, v. 72, n. 4, p. 1456-1463, 1991.

PROVANCHA, J.A.; HALL, C.R. Observations of associations between seagrass beds and manatees in east central Florida. **Florida Scientist** v.54, p. 87-98, 1991.

RATHBUN, G.B.; REID, J.P.; CAROWAN, G. **Distribution and movement patterns of manatees (*Trichechus manatus*) in northwestern peninsular Florida**. v. 48, 1990. Florida, Florida Marine Research Publication.

REID, J.P.; BUTLER, S.M.; EASTON, D.E.; DEUTSCH, C.J. Fifteen years of success in tracking manatees with Argos System: an overview of programs and techniques. In: Argos International Users Conference. **Proceedings...** Annapolis, EUA, MD, 2001. p.9  
RICHEY, J.E.; NOBRE, C. & DESER, C. Amazon River Discharge and Climate Variability: 1903 to 1985. **Science** v.246, n.4926, p.101 – 103, 1989.

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

ROSAS, F.C.W. Order Sirenia (Manatees, Dugongs, Sea Cows). In: Fowler, E.F.; Cubas, Z.S. (eds). **Biology, medicine and surgery of South American wild animals**. Iowa: Iowa State University Press, 2001, p.352-356.

ROSENQVIST, A.; RORSBERG, B.R.; PIMENTEL, T.; RAUSTE, Y.A. & RICHEY, J.E. The use of spaceborne radar to model inundation patterns and trace gas emissions in the central Amazon floodplain. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.7, p.1303-1328, 2002.

SARGENT, F.J., LEARY, T.J., CREWZ, D.W. E KREUER, C.R. **Scarring of Florida's seagrasses: assessment and management options**. Florida Department of Environmental Protection, Saint Petersburg, Florida, EUA, 1999. FMRI Technical Report TR-1.

SHEPPARD, J.K., PREEN, A., MARSH, H., LAWLER, I.L. WHITTING, S.D. JONES, R.E. Movement heterogeneity of dugongs, *Dugong dugon* (Müller), over large spatial scales. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** v.334, p. 64-83, 2006.

SCHONGART, J.; JUNK, W. Forecasting the flood-pulse in Central Amazonia by ENSO-indices. **Journal of Hydrology** v.335, n.1-2, p.124-132, 2007.

SILVA, M. **Carta de demissão ao Presidente da República do Brasil**. Disponível em <[http://assets.wwf.org.br/downloads/carta\\_demissao\\_marina.pdf](http://assets.wwf.org.br/downloads/carta_demissao_marina.pdf)>. Acesso em: 13/5/2008.

SIOLI, H. Hydrogeochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana**, v.1, p. 267-277. 1968

SIOLY, H. The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: Sioly, H. **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: W. Junk Publisher, 1984

THORNBACK, M. JENKINS. 1982. **The IUCN red data book, part 1**. Threatened Mammalian Taxa of the Americas and Australasian Zoogeographic Region (Excluding Cetacea). International Union for the Conservation of Natural Resources, Gland: Switzerland. 516p.

VIEIRA, C.A.O. **Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study**. 352f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Universidade e3 Nottingham, Nottingham, Reino Unido. 2000

WORLD CONSERVATION UNION (WCU). **IUCN red list of threatened species**. Disponível em:<<http://www.iucnredlist.org/>>. Acesso em: 17/5/2008.

WEIGLE, B.L. ; FLAMM, R.O. Modeling manatee habitat use with telemetry data in a GIS. In: FORUM ON WILDLIFE TELEMETRY: INNOVATIONS, EVALUATIONS AND RESEARCH NEEDS, 1997, Snowmass Village, Colorado. **Proceedings...** Snowmass Village, Colorado: U.S. Geological Survey, 1997.

WEIGLE, B.L.; WRIGHT, I.E.; ROSS, M.; FLAMM, R. **Movements of radio-tagged manatees in Tampa Bay along Florida's west coast, 1991-1996.** U.S. Geological Survey, 2001.156p.

WIENS, J.A. Predicting species occurrences: progress, problems, and prospects. In: SCOTT, J.M.; HEGLUND, P.L.; MORISSON, M.L. et al. (eds). **Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale.** Washington, D.C: Island Press, 2002.898p.

WHITE, G.C.; GARROTT, R.A. **Analysis of wildlife radio-tracking data.** San Diego: Academic Press, Inc. 1990. 383p.

WORTHY, G.A.J, MICULKA, T.A E WRIGHT, S.D. Manatee response to cold: how cold is too cold?. In: USFWS FLORIDA MANATEES AND WARM WATER, 1999, Jupiter, FL. **Proceedings...** Jacksonville, FL: U.S. Fish and Wildlife Service, 1999. p. 17-22.



## APÊNDICE A

### Exemplo da rotina MatLab usada no processamento dos dados batimétricos.

```
% gera três arquivos para cada rota
% arquivo 1 - dados brutos COLUNAS : índice, latitude, longitude e profundidade e
temperatura
% arquivo 2 - dados sem zero e sem repetição COLUNAS : índice, latitude, longitude e
profundidade (EM METROS) e temperatura
% arquivo 3 - arquivo aux de profundidade
% arquivo 4 - arquivo aux de
% arquivo 5 - dados corrigidos(lat e long e profundidade) : COLUNAS: indice, latitude,
longitude e profundidade(EM METROS)
% arquivo 6 - dados corrigidos(lat e long e temperatura) : COLUNAS: indice, latitude,
longitude e temperatura

%
UpperLimit,LowerLimit,DepthValid,Depth,WaterTempValid,WaterTemp,Temp2Valid,
Temp2,Temp3Valid,Temp3,WaterSpeedValid,WaterSpeed,PositionValid,PositionX,Pos
itionY,SurfaceDepth,SurfaceValid,TopOfBottomDepth,TopOfBottomValid,ColumnIs5
0kHz,TimeValid,TimeOffset[ms],SpeedTrackValid,Speed,Track,AltitudeValid,Altitude

% coluna 4 - profundidade
% coluna 14 - posição X
% coluna 15 - posição Y
% coluna 6 - temperatura
% coluna 24 - velocidade

% o comando = [] deleta linhas e colunas;

%lat=(pos.x * RadToDeg) / SEMIMINOR,
%long= RadToDeg * (2 * atan( exp(pos.y / SEMIMINOR)) - HALF_PI);

clear all;
pack;

DegToRad= 0.01745329252;
RadToDeg= 57.2957795132;
SEMIMINOR= 6356752.3142;
PI= 3.141592654;
HALF_PI= 1.570796327;

cota = (15.77 - 11.47)*0.01; % alterar depois do -
dados=load('CHART212.csv'); % carregando o arquivo .CSV
[L,r]=size(dados); % verificando o tamanho do arquivo

arquivobruto(:,1)=(1:L)'; % criando o indice de pulsos
```

```

arquivobruto(:,2)=dados(:,14); % pos. X
arquivobruto(:,3)=dados(:,15); % pos. Y
arquivobruto(:,4)=dados(:,4); % profundidade
arquivobruto(:,5)=dados(:,24); % velocidade

arquivo1(:,1)=(1:L)'; % criando o indice de pulsos
arquivo1(:,2)=dados(:,14); % posicao x
arquivo1(:,3)=dados(:,15); % posicao y
arquivo1(:,4)=dados(:,4); % profundidade
arquivo1(:,5)=dados(:,6); % temperatura
arquivo1(:,6)=dados(:,24); % velocidade

[x,y]=find(arquivobruto==0); % encontrando os valores nulos de
arquivo2=arquivo1;
arquivo2(x,:)=[]; % deletando linhas com valores nulos ==0

arquivo3 = arquivo2;
arquivo3(:,2)=(arquivo2(:,2).*RadToDeg) ./ SEMIMINOR; % corrigindo pos. x
lat=(pos.x * RadToDeg) / SEMIMINOR,
arquivo3(:,3)=RadToDeg .* (2 .* atan(exp(arquivo2(:,3)/ SEMIMINOR)) - HALF_PI);
% corrigindo pos. y long= RadToDeg * (2 * atan( exp(pos.y / SEMIMINOR)) -
HALF_PI);
arquivo3(:,4)=arquivo3(:,4)*0.3048; % transformando pes em metros
arquivo3(:,5)=arquivo3(:,6); % velocidade
arquivo3(:,6)=arquivo3(:,4)- (0.0006.*(arquivo3(:,5).^2) - 0.0161.*arquivo3(:,5)) +
cota;
[x1,y1] = find(arquivo3(:,4)>40); % procurando valores de profundidade maior que
40m

arquivo3(x1,:)=[]; % deletando prof. 40m
arquivo2(x1,:)=[]; % deletando prof. 40m

arquivo4 = arquivo3;
arquivo4(:,4) = arquivo2(:,5) ; % temperatura

[b,m,n] = unique(arquivo3(:,2:3),'rows'); % encontrando valores repetidos

arquivo5=arquivo3(m,1:6);% arquivo com valores de profundidade

%arquivo6=arquivo4(m,1:4);% arquivo com valores de temperatura
%arquivo6=sortrows(arquivo6,1); % ordenando os arquivos

arquivo5=sortrows(arquivo5,1); % ordenando os arquivos

arquivo6(:,1)=arquivo5(:,1);
arquivo6(:,2)=arquivo5(:,2);
arquivo6(:,3)=arquivo5(:,3);

```

```
arquivo6(:,4)=arquivo5(:,6);  
arquivo6(:,5)=arquivo5(:,4);  
arquivo6(:,6)=arquivo5(:,5);
```

```
plot(arquivo5(:,2),arquivo5(:,3),'.'); %plotando os valores  
%sort
```

```
save 'Chart212_dadosbruto.txt' arquivobruto '-ascii' '-tabs' % salvando dados brutos  
save 'Chart212-profundidade.txt' arquivo6 '-ascii' '-tabs' % salvando dados de  
profundidade (todo corrigido)  
%save 'Chart185-1ppvs_temperatura.txt' arquivo6 '-ascii' '-tabs' % salvando dados de  
temperatura (todo corrigido)
```



## APÊNDICE B

### Algoritmo de Detecção Vetorial de Dispersão

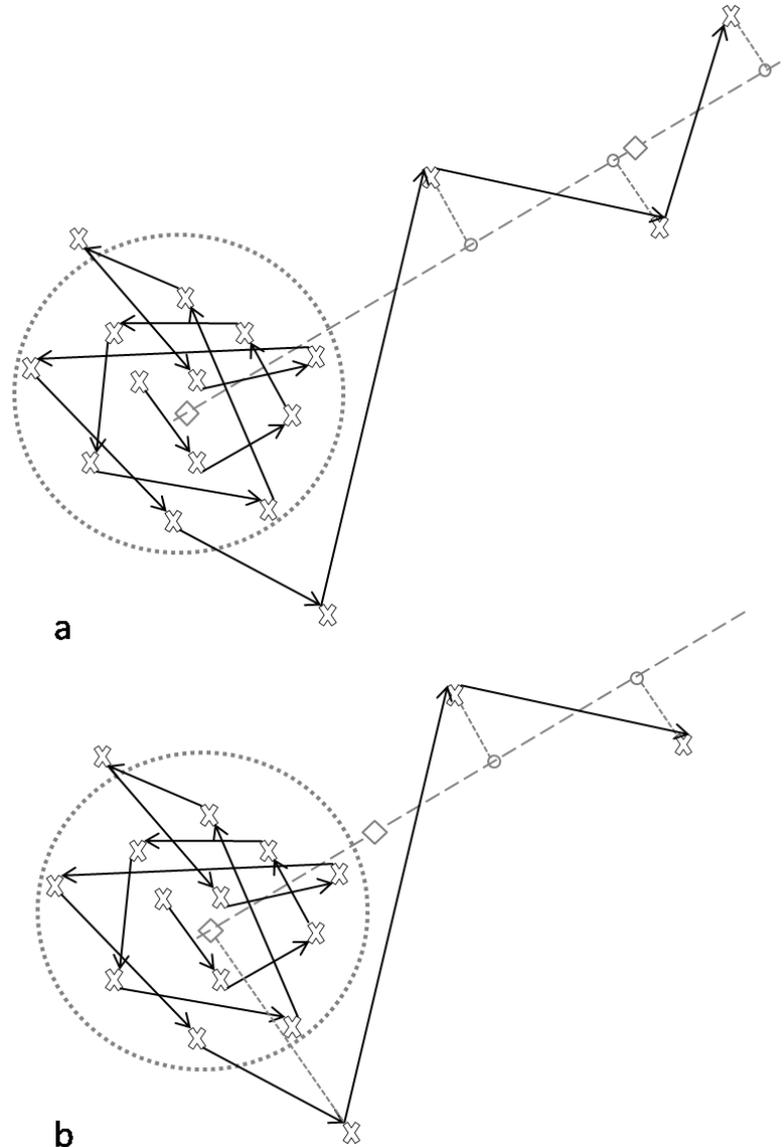


Figura B1 – Ilustração do funcionamento do algoritmo de detecção de dispersão. Os pontos marcados com um x representam as localizações diárias, ligadas por vetores que indicam a direção do deslocamento do animal. Os dois diamantes são os centros aritméticos das  $k$  primeiras localizações e das três seguintes, ligados pela reta . Os pontos marcados com um círculo pequeno são as projeções ortogonais sobre dos três pontos do segundo grupo. O círculo pontilhado com centro em representa o limite de confiança a 95%. (a) houve dispersão e (b) retirando-se o último ponto vê-se que ainda não houve dispersão. Segundo Kenward (2001).

As localizações consecutivas de um indivíduo são representadas pela seqüência de pontos  $\{p_i\}=(x_i,y_i)$ ,  $i=1,\dots,n$  com  $n \geq 6$ , de uma região  $R$  do plano. Formam-se dois grupos de pontos: o primeiro grupo com os primeiros  $k$  pontos  $\{p_1, p_2, \dots, p_k, k \geq 3\}$  e o segundo com os três pontos seguintes  $\{p_{k+1}, p_{k+2}, p_{k+3}\}$ . Começa-se com  $k = 3$ : seja  $\vec{V}_k = \overrightarrow{o_k m_k}$  o vetor com origem no ponto  $o_k$  (média aritmética dos pontos do primeiro grupo) e meta no ponto  $m_k$  (media aritmética dos pontos do segundo grupo) e  $r_k$  a reta que passa pelo ponto  $o_k$  e com vetor diretor  $\vec{V}_k$ . Considere as projeções ortogonais  $q_1, q_2, q_3$  dos três pontos do segundo grupo sobre a reta  $r_k$  e seja  $C_k$  o círculo do limite de confiança a 95% com centro em  $o_k$ . Se algum dos pontos  $q_1, q_2, q_3$  estiver dentro de  $C_k$  considera-se que não houve dispersão (Figura B1b). Se os três estiverem fora se considera que houve dispersão (Figura B1a). Se houve dispersão, termina o processo. Caso não tenha havido, prossegue-se com  $k = 4$  e assim sucessivamente até encontrar o primeiro  $k = k_0$  para o qual há dispersão. Diz-se então que  $p_{k_0}$  é o ponto do início da dispersão.