UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA
CP: 1639 CEP: 59.072-970 NATAL-RN TEL (FAX): 3215-3831

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS MORFODINÂMICOS E HIDRODINÂMICOS DO CINTURÃO LACUSTRE MERIDIONAL DA RESERVA BIOLÓGICA DO LAGO PIRATUBA, AMAPÁ

Autora:

MARIA DE FÁTIMA ALVES DE MATOS

Orientador:
Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (DG/PPGG/UFRN)

Co-Orientador:
PhD. Luis Roberto Takiyama (CPAQ/IEPA)

Dissertação N° 81/PPGG

Natal – RN, Outubro de 2009

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA
CP: 1639 CEP: 59.072-970 NATAL-RN TEL (FAX): 3215-3831

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS MORFODINÂMICOS E HIDRODINÂMICOS DO CINTURÃO LACUSTRE MERIDIONAL DA RESERVA BIOLÓGICA DO LAGO PIRATUBA, AMAPÁ

Autora:

MARIA DE FÁTIMA ALVES DE MATOS

Dissertação de mestrado apresentada no dia 02 de outubro de 2009 à Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito à obtenção do título de Mestre em Geodinâmica.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (DG/PPGG/UFRN)
Prof. Dra. Helenice Vital (DG/PPGG/UFRN)
Prof. PhD. Luis Roberto Takiyama (CPAQ/IEPA)

Natal – RN, Outubro de 2009

Dedico a meus pais “*Dulce e João*” *por*
todo amor recebido nessa vida.
A meus queridos irmãos pelas brincadeiras,
cuidados, atenção e todo carinho.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço às fontes financiadoras, que sem o apoio deles não poderia desenvolver esse trabalho: a CAPES, a REDE 05-PETROMAR/2007-CTPETRO/FINEP/PETROBRAS/CNPq, no âmbito do Projeto AMASIS e dos Projetos PETRORISCO-FASE-2 e HIDROSEMA.

Inicialmente eu gostaria de agradecer a meu querido orientador, Venerando Amaro, pessoa por qual tenho muito respeito e carinho. Obrigada por todo apoio, confiança, atenção e por acreditar na minha pessoa e trabalho. Professor, obrigada pelos valiosos ensinamentos, incentivos e amizade.

Ao meu co-orientador, Luis Roberto Takiyama, obrigada pelos incentivos, apoio, atenção e pelos seus ensinamentos.

Gostaria de agradecer especialmente à você Odete Silveira, obrigada por tudo que aprendi e convivi com você, por todos os seus ensinamentos e conselhos, amizade, carinho em todos os momentos. Isso tudo só foi possível por que você acreditou em meus sonhos...!

Na vida encontramos pessoas que escolhemos como nossa outra família, à Miriam e Luma, gostaria de expressar todo meu carinho por vocês e dizer o quanto eu sou feliz por terem me deixado entrar em suas vidas.

A professora Helenice Vital, obrigada por sua atenção e apoio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG/UFRN por me receber nesta insituição de tão prestígio.

Aos professores do PPGG: Venerando, Helenice, Galindo, Fernando Cesar, Cordeiro, Pinheiro, Ricardo Amaral, obrigada pelos seus ensinamentos e por me fazer entender pouco mais sobre a ciência geológica.

À Nilda, obrigada por toda sua atenção e carinho.

Ao Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá e Centro de Pesquisas Aquáticas - IEPA/CPAQ. Instituto de minha formação científica e profissional, obrigada pelo apoio e estrutura para a realização dos trabalhos.

Ao Laboratório de Geoprocessamento – GEOPRO, pela estrutura e apoio para a realização deste trabalho. Laboratório que hoje é "*Minha Casa*", onde tenho muito a aprender e contribuir.

Ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marianha e Monitoramento Ambiental - GGEMMA, pelos empréstimos dos equipamentos e estrutura para os trabalhos de campo, e pelos curso propocionados por este laboratório e principalmente a equipe.

Ao Instituto Chico Mendes (antigo IBAMA), pelos apoios e estruturas nas campanhas de campo e pelos dados cedidos.

À Agência Nacional de Águas pelos dados cconcedidos.

À família GEOPRO: Venerando, Anderson, Michael, Dalton, Arnóbio, Gabriel, Carlinha, Caio, Vitor, Dário, Ranyere, Allanderson, Sônia, Maria Helena, Bianca, Charles, Alessandra, Bruno (Caverna), Sérgio, Marcia, Bruno, Angélica, Bahiano, Thiago, Poliana, Galúcio, obrigada por fazer parte dessa família, mas gostaria de agradecer de coração por todo apoio, carinho e ajuda no nosso dia-a-dia, não só pelos ensinamentos que tenho adquirido com vocês, mas também, pelos memoráveis e valiosos momentos de descontração.

Especialmente, quero agradecer a Anderson e Dalton, por toda a paciência e atenção, em me ajudar, pelos momentos de alegria. Esta dissertação só foi possível de ser desenvolvida porque vocês não mediram esforços para ensinar. Vocês são o "*Máximo*", obrigada.

Aos meus amigos e colegas do CPAQ/IEPA, pessoas por quais tenho muito carinho. Obrigada, por todo atenção, apoio e carinho de vocês: Odete, Taki, Negão, Marcão, Cida, Salú, Alanzinho, Val, Zana, Uédio, Sissi, Maki, Laysa, Lucila, Lú, Eliana, as Claúdias, Tardin, Josiane, Maurício (PC), Luciano, Chicão, André, Heidi, Sérgio, Kerly, e outros amigos e colegas, a todos vocês eu gostaria de agradecer profundamente por tudo que me proporcionaram em conhecimentos, e pelos agradáveis e eternos momentos vividos, obrigada!

Gostaria de fazer um agradecimento especial ao amigo e colega de trabalho, José Roberto Pantoja mas conhecido como "*Chicão*". Amigão valeu pelos anos de trabalhos juntos e pela amizade.

À Adriana, por seu carinho e valiosa atenção na fase final desta dissertação, obrigada.

Aos amigos queridos Alan, Fernadinha, Camilinha, Linda, Cris, Júnior, Canindé, Maria, Mariana, Virgínia, Maíza, Léo (em memória), Tina, Adriano, Heidi, Ana Carolina, Claudinha, Luciano, presentes em meu coração.

As minhas irmãzinhas Zê, Maki e Laysa, obrigada por vocês serem meus anjos da guarda, saudades eternas.....!!!

E, a Romain, por todo seu amor....

RESUMO

O Estado do Amapá abrange um importante sistema lacustre natural, conhecido como "*A Região dos Lagos do Amapá*". A maioria desses lagos está concentrada na parte sul da planície costeira do Amapá. É uma região altamente influenciada pelas descargas do rio Amazonas, este considerado o maior em descarga líquida, com cerca de 209.000 m³/s e 6.10^8 ton.dia^{-1} de aporte de sedimentos ao Oceano. Esta região também é fortemente influenciada da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Oscilação Sul-*El Niño* (OSEN ou ENSO) que atuam principalmente sobre precipitação, nebulosidade, hidrologia dos rios locais e maré. Nesta região, está localizado os principais cinturões lacustre do Amapá: Cinturão Lacustre Ocidental, Cinturão Lacustre Oriental e Cinturão Lacustre Meridional. Este último cinturão é formados pelos Lagos dos Botos, Lago Comprido de Cima, Lago da Bacia, Lago Lodão, Lago dos Ventos , Lago Mutuco e o Lago Comprido de Baixo. São poucos conhecidos do ponto de vista da hidrodinâmica e morfodinâmica, e correm o risco de ter seu funcionamento natural alterado, antes mesmo de serem estudados. Fatores como a redução do volume de área, eutrofização por vegetação aquática, antropização, alterações na hidrodinâmica (vazão), são fatores já evidenciados e podem contribuir significativamente para seu desaparecimento do Cinturão Lacustre Meridional. Este Cinturão está dentro dos limites da Reserva Biológica do Lago Piratuba, criada em 1980, cuja finalidade é de conservação e de proteção integral. O objetivo principal deste trabalho foi a caracterização dos processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos, visando entender o funcionamento geoambiental do Cinturão Lacustre Meridional, desde o Lago Comprido de Baixo até o Lago dos Ventos, incluindo o Igarapé do Tabaco. Teve como base metodológica a aquisição de dados de descarga líquida, marés, batimetria e a interpretação multitemporal de imagens de sensores remotos, integrados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foram estimados valores máximos das velocidades do fluxo e vazões do Lago Mutuco e Igarapé Tabaco: 1,173 m/s, 1,685 e 1,684 m/s (período chuvoso) e 0,692 m/s, 0,626 m/s e 0,722 m/s (período seco); as máximas vazões em: 289 m³/s, 297 m³/s e 379 m³/s (período chuvoso) e 41 m³/s, 79 m³/s e 105 m³/s (período seco), respectivamente. A partir da interpretação das imagens de satélites, foram elaborados mapas de análise multitemporal da evolução dos Lagos e Igarapé Tabaco de 1972 a 2008, e foram classificados de acordo com o grau de balanço de área (km² e m²) em: áreas estáveis, áreas eutrofizadas, áreas de ganho, áreas erodidas. Os resultados mostram que os três lagos estudados e o Igarapé Tabaco, possuem dinâmicas diferentes. De 1972 até 1999, os Lagos sofreram poucas variações de áreas eutrofizadas, áreas de ganho e áreas estáveis. Nos períodos de 1999 até 2008, a dinâmica mudou completamente e os Lagos tendem a reduzir consideravelmente sua área útil, e os Lagos dos Ventos e Comprido de Baixo, são os Lagos mais afetados pela presença e ocupação das margens pelas macrófitas aquáticas: entre 1972 a 1999, o Lago dos Ventos teve uma redução de área de 530401,1m², de 1999 para 2008, teve redução de mais 2038595,3m², equivalente a mais de 50% de área reduzida em 36 anos. O Lago Comprido de Baixo, teve uma dinâmica diferente de balanço de área de 1972 a 1999, sua área teve aumento significativo nesse período, de 2634011,8m² em 1972, para 1999 obteve um ganho de 365512,9m² aumentando para 2999524,7m². De 1999 para 2008, sua área total foi reduzida em 1225492,0m², o equivalente a aproximadamente 60% de área ocupada pelas macrófitas aquáticas. Esses estudos buscaram entender os processos

morfodinâmicos e hidrodinâmicos ocorrentes na região dos Lagos e Igarapé Tabaco, com vista a contribuir na elucidação dos processos que ocasionam e/ou favorecem as modificações geoambientais na região. Todas essas informações são fundamentais para as tomadas de decisões de gestão da área, definição posterior de parâmetros para monitoramento ambiental e contribuição para a elaboração do plano de manejo da Reserva Biológica do Lago Piratuba. O desenvolvimento das atividades está inserido no âmbito do Projeto AMASIS, e teve apoio dos projetos PETRORISCO-FASE-2 e HIDROSEMA (REDE 05-PETROMAR/2007/CTPETRO/FINEP/PETROBRAS/CNPq) de características multidisciplinares e interinstitucional, em temas envolvendo o monitoramento ambiental.

ABSTRACT

The Amapá State has an important natural lake system, known as “The Amapá Lakes Region”. Most of these lakes are on the southern part of Amapá’s coastal plain, which has 300 km of extension and it’s composed by holocenic sediments deposited at the northern part of Amazon River to the Orange Cape located on the northern part of Amapá state. This region is under influence of the Amazon River discharge which is the largest liquid discharge of about 209.000 m³/s and biggest sediment budget discharged on the ocean in the order 6.10^8 ton per day. The climate is influenced by the Intertropical Convergence Zone and El Niño Southern Oscillation which act mainly under precipitation, nebulosity, local rivers and tidal hidrology. In this region lake belts are Ocidental, Oriental and Meridional Lake Belts. The last one is formed by the by the lakes Comprido de Cima, Botos, Bacia, Lodão, Ventos, Mutuco and Comprido de Baixo. These lakes are the closest to the Araguari River and are characterized by pelitic sedimentation associated with fluvial and estuarine flood plains under influence of tides. The lakes are interconnected, suffer influence of flood pulses from the Tartarugal, Tartarugalzinho and Araguari rivers and the hydrodynamic and morphodynamic know edge is poor. Volume and area reduction, natural eutrophication, anthophic influence, hidrodynamic alterations, morphological changes and are factors which can contribute to the closing of such lakes on the Meridional Lake Belt. This belt is inside the boundaries of the Biological Reserve of Piratuba Lake, created in 1980 for integral protection. Due to the fragility of the environment together with the poor knowledge of the system and with the study area relevancy it is necessary to know the hydrodynamic and geoenvironmental processes. This work aims the characterization of morphodynamic and hydrodynamic processes in order to understand the geoambiental context of the Meridional Lake Belt, from the Comprido de Baixo Lake to the dos Ventos Lake, including the Tabaco Igarape. Methodology was based on the hydrodynamic data acquisition: liquid discharge (acoustic method), tides, bathymetry and the interpretation of multitemporal remote sensing images, integrated in a Geographic Information System (GIS). By this method charts of the medium liquid discharges of Lake Mutuco and Tabacco Igarape the maximum velocity of flow were estimated in: 1.1 m/s, 1.6 m/s and 1.6 m/s (rainy season) and 0.6 m/s, 0.6 m/s and 0.7 m/s (dry period), the maximum flow in: 289 m³/s, 297 m³/s and 379 m³/s (rainy season) and 41 m³/s , 79 m³/s and 105 m³/s (dry period), respectively. From the interpretation of multitemporal satellite images, maps were developed together with the analysis of the lakes and Tobaco Igarape evolution from 1972 to 2008, and were classified according to the degree of balance in the area: stable areas, eutrophic areas, areas of gain, and eroded areas. Troughout analysis of the balance of areas, it was possible to quantify the volume of lake areas occupied by aquatic macrophytes. The study sought to understand the hydrodynamic and morphodynamic processes occurring in the region, contributing to the elucidation of the processes which cause and/or favor geoenvironmental changes in the region; all such information is fundamental to making the management of the area and further definition of parameters for environmental monitoring and contributing to the development of the management plan of the Biological Reserve of Lake Piratuba. The work activities is a part of the Project "Integration of Geological, geophysical and geochemical data to Paleogeographic rebuilding of Amazon Coast, from the Neogene to the Recent.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Localização da Área de Estudo..... 4
Figura 1.2 Mapa geológico do Amapá..... 8
Figura 1.3 Depósitos geológicos da área de entorno da Rebio do Lago Piratuba..... 9
Figura 1.4 Unidades Morfoestruturais do Estado do Amapá (modificado de SILVEIRA, 1998), sobrepondo sombreamento dos dados do SRTM..... 11
Figura 1.5 Unidades geomorfológicas da área de entorno da Rebio do Lago Piratuba.. 12
Figura 1.6 Panorâmica dos solos hidromórficos da área de estudo..... 14
Figura 1.7 Tipos de vegetação que predominam nos lagos e áreas adjacentes, margens dos canais de ligação e igarapés..... 16
Figura 1.8 Floresta de várzea, as margens do rio Araguari..... 17
Figura 1.9 Espécies de macrófitas aquáticas do lago Mutuco..... 18
Figura 1.10 Classificação das zonas climáticas conforme Köppen-Geiger 19
Figura 1.11 Variação da temperatura do ar durante os meses de maio e outubro de 2008..... 20
Figura 1.12 Variação da umidade relativa do ar durante os meses de maio e outubro de 2008..... 20
Figura 1.13 Chuvas acumuladas para a estação de Aporema, no município de Amapá para o ano de 2008..... 21
Figura 1.14 Direção média dos ventos alísios incidentes na costa do Amapá durante o ano..... 22
Figura 1.15 Variação da maré na estação do Tabaco. Dados medidos nos períodos de 14 a 18 de junho e novembro respectivamente..... 24
Figura 2.1 Fluxograma das atividades desenvolvidas na confecção da dissertação..... 25
Figura 2.2 Locais das estações de medição de vazão e maré..... 27
Figura 2.3 Vista dos 4 transdutores acústicos do ADCP utilizados tanto para emitir quanto para receber os pulsos sonoros..... 28
Figura 2.4 Sistema de coleta do ADCP. **a)** Equipamento instalado na lateral da embarcação. **b)** Tela do computador para a coleta em tempo real..... 29
Figura 2.5 Trajetória da embarcação da seção transversal do canal (margens) pelo ADCP..... 30
Figura 2.6 Áreas medidas pelo ADCP de uma seção transversal do rio..... 31
Figura 2.7 Configuração *Wizard* do programa *WinRiver* para aquisição dos dados de vazão, com a tela de configuração dos comandos..... 32
Figura 2.8 Definição da configuração dos comandos *Wizard* do programa *WinRiver*... 32
Figura 2.9 Exemplo de organização e modo de exportação dos dados de descarga líquida..... 35
Figura 2.10 Sobreposição de imagens de sensores de datas diferentes para a geração dos polígonos da área de estudo..... 37
Figura 2.11 Exemplo do ruído presente nas bandas espectrais do satélite CBERS 2 CCD1XS..... 39
Figura 3.1 Vista panorâmica dos lagos. **a)** Lago Mutuco; **b)** próxima a entrada do Lago Comprido de Baixo..... 41
Figura 3.2 Distribuição geográfica dos principais sistemas de lagos brasileiros

(Modificado de ESTEVE, 1988)..... 43
Figura 3.3 Distribuição geográfica dos lagos do Amapá. **a)** Tipo de habitação feita pelos pescadores no Lago Piratuba para pernoitadas dentro dos lagos..... 44
Figura 3.4 Classificação dos lagos no domínio sul da Planície Costeira do Amapá..... 46
Figura 3.5 Drenagens em estágio de colmatação na evolução da planície costeira do Amapá. **a)** Trecho do rio Tartarugal Grande; **b)** Trechos dos rios Tartarugal Grande e Rio Macarri, em estágio colmatado..... 48
Figura 3.6 Drenagens em estágio de colmatação da região do Macarri. **a)** Bordejado por vegetação do tipo gramínea; **b)** vegetação de porte mais alto..... 48
Figura 3.7 Principais provedores fluviais dos lagos do cinturão ocidental e meridional..... 49
Figura 3.8 Feições topográficas lineares contínuas mapeadas na área dos lagos..... 51
Figura 3.9 Classificação dos tipos de sedimentos do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco. Classificação conforme Shepard para tipos de silte..... 52
Figura 3.10 Representação esquemática da estratificação térmica da coluna d'água de um lago..... 53
Figura 3.11 Espacialização temporal dos parâmetros físicos da qualidade da água do Lago Mutuco..... 54
Figura 3.12 Análise multiespectral do Lago Mutuco com base em imagens de satélites LANDSAT e CBERS..... 56
Figura 4.1 Média das vazões do Lago Mutuco em relação ao período sazonal..... 59
Figura 4.2 Média das vazões do Igarapé Tabaco, próximo a entrada do Lago C. Baixo, em relação ao período sazonal..... 59
Figura 4.3 Média das vazões do Igarapé Tabaco, próximo da foz, em relação ao período sazonal..... 59
Figura 4.4 Média da vazão do Lago Mutuco e curva de maré no período seco em função da hora do dia (24/10/2008)..... 60
Figura 4.5 Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, e curva a maré no período chuvoso em função da hora do dia (21/05/2008)... 61
Figura 4.6 Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da foz, e curva a maré no período chuvoso em função da hora do dia (21/05/2008)..... 61
Figura 4.7 Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, e curva a maré no período seco em função da hora do dia (25/10/2008)..... 61
Figura 4.8 Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da foz, e curva de maré no período seco em função da hora do dia (25/10/2008)..... 61
Figura 4.9 Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, e curva a maré no período seco em função da hora do dia (16/11/2005). **Fonte**: dados cedidos por Takiyama *et al*., (2005)..... 61
Figura 4.10 Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da foz, e curva de maré no período seco em função da hora do dia (15/11/2005). **Fonte**: dados cedidos por Luis Roberto Takiyama et al., (2005)..... 61
Figura 4.11 Média da velocidade do fluxo para os períodos sazonais do Lago Mutuco 62
Figura 4.12 Média da velocidade do fluxo para os períodos sazonais do Igarapé Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo..... 63
Figura 4.13 Média da velocidade do fluxo para os períodos sazonais do Igarapé

Tabaco, próximo da foz..... 63
Figura 4.14 Direção e intensidade da corrente do Lago Mutuco no período chuvoso..... 63
Figura 4.15 Direção e intensidade da corrente do Lago Mutuco no período seco..... 63
Figura 4.16 Direção e intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, no período chuvoso..... 63
Figura 4.17 Direção e intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, no período seco..... 63
Figura 4.18 Direção e intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, próximo da foz, no período chuvoso..... 64
Figura 4.19 Direção e intensidade da corrente Igarapé Tabaco, próximo da foz, no período seco..... 64
Figura 4.20 Perfis acústico de intensidade do fluxo da seção transversal do Lago Mutuco nos períodos: chuvoso e seco..... 65
Figura 4.21 Perfis de intensidade do fluxo da seção transversal do Igarapé Tabaco (a montante) nos períodos: chuvoso e seco..... 66
Figura 4.22 Perfis de descarga líquida da seção transversal do Igarapé Tabaco (foz) nos períodos..... 66
Figura 4.23 Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Lago Mutuco no período chuvoso em função da hora do dia (17/05/2008)..... 67
Figura 4.24 Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Igarapé Tabaco, próximo a entrada do Lago C. Baixo, no período chuvoso em função da hora do dia (21/05/2008)..... 68
Figura 4.25 Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Igarapé Tabaco, próximo a foz, no período chuvoso em função da hora do dia (21/05/2008)..... 68
Figura 4.26 Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Lago Mutuco no período seco em função da hora do dia (24/10/2008)..... 68
Figura 4.27 Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Igarapé Tabaco, próximo a entrada do Lago C. Baixo, no período seco em função da hora do dia (25/10/2008)..... 68
Figura 4.28 Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Igarapé Tabaco, próximo a foz, no período seco em função da hora do dia (25/10/2008)..... 68
Figura 4.29 Velocidades e direções preferências do vento do dia 17/05/2008..... 70
Figura 4.30 Velocidades e direções preferências do vento do dia 21/05/2008..... 70
Figura 4.31 Velocidades e direções preferências do vento do dia 24/10/2008..... 70
Figura 4.32 Velocidades e direções preferências do vento do dia 25/10/2008..... 71
Figura 4.33 Direção preferencial (indicado pela seta vermelho) e velocidade do vento no mês de maio..... 71
Figura 4.34 Modelo de propagação de maré conforme Masselink *et al*. (2003)..... 72
Figura 4.35 Velocidade do fluxo no igarapé Tabaco: próxima da entrada do Lago Comprido de Baixo e da foz, relacionado ao nível da maré para o período cheio..... 73
Figura 4.36 Velocidade do fluxo no igarapé Tabaco: próxima da entrada do Lago Comprido de Baixo e da foz, correlacionado ao nível da maré para o período seco..... 73
Figura 4.37 Estimativa da preamar e baixar à montante e na à foz do igarapé Tabaco.... 74

Figura 4.38 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 17-05-08..... 75
Figura 4.39 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 18-05-08..... 75
Figura 4.40 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 19-05-08..... 75
Figura 4.41 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 20-05-08..... 75
Figura 4.42 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 21-05-08. 75
Figura 4.43 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 22-05-08..... 75
Figura 4.44 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 23-05-08..... 76
Figura 4.45 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 24-05-08. 76
Figura 4.46 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 24-10-08..... 76
Figura 4.47 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 25-10-08..... 76
Figura 4.48 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 26-10-08..... 76
Figura 4.49 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 27-10-08..... 76
Figura 4.50 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 28-10-08..... 77
Figura 4.51 Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 29-10-08..... 77
Figura 5.1 Proliferação das macrófitas aquáticas no Lago dos Ventos, Mutuco e Comprido de Baixo..... 79
Figura 5.2 Evolução de área estável do Lagos dos Ventos entre 1972 a 2008..... 81
Figura 5.3 Percentual do Balanço de áreas: estável, eutrofizada e ganho do Lago dos Ventos..... 81
Figura 5.4 Evolução de área estável do Lago Mutuco entre 1972 a 2008..... 81
Figura 5.5 Percentual do Balanço de áreas: estável, eutrofizada e ganho do Lago Mutuco..... 81
Figura 5.6 Evolução de área estável do Lago Comprido de Baixo entre 1972 a 2008..... 82
Figura 5.7 Percentual do Balanço de áreas: estável, eutrofizada e ganho do Lago Comprido de Baixo..... 82
Figura 5.8 Evolução de área estável do Igarapé Tabaco entre 1972 a 2008..... 83
Figura 5.9 Percentual do Balanço de áreas: estável, eutrofizada e ganho do Igarapé Tabaco..... 83
Figura 5.10 Análise multitemporal do balanço de áreas entre 1972 a 1984..... 86
Figura 5.11 Análise multitemporal do balanço de áreas entre 1998 a 1999..... 88
Figura 5.12 Análise multitemporal do balanço de áreas entre 2000 a 2008..... 90
Figura 5.13 Mapa com trecho para reduzir tempo de viagem entre até o Rio Araguari proposto pelo Prefeito do município de Tartarugalzinho..... 91
Figura 5.14 Perfil topográfico da margem esquerda do Igarapé Tabaco com evidências de desníveis topográficos..... 93
Figura 5.15 Feições morfológicas do Lago Comprido de Baixo, durante o período seco..... 94
Figura 5.16 Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1972 a 1984..... 95
Figura 5.17 Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1984 a 1992..... 96
Figura 5.18 Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1992 a 1998..... 98

Figura 5.19 Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1998 a 1999..... 99
Figura 5.20 Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1999 a 2000..... 100
Figura 5.21 Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 2000 a 2003..... 101
Figura 5.22 Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 2003 a 2005..... 102
Figura 5.23 Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 2005 a 2008..... 103
Figura 5.24 Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1972 a 2008..... 104
Figura 5.25 Carta batimétrica do Lago Comprido de Baixo de 2005, mostrando as zonas do canal principal..... 106
Figura 5.26 Carta batimétrica do Lago Comprido de Baixo de 2008, mostrando as zonas do canal principal de navegação..... 107
Figura 5.27 Imagens de satélite Cbers 2 de 2005, com aplicação dos Métodos de índices (*NDWI e NDVI*)..... 109
Figura 5.28 Estimativa da ocupação das macrófitas aquáticas na região dos Lagos dos Ventos, Mutuco e Comprido de Baixo..... 111

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Tabela demonstrativa das imagens de satélites utilizadas na execução do trabalho..... 26
Tabela 2.2 Períodos e locais das medições de vazão..... 27
Tabela 2.3 Períodos e locais das leituras das réguas de maré..... 27
Tabela 2.4 Tratamento aplicadas nas imagens..... 38
Tabela 4.1 Comportamento de áreas em relação ao período sazonal (Maio e Outubro)..... 58
Tabela 5.1 Evolução de áreas (m²) dos Lagos e Igarapé Tabaco entre 1972 a 2008..... 84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP – Acustic Doppler Current Profile

ANA – Agência Nacional de Águas

CBERS – China-Brazil Earth-Resources Satellite

CPAQ – Centro de Pesquisas Aquáticas do Amapá/IEPA

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

ECOLAB – Ecossistemas Costeiros Amazônicos

GEOPRO – Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia da UFRN

GGEMMA – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental do Departamento de Geologia da UFRN

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Não-Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEPA – Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite

MDT – Modelo Digital de Terreno

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NDVI – Índice de Vegetação de Diferença Normalizada

NDWI – Índice de Diferença Normalizada da Água

PC – Principal Componente

PDI – Processamento Digital de Imagem

PGT – Petroleum Geoscience Technology

RGB – Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue)

RGBI – Vermelho (Red), Verde (Green), Azul (Blue) e Intensidade (Intensyt)

RN – Referencial de Nível

SIG – Sistema de Informação Geoigráfica

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

UTM – Unversal Transvesal Mercator

ZCTI – Zona de Convergência Intertropical

ZEE – Zoneamento Ecológico-Ecocômico do Amapá

SUMÁRIO

AGRADECIMETNOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPÍTULO I

1 – INTRODUÇÃO..... 1

1.1 – APRESENTAÇÃO..... 1

1.2 – OBJETIVOS..... 3

1.3 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E VIA DE ACESSO..... 3

1.4 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... 3

1.4.1 - Contextualização da Planície Costeira do Amapá..... 5

1.4.2 - Contexto Geológico-Geomorfológico..... 6

1.4.3 – Solos..... 13

1.4.4 – Vegetação..... 14

1.4.5 – Clima..... 18

1.4.6 - Marés e Correntes..... 23

CAPÍTULO II

2 - MATERIAIS E MÉTODOS..... 25

2.1 – ESTRATÉGIA METODOLÓGICA..... 25

2.2 – LEVANTAMENTO E AQUISIÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES..... 26

2.3 – TRABALHO DE CAMPO..... 27

2.3.1 – Medição de Descarga Líquida e Corrente..... 28

2.3.2 – Modelo de Configuração do Software para Aquisição dos Dados..... 31

2.3.3 – Fundamentação do Método Acústico..... 33

2.3.4 - Coleta dos Dados de Maré..... 33
2.4 – PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO..... 34
2.4.1 – Processamento e Tratamento dos Dados de Descarga Líquida..... 34
2.4.2 – Processamento dos Dados de Maré..... 35
2.4.3 – Processamento Digital das Imagens..... 36
2.5 – ANÁLISE E INTEGRAÇÃO DOS DADOS..... 39

CAPÍTULO III

3 – CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS LAGOS..... **41**
3.1 – CONSIDERAÇÕE INICIAIS..... 41
3.2 – SISTEMAS LACUSTRES..... 42
3.2.1 – A Região dos Lagos do Amapá..... 43
3.2.2 – Formação e Origem dos Lagos do Amapá..... 45
3.2.3 – Classificação dos Cinturões Lacustres..... 47
3.2.4 – Características Geambientais dos Lagos e Igarapé Tabaco..... 51

CAPÍTULO IV

4 – ANÁLISE DOS DADOS HIDRODINÂMICOS DOS LAGOS E IGARAPÉ TABACO..... **57**
4.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... 57
4.1.1 – Análise da Descarga Líquida..... 58
4.1.2 – Vazão em Relação a Variação da Maré..... 60
4.1.3 – Intensidade do Fluxo: velocidade, vazão, direção da corrente e formas da seção..... 62
4.1.4 – Maré Dinâmica do Igarapé Tabaco..... 71

CAPÍTULO V

5 - ANÁLISE MULTITEMPORAL E MORFODINÂMICA DOS LAGOS E IGARAPÉ TABACO..... **79**
5.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... 79
5.2 – BALANÇO DE ÁREAS NO PERÍODO DE 1972 A 2008..... 80

5.3 – ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EVOLUÇÃO DOS LAGOS E IGARAPÉ TABACO..... 84

5.3.1 – Abertura do Lago Comprido de Baixo e Conexão com o Igarapé Tabaco..... 92

5.4 – ANÁLISE DOS DADOS BATIMÉTRICOS DO LAGO COMPRIDO DE BAIXO..... 106

5.5 - APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ÍNDICES PARA ESTIMATIVA DE ÁREAS OCUPADAS POR MACRÓFITAS AQUÁTICAS..... 109

CAPÍTULO VI

6 – CONSIDERAÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES..... 112

6.1 – CONCLUSÕES..... 112

6.2 – RECOMENDAÇÕES..... 115

REFERÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A gênese dos sistemas lacustres está relacionada aos fenômenos naturais de natureza geológica e/ou antrópica, como as represas e barragens (Moraes *et al*., 2005). No Brasil os sistemas lacustres formados pelas atividades dos rios são os de maior representatividade, devido às amplas bacias fluviais, como a do Rio Amazonas (Esteves, 1988).

Os lagos não são elementos permanentes das paisagens da terra, pois são fenômenos de curta durabilidade na escala geológica, e portanto surgem e desaparecem no decorrer do tempo (Esteves, 1988). Os sistemas lacustres naturais do Amapá, assim como das demais regiões do Brasil, são poucos conhecidos e correm o risco de ter seu funcionamento natural alterado, em alguns casos, muito antes de serem estudados. Fatores como a redução do volume de água e ocupação por vegetação aquática, provocados pela ação climática, antropização, alterações hidrodinâmicas (vazão) e o assoreamento, são fatores que podem contribuir significativamente para o desaparecimento dos lagos.

O Estado do Amapá abrange um importante sistema lacustre, conhecido como "*A Região dos Lagos do Amapá*", classificados em três cinturões lacustres: Cinturão Lacustre Oriental, Cinturão Lacustre Ocidental e Cinturão Lacustre Meridional; ambos situados nos domínios sul da planície costeira. A maior parte desses lagos está dentro dos limites da Reserva Biológica do Lago Piratuba, criada em 1980, cuja finalidade é de Conservação Integral. Trata-se de lagos conectados entre si e atualmente possuem conexão indireta com o rio Araguari através do igarapé Tabaco.

A ligação indireta com o rio Araguari, foi alvo de modificações induzida para que pudesse haver uma ligação mais fácil com a sede do Município de Tartarugalzinho e conseqüentemente, com as comunidades do Lago Novo, o que facilitaria o transporte de pessoas e o escoamento da produção de pecuária ainda existente naquela região, mesmo com a Unidade de Conservação já criada. O efeito dessa ação provocou alterações irrecuperáveis, observadas pelas próprias comunidades locais, tais como a redução significativa do nível da

água dos lagos passou diminuir significativamente, principalmente, nos períodos de verão, colocando em risco a atividade pesqueira da qual a população é dependente.

O alcance das marés no Cinturão Lacustre Meridional não havia sido medido até o presente momento. A indicação empírica de seu alcance baseava-se no depoimento de moradores que afirmam que a maré alcança o Lago Comprido (de Cima). No entanto, é nítida a presença da maré no Lago Comprido de Baixo, mesmo durante os meses de verão, quando a vazão diminui significativamente, e permite o reconhecimento aéreo de feição semelhante a delta (Silveira & Santos, 2006), cuja definição geológica é alvo de pesquisa também do Projeto Cooperativo AMASIS, juntamente com o apoio dos Projetos PETRORISCO Fase 2 e HIDROSEMA (REDE 05-PETROMAR/2007/CTPETRO/FINEP/PETROBRAS/CNPq), para esta dissertação de mestrado.

Através das expedições científicas para subsídios à "*Elaboração do Plano de Manejo da Reserva Biológica do Lago Piratuba*" nos anos de 2005 e 2006, pôde-se observar a fragilidade da região, que sofre com a pressão antrópica direta e indireta, através da criação de gado bubalino, e que nos períodos de seca, sofre ainda com fogo, especialmente sobre as turfas ali encontradas Silveira & Santos (2006). Nos períodos chuvosos, as margens do Igarapé Tabaco ficam fragilizadas e vulneráveis a erosão. Parte do material erodido das margens deste igarapé, é posto à disposição das correntes e ventos que carregam por longos trajetos, muitas vezes, até os domínios fluviais do rio Araguari, conforme Silveira & Santos (2006) identificaram nos levantamentos geológicos-geomorfológicos para essa região.

Por essas indicações e considerando a fragilidade do ambiente perante as interferências o qual está sujeito e a importância da área de estudo, por se tratar de uma Unidade de Conservação e de Proteção Integral, se faz necessário o conhecimento dos processos hidrodinâmicos, dos aspectos morfodinâmicos e geoambientais da área, informações estas imprescindíveis para definição posterior de parâmetros para monitoramento ambiental da área. Esta é tema central desta Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

1.2 OBJETIVO GERAL

Caracterizar os processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos, visando entender o funcionamento geoambiental do Cinturão Lacustre Meridional do Estado do Amapá, desde o Lago Comprido de Baixo até o Lago dos Ventos, incluindo o igarapé do Tabaco.

1.2.1 Objetivos Específicos:

- Avaliar e integrar imagens multiespectrais e multitemporais de sensoriamento remoto óptico, incluindo informações de modelos digitais de elevação, com vistas à caracterização das modificações geoambientais e hidrodinâmicas;
- Avaliar os processos hidrodinâmicos através da coleta e tratamento dos dados de vazão e maré do igarapé do Tabaco e dos lagos Comprido de Baixo até o Lago dos Ventos;
- Avaliar as alterações morfodinâmicas através da aquisição e tratamento dos dados batimétricos;
- Integrar os dados e informações obtidas em banco de dados georreferenciados e em sistemas computacionais para análise da evolução dinâmica da área de estudo e para tomada de decisão.

1.3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIA DE ACESSO

A área de estudo está localizada na parte sul da planície costeira do Amapá, dentro dos limites da Reserva Biológica do Lago Piratuba, aproximadamente entre as coordenadas 144000N - 156000N e 562000E - 584000E (Figura 1.1). Este setor abrange a região dos lagos e a extensão do igarapé Tabaco.

As cidades mais próximas da área de estudo, são as sedes dos municípios de Cutias do Araguari e Tartarugalzinho, distantes 150 km e 232 km de Macapá, respectivamente. O acesso à área pode ser feito por via terrestre e fluvial, da seguinte forma: partindo-se de Macapá pela Rodovia BR-156 (Macapá-Oiapoque), percorre-se 150 km até atingir o município de Cutias do Araguari, à margem direita do rio Araguari, sendo que neste

percurso, apenas os 50 km iniciais estão pavimentados, o restante é realizado por um ramal até Cutias. Daí parte-se de barco regional, viajando-se aproximadamente oito horas até a sede da administração da Rebio do Lago Piratuba (Tabaco) ou de voadeira (barco rápido, de alumínio com motor de 40 HP), pelo prazo estimado de três horas. Vale ressaltar que o tempo estimado depende do estado dos veículos e das condições climáticas e de navegabilidade.

A navegação é mais facilitada no período de estação chuvosa, devido o elevado nível dos rios e igarapés. No período menos chuvoso, a navegação se torna difícil devido à região estar bastante seca, e nesse período a navegação é feita por barqueiros que conhece de fato a região, pois há possibilidade de ficar "encalhado" num banco arenoso no meio do rio. Também se pode chegar a região dos lagos seguindo diretamente de embarcação, saindo da cidade de Macapá, navegando pela costa, até alcançar a passagem pelo rio Gurijuba, e a partir daí se chega ao rio Araguari. Navegando pelo rio Araguari, se chega à Sede da Reserva Biológica sob jurisdição do atual Instituto Chico Mendes (antigo IBAMA), na comunidade de Tabaco. Pelo igarapé do Tabaco, se chega aos lagos navegando no sentido NW. A viagem diretamente de embarcação, dependendo das condições de navegabilidade e do período sazonal, pode durar entre 8 a 24 horas. Por rodovia seguido de embarcação o percurso se torna rápido, levando entorno de 5 a 8 horas.

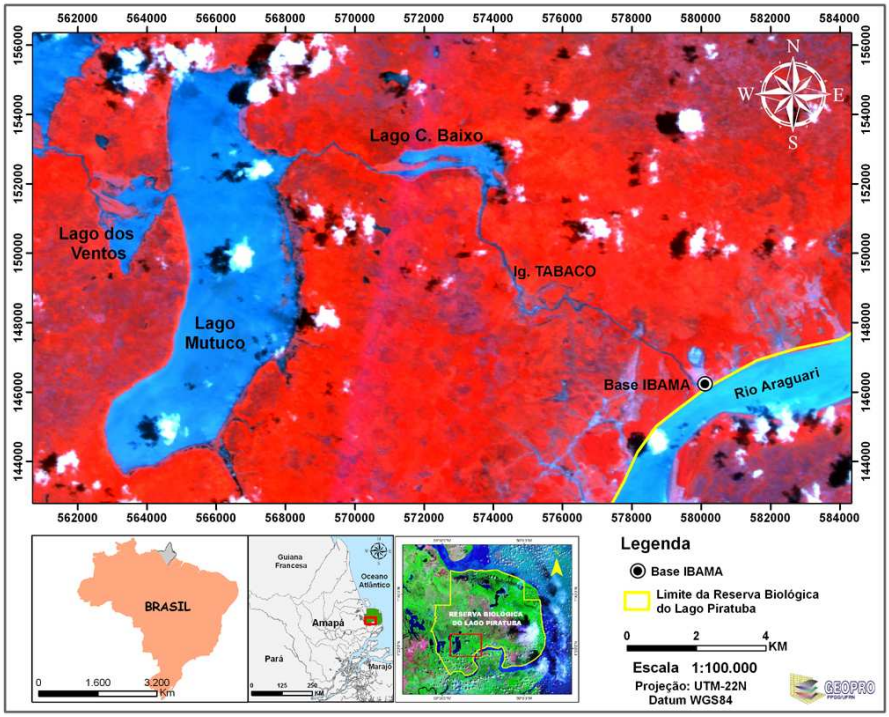


Figura 1.1 – Localização da Área de Estudo.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

1.4.1 Contextualização da Planície Costeira do Amapá

O litoral norte, que se estende do Estado do Amapá até a região nordeste do Estado do Pará, corresponde a um setor extremamente dinâmico, onde as modificações morfológicas e sedimentológicas são regra e ocorrem em escalas espaciais e temporais, as quais variam segundos e centímetros há milhares de quilômetros (Mendes, 2005). O efeito energético da interação dos processos oceanográficos, atmosféricos e continentais aumenta a complexidade da hidrodinâmica da região, bem como, podem responder pelo estabelecimento de sistemas deposicionais com características morfológicas peculiares (Mendes, 2005).

A Planície Costeira do Amapá, assim definida por Lima *et al*. (1991), corresponde a uma faixa de 300 Km de sedimentos holocênicos depositados desde o norte do Rio Amazonas até o Cabo Orange, no extremo norte do Estado do Amapá. Alcança uma largura aproximada de 120 Km próximo ao Cabo Norte, e estreita-se próximo a região do Cunani, onde alcança largura aproximada de 10 Km. A partir daí, alarga-se novamente até o Cabo Orange (Silveira, 1998).

A Planície Costeira do Amapá é uma região altamente influenciada pelas descargas do rio Amazonas, este considerado o maior em descarga líquida, com 209.000 m^3/s e 6.10^8 $ton.dia^{-1}$ de aporte de sedimentos ao Oceano (Filizola, 1999).

Estas características estão diretamente relacionadas com as condições hidrológicas e climáticas da região, que também favorecem e potencializam a dinâmica desse ambiente com índices de precipitações elevados, superiores a 3.000 mm por ano. De acordo com Santos *et al*. (2005), 70% das chuvas concentram-se nos meses de dezembro a maio, e o período mais seco ocorre de setembro a novembro, com um pouco de déficit hídrico (Costa & Silveira, 1998).

A forte influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Oscilação Sul *El Niño* (OSEN ou ENSO) atuam principalmente sobre precipitação, nebulosidade, hidrologia dos rios locais e maré (Santos, 2006). Nesta região a ZCIT também controla a direção dos

ventos alísios que atuam na costa. Os eventos de *El Niño* e *La Niña* também vão interferir na variação das condições climáticas da costa amapaense, proporcionando períodos acentuadamente menos chuvosos (*El Niño*) e períodos mais chuvosos (*La Niña*); estes efeitos são observados entre os meses de dezembro a fevereiro (Dias, 2007).

Neste cenário, há o funcionamento e uma variedade de ecossistemas fortemente regidos pela hidrodinâmica sazonal, com alta relevância ambiental, ecológica e genética (Costa Neto *et al*., 2007).

Por estas e outras importantes e significativas relevâncias ambientais, como por exemplo, áreas de reprodução primária de peixes e avifauna, áreas de migração de aves, através do Decreto n. 84.914 de 16 de julho de 1980 foi criada a Reserva Biológica do Lago Piratuba, como Unidade de Conservação de Proteção Integral. Esta reserva foi criada dentro dos domínios da Planície Costeira do Amapá, com uma área estimada em 392.000 ha.

É nesta região, sobretudo dentro dos limites desta Reserva Biológica, que se encontram os lagos do Cinturão Lacustre Meridional, tema que será abordado com mais detalhe posteriormente como foco desta pesquisa.

1.4.2 - Contexto Geológico-Geomorfológico

Arcabouço Geológico

O arcabouço geológico do Estado do Amapá primeiramente foi definido por Lima *et al*. (1974); Lima *et al*. (1991) e Allison (1995), definiram três tipos de unidades geológicas para o Estado do Amapá: Terrenos Antigos, Terrenos Terciários e Terrenos Recentes ou Quaternários (Costa, 1997b) (Figura 1.2).

A unidade basal é o Complexo Guianense, constituído de granulitos, gnaisses, anfibolitos, migmatitos, granitos e granodioritos (Lima *et al*., 1974), que representam o EON Arqueano.

Para o Proterozóico Inferior, Lima *et al*. (1991) descreveram rochas do Complexo Tumucumaque, rochas do Grupo Vila Nova, Suíte Metamórfica Lourenço e Grupo Paramacá, enquanto o Proterozóico Médio caracteriza-se por rochas da Suíte Intrusiva Mapuera: Suíte Falsino, rochas básicas e alcalinas (Costa, 1997b). As rochas que

caracterizam o Paleozóico prolongam-se do Ordoviciano Superior – Siluriano Médio (Grupo Trombetas), Devoniano Inferior-Médio (Grupo Urupadi) e Neo-Devoniano (Formação Curuá).

Na fase permo-triássica, segundo Lima *et al*. (1991), ocorreu um enxame de diques de rochas basálticas toleíticas e durante o Cretáceo ocorreu a deposição da Formação Alter do Chão (Costa, 1997b).

A plataforma costeira do Amapá ocorre uma cobertura sedimentar Cenozóica, constituída pelo Terciário Barreiras e por sedimentos fluviais e marinhos, do Quaternário. As oscilações climáticas e os processos intempéricos foram marcantes no Amapá durante o Paleoceno até o Mioceno, evidenciando depósitos lateríticos e bauxíticos.

No Pleistoceno, as condições climáticas refletiram-se nos processos erosivos deposicionais resultando na compartimentação atual do relevo. Ocorreu nesse período a subsidência nos grabens da Foz do Amazonas e basculamento da Formação Barreiras a oeste do rio Piaçacá (Lima *et al*., 1974).

No Holoceno, aconteceu a evolução do litoral com organização da rede de drenagem atual nos vales e a formação das planícies de inundações dos rios ao longo da planície costeira amapaense, bem como a deposição de sedimentos aluviais de origem flúvio-lacustre na foz do rio Araguari e flúvio-marinho na foz do rio Flexal (Costa, 1997b). Possível subsidência e rejogo de falhas ao sul do Lago Novo (Lima *et al*., 1974).

Segundo Lima *et al.* (1991) a costa do Amapá, durante a fase final do Terciário, recebeu toda a sedimentação continental da Formação Barreiras, composta por sedimentos arenosos, areno-argilosos, argilo-siltosos e conglomeráticos, depositados em sistemas de leques aluviais e planícies flúvio-lacustres. Para estes autores, as variações climáticas que ocorreram durante o Terciário, proporcionaram o retrabalhamento dos sedimentos da Formação Barreiras produzindo depósitos lateríticos (Costa, 1997b).

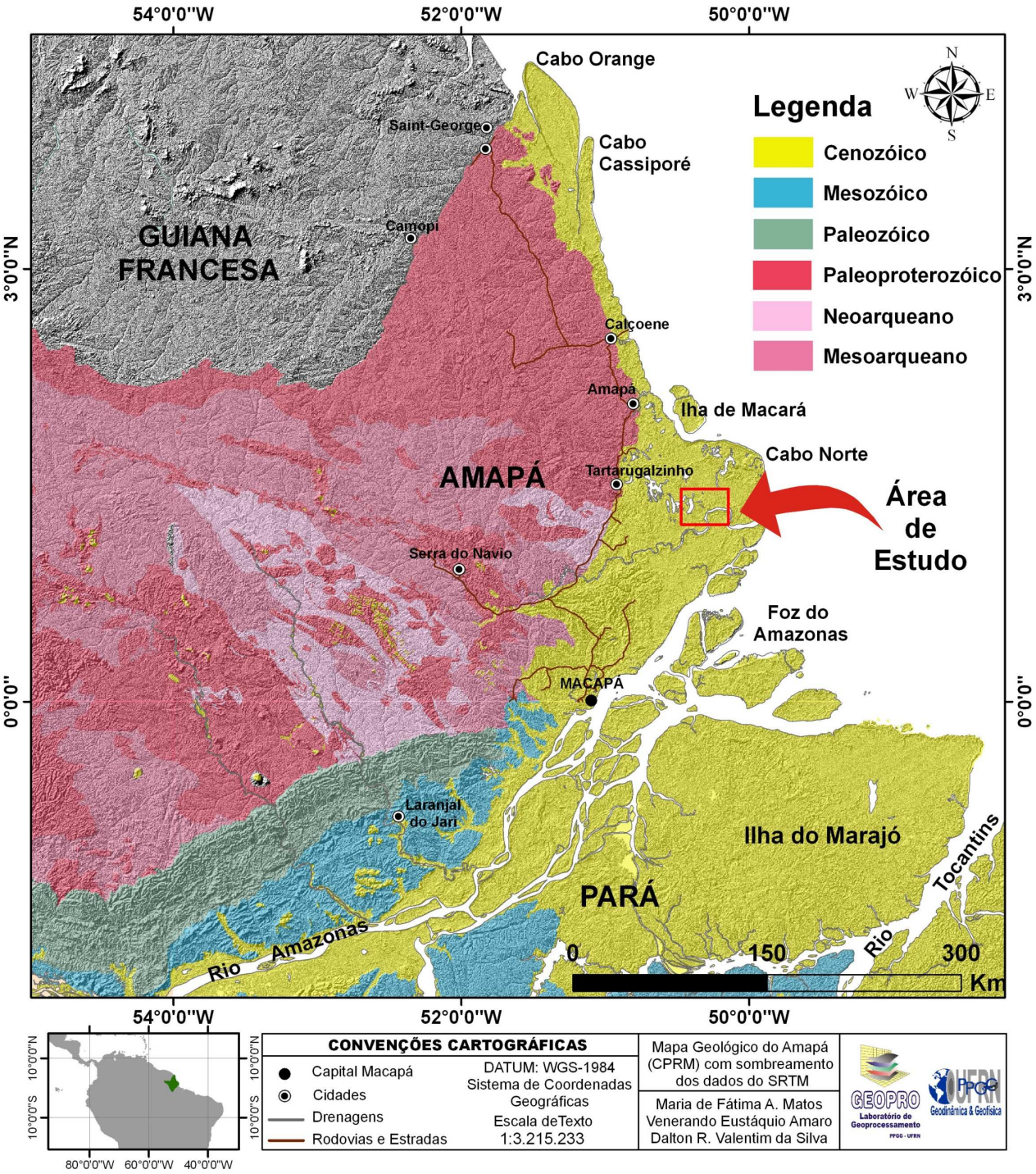


Figura 1.2 – Mapa geológico do Amapá. **Fonte**: CPRM (Disponível em: www.geobank.sa.cprm.gov.br). Sombreamento com dados do SRTM.

Entorno da Rebio Silva *et al*. (2006) definiram as seguintes unidades geológicas (Figura 1.3):

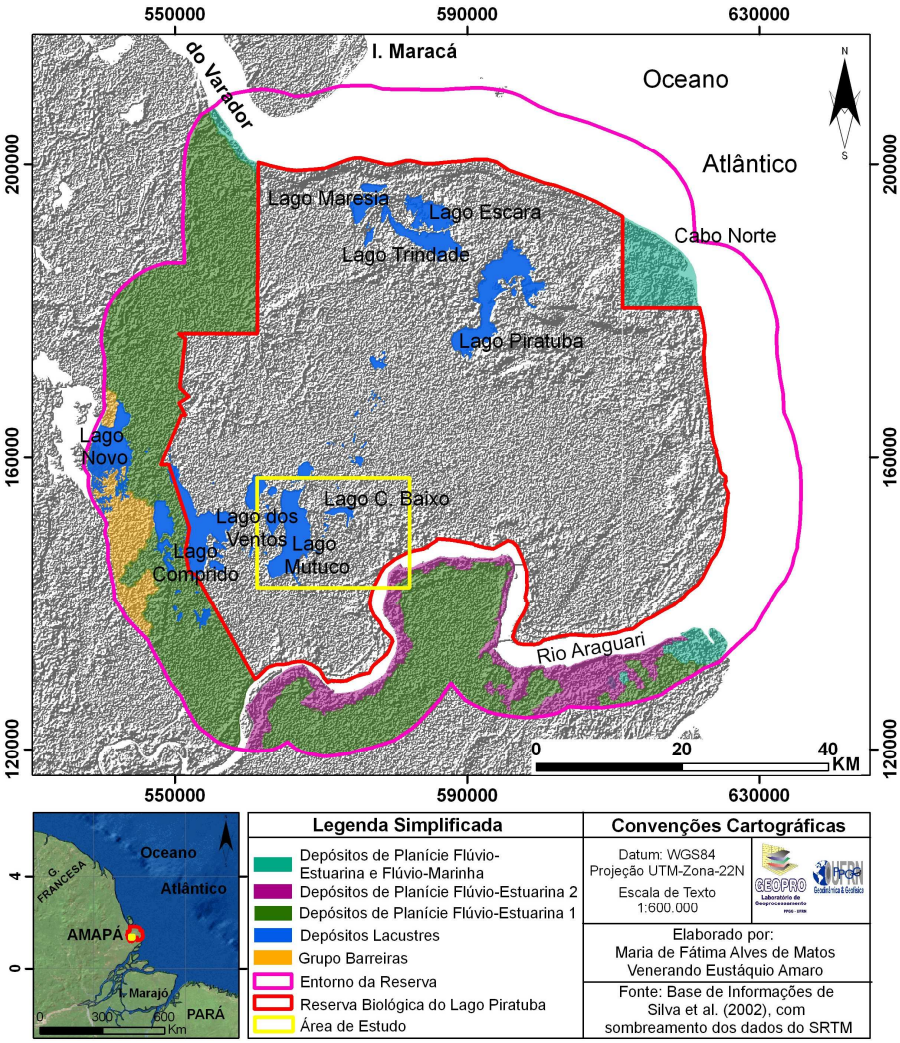


Figura 1.3 – Depósitos geológicos da área de entorno da Rebio do Lago Piratuba conforme Silva *et al*. (2002). **Fonte**: Informações extraídas de Dias (2003), Sombreamento dos dados do SRTM

Grupo Barreiras: Esta unidade ocorre na porção sudoeste da Reserva Biológica do Lago Piratuba, às margens do lago Novo, e, como pequenas ilhas entre o lago Novo e o lago Comprido. Conforme Silveira e Santos (2006) são sedimentos argilo-arenosos, tendo como característica marcante o seu aspecto mosqueado determinado pelo processo de lixiviação do ferro da sua porção superior para a base, onde este passa a ter uma coloração amarelo-avermelhada.

Depósitos de Planície Flúvio-Estuarina 1: Estes são os depósitos mais expressivos dentro da área da Reserva Biológica e em seu entorno. São caracterizados por sedimentos pelíticos (argila e silte), de coloração cinza amarelada, ricos em matéria orgânica, geralmente em sua porção mais interna, não se verificando estruturas aparentes, a

não ser uma intensa bioturbação promovida por raízes, mas em sua porção mais externa, às margens dos canais, verifica-se uma estratificação plano-paralela, típica de ambientes influenciados por maré (Silveira & Santos, 2006). Estão localizados para o interior da planície costeira.

Depósitos de Planície Flúvio-Estuarina 2: Estes depósitos ocorrem às margens do rio Araguari e de outras drenagens sob a influência direta da maré e são caracterizados por sedimentos pelíticos (argila e silte) a síltico - arenosos de coloração cinza amarelada, em áreas de várzeas, com influência diária das marés. Estes depósitos formam os "levees", ou seja, porção mais elevada às margens das principais drenagens ocorrentes na área da Rebio e em seu entorno, função do processo sedimentar atuante (Silveira & Santos, 2006).

Depósitos de Planície Flúvio-Estuarina e Flúvio-Marinha: estes depósitos, situados ao longo da costa, estão associados às áreas sob influência mais direta da salinidade e são caracterizados por sedimentos pelíticos (argila e silte), nas áreas onde predomina a vegetação de mangue, e por sedimentos sílticos-arenosos a arenosos em áreas onde os processos dinâmicos são mais intensos, formando bancos, barras e planícies em áreas de acresção e assoreamento, ou seja, nas margens e meio de canais (Silveira & Santos).

Depósitos Lacustres: depósitos que ocorrem na área da Reserva Biológica e em seu entorno. São caracterizados por sedimentação pelítica típica de lagos e por depósitos ricos em matéria orgânica, que variam de poucos centímetros a metros (Silveira & Santos, 2006).

Geomorfologia

Boaventura & Narita (1974) identificaram cinco compartimentos morfoestruturais para o Estado do Amapá, submetidos ao retrabalhamento por processos erosivos: Planaltos Residuais do Amapá; Planalto Rebaixado da Amazônia; Colinas do Amapá; Depressão Periférica do Norte do Pará e Planície Flúvio Marinha Macapá-Oiapoque. Posteriormente, Lima *et al*. (1991) fez uma nova classificação das unidades morfoestruturais: Planície Costeira do Amapá; Planalto rebaixado da Amazônia; Planalto da Bacia da Amazônia; Planalto Dissecado Jari-Araguari e; Planalto Dissecado do Norte do Amapá (Figura 1.4).

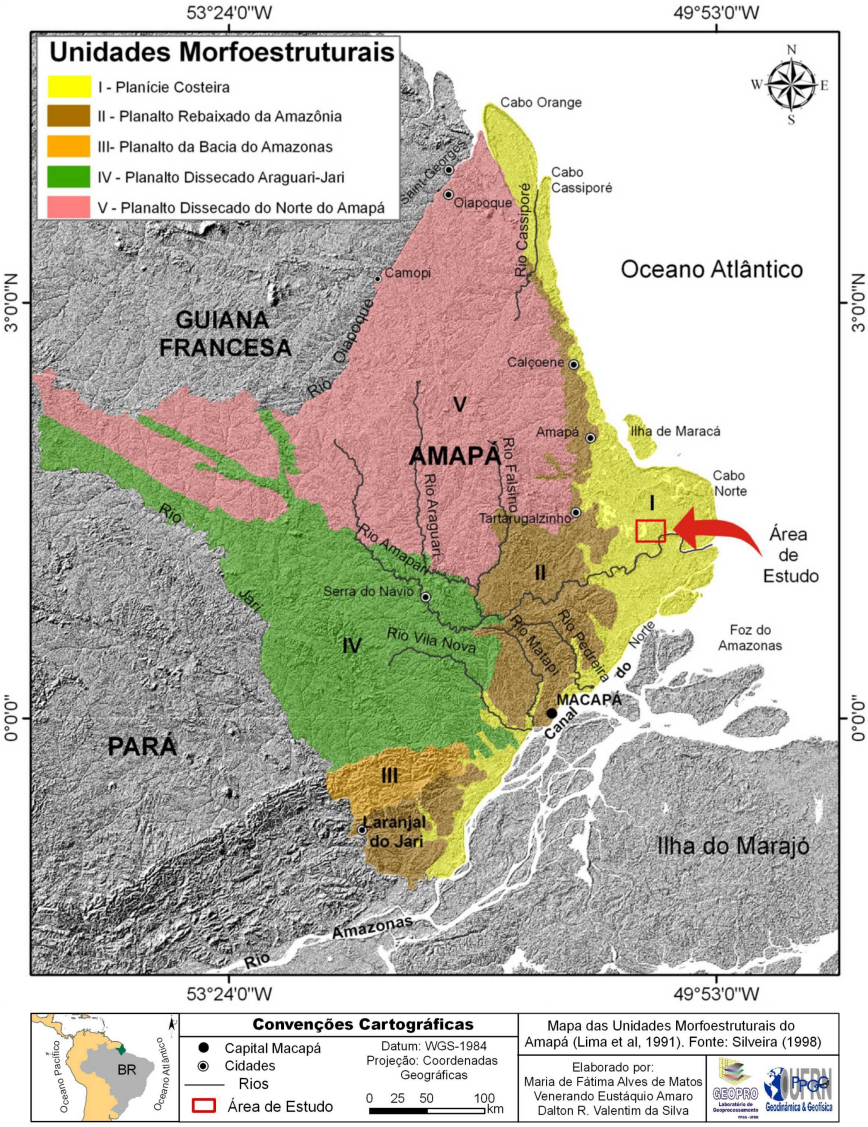


Figura 1.4 - Unidades Morfoestruturais do Estado do Amapá (modificado de Lima *et al*., 2001). Sombreamento dos dados do SRTM.

Conforme Boaventura & Narita (1974) a planície costeira é marcada por dois domínios morfológicos distintos, tendo o Rio Flechal o limite entre o Domínio Norte e o Domínio Sul desta planície. O domínio norte é caracterizado por processos e formas predominantemente marinhas (Boaventura & Narita, 1974; Silveira, 1998). No domínio sul da Planície Costeira são reconhecidas feições resultantes de processos erosivos e deposicionais, tanto atuais quanto mais antigos (Silveira & Santos, 2006).

Silveira *et al*. (2002), identificaram as seguintes unidades geomorfológicas que ao entorno da Rebio do Lago Piratuba (Figura 1.5):

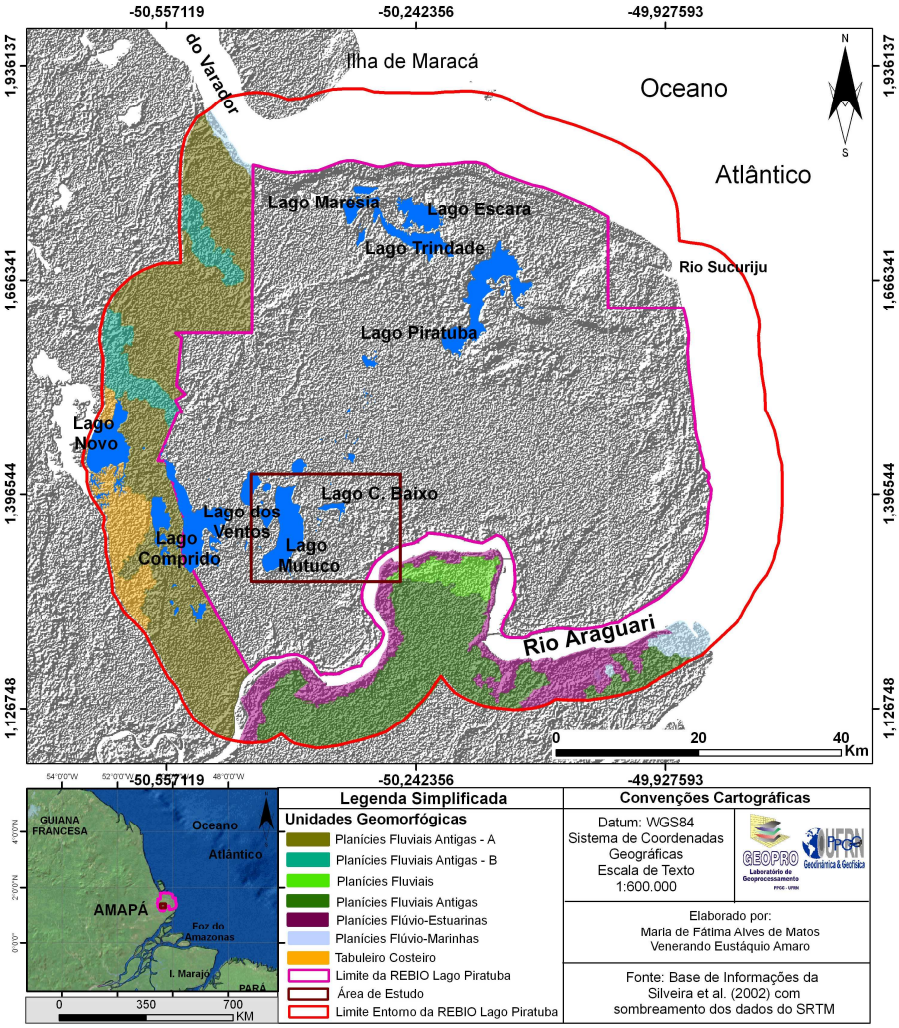


Figura 1.5 – Unidades geomorfológicas da área de entorno da Rebio do Lago Piratuba conforme Silveira *et al*. (2002). **Fonte**: informações extraídas de Dias 2003. Sombreamento dos dados do SRTM

Planícies Flúvio-Marinhas: localizadas na parte nordeste do limite da Reserva Biológica do Lago Piratuba. São formadas por barras arenosas que gradativamente são anexadas ao continente. Sofrem a influência diária das marés. Em sua retaguarda formam-se pequenas extensões de campos salinos (Silveira & Santos, 2006).

Planícies Flúvio-Estuarinas: estendem-se ao longo do baixo curso do rio Araguari, sofrem a influência das marés semi-diurnas e dos processos erosivos relacionados à pororoca (Silveira & Santos, 2006).

Planícies Fluviais: se estendem a margem direita do baixo curso do rio Araguari, como áreas rebaixadas, evidenciando baixos terraços e são propícias à colmatação (Silveira & Santos, 2006).

Planícies Fluviais Antigas (A): área se evolução mais antiga representam as regiões modificadas por processos de mudança de nível de base, causando a desorganização da drenagem. Na porção mais interna da planície essas áreas ocorrentes, estão sujeita a ação das marés de sizígia e evidenciam meandros abandonados, impactados pela ação da atividade da bubalinocultura e das queimadas. **(B)**: regiões que mostram antigas drenagens que tinham significativa expressão areal (Silveira & Santos, 2006).

Tabuleiros Costeiros: Localizam-se às imediações do lago Novo e representam sedimentos de coloração avermelhada em terraços esculpidos no Grupo Barreiras. São áreas dissecadas resultantes do aprofundamento de drenagens em relevos tabulares e de interflúvios tabulares (Silveira & Santos, 2006).

1.4.3 - Solos

Os solos da região, assim como do Estado do Amapá foram classificados primeiramente pelo RADAM (1974) e posteriormente, o Zoneamento Ecológico-Econômico do Amapá – ZEE (2006) detalhou algumas informações na escala de 1:250.000. Os solos apresentam características associadas às condições naturais dos ambientes, tantos físicos quanto biológicos.

Para o Estado do Amapá, pelo Projeto RADAM (1974) foram definido cinco grandes agrupamentos, a saber: Latossolos, Podzólicos, Concrecionário Lateríticos, Litossólicos e Hidromórficos.

Para a área de estudo, o domínio de solos pertencem ao grupo hidromórfico (Figura 1.6), conforme ZEE (2006). Estão ligados a diferentes tipos de ambientes, destacando-se os manguezais, os campos inundáveis e as várzeas. Esses solos são considerados os mais jovens do Estado do Amapá, e se formaram a partir dos sedimentos recentes do período Quaternário. São formadores das planícies fluviais, planícies flúvio-estuarinas e fluvio-marinhas da região e compreendem os seguintes subgrupos: laterita hidromórfica, hidromórficos gleyzados, hidromórficos indiscriminados e indiscriminados de mangue (ZEE, 2006). Estes solos são ainda fortemente influenciados pelo regime hídrico através do lençol freático, pela alta pluviosidade da região e pelas marés.

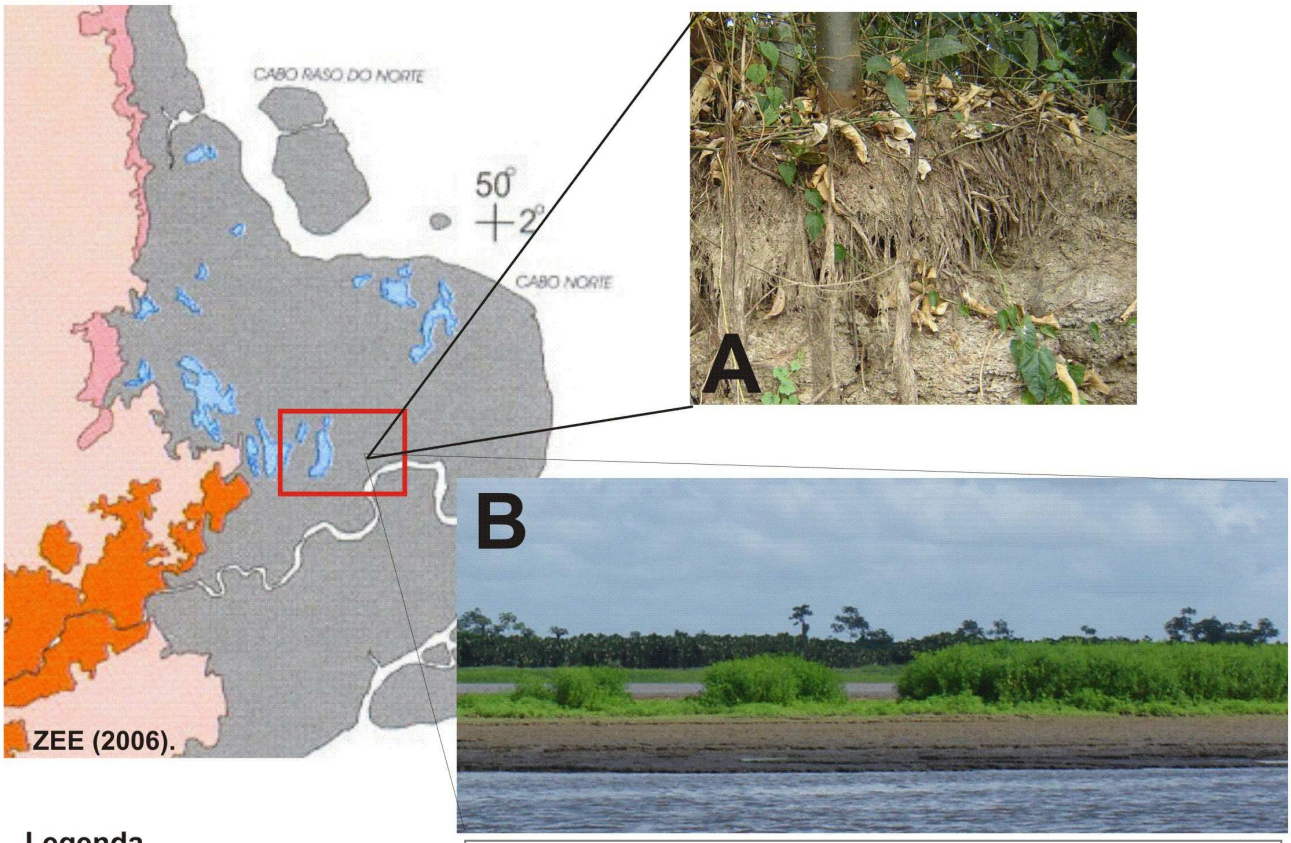


Figura 1.6 – Panorâmica dos solos hidromórficos da área de estudo: **A)** Solos hidromórficos gleyzados da margem esquerda do igarapé Tabaco; **B)** Solos hidromórficos indiscriminados as margens do Lago Comprido de Baixo. **Fonte**: Mapa modificado de Zoneamento Ecológico-Econômico - ZEE (2006). **Fotos**: Imagens registradas do mês de novembro de 2005, período menos chuvoso. (**Autor da Foto**: Odete Silveira, 2005).

1.4.4 - Vegetação

Segundo Costa Neto *et al.* (2006) o litoral amapaense abriga um importante patrimônio biológico ecológico e genético de ecossistemas de alta relevância ambiental. Ao longo da costa alternam-se manguezais, florestas de várzea, igapó e transição, campos inundáveis (herbáceo e arbustivo), lagos e outros ambientes.

Com relação a vegetação do Estado do Amapá muitos trabalhos tem sido feitos para se conhecer os ecossistemas predominantes. Magnanini (1952), excursionou pelo Estado com sua equipe com o trabalho intitulado ***"As Regiões Naturais do Amapá"*** (1952), em seguida na década de 1970, com os trabalhos do ***"Projeto RADAM/BRASIL"***, e,

posteriormente, os trabalhos do ***"ZEE-AP"*** (Zoneamento Ecológico-Econômico do Amapá) em escala 1:250.000. Esses grandes estudos foram e continuam sendo de grande valia para o conhecimento dos ecossistemas amapaenses.

Atualmente, vários autores têm prosseguido com pesquisas e dado suas contribuições para o conhecimento dos ecossistemas predominantes da costa amapaense.

Contudo, a de se levar em consideração os levantamentos feito pelo Projeto RADAM/BRASIL, sobretudo por Leite *et al*. (1974). Estes autores definiram para o Amapá em escala 1:50.000, três grandes Regiões Ecológicas: **a das Formações Pioneiras**; **a do Cerrado e a da Floresta Densa**. Os mesmos autores usaram para a delimitação desses gradientes ecológicos os fatores climáticos, litológicos e morfológicos.

A região de **Floresta densa** é a mais extensa das demais regiões fitoecológicas, ocorre de modo geral, segundo Leite *et al*. (1974), em toda a Folha NA/NB.22 MACAPÁ, e dividem-se em cinco sub-regiões: Sub-Região dos Baixos Platôs do Pará/Maranhão/Amapá; Sub-Região Aluvial do Amapá; Sub-Região da Plataforma Residual do Amapá; Sub-Região da Superfície Arrasada do Amapá e Sub-Região da Superfície Dissecada Guianense .

A região do **Cerrado**, ou Sub-Região dos Tabuleiros do Amapá se estende numa faixa sedimentar Terciária de direção norte - sul, e se limita a E pela Região das Formações Pioneiras das áreas Quaternárias e a oeste pela Região da Floresta densa sobre o embasamento Pré-Cambriano. Ao norte, o estreitamento dos tabuleiros estabelece o limite do Cerrado próximo ao rio Cunani (Leite *et al*., 1974).

A região das **Formações Pioneiras** distribui-se em áreas Quaternárias da faixa litorânea desde a foz do rio Oiapoque até o estuário amazônico. São divididas em duas sub-regiões: Sub-Região dos Campos da Planície do Amapá e Sub-Região do Litoral (Manguezal). A primeira estende-se pelo litoral amazônico e da faixa costeira, sem influência salina, enquanto que a segunda, compreende os terrenos quaternários formados pela sedimentação de origem flúvio-marinha onde a salinidade do mar funciona como fator seletivo da vegetação numa faixa contínua desde a foz do Oiapoque ao estuário amazônico. De modo geral, a região das Formações Pioneiras, é predominante na área que compreende o enfoque deste estudo, com presença de gramíneas, aninga, mururés, canarãnas e outras associações (Leite *et al*., 1974).

Para a área de estudo desta pesquisa, três fisionomias estão presentes definidas por Costa Neto *et al*. (2006), a saber: *a floresta de várzea, campo periodicamente e permamentemente inundado e campo herbáceo periodicamente inundado alterado* (Figura 1.7).

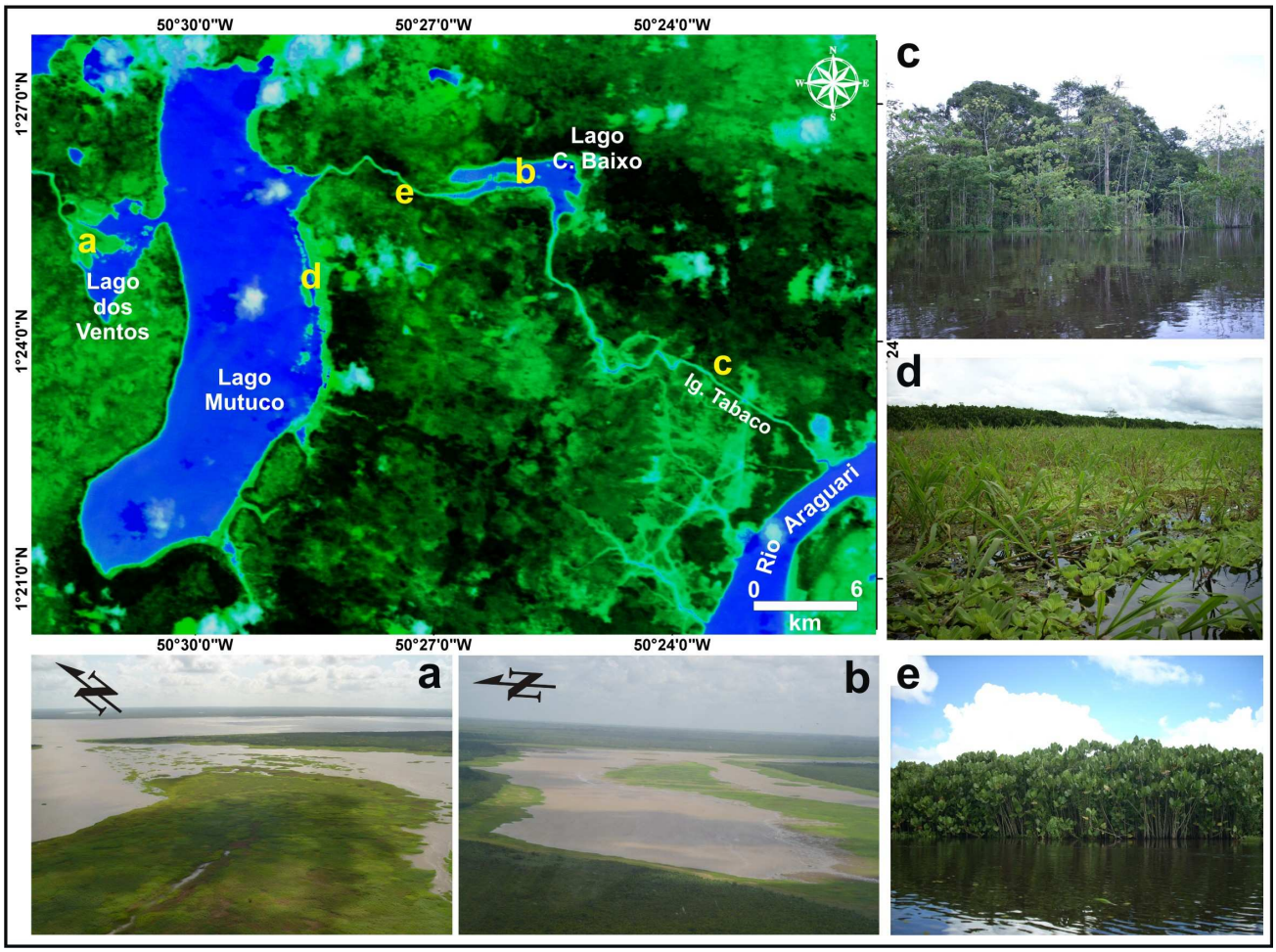


Figura 1.7 – Tipos de vegetação que predominam nos lagos e áreas adjacentes, margens dos canais de ligação e igarapés. **a)** Vista aéra do Lago dos Ventos, com predomínio de macrófitas aquáticas; **b)** Vista aérea do Lago Comprido de Baixo, com predomínio de macrófitas aquáticas; **c)** Vegetação típica da margem do igarapé Tabaco, mistura de espécies de várzea, com presença de palmeiras; **d)** Extensão das macrófitas aquáticas nas bordas do Lago Mutuco; **e)** Vegetação das margens dos canais de ligação, constituídas por espécie como aningas (*Montrichardia arborencens*), *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms e outras (Costa Neto *et al*., 2006). **Fonte**: Imagem do Satélite CBERS-2 de setembro de 2005, com aplicação do NDVI. **Acervo de Imagem**: www.dgi.inpe.br/CDSR. **Fotos**: a) e b) Odete Silveira (2005); c), d), e) Maria de Fátima A. Matos (2008).

Floresta de Várzea

A floresta de várzea comporta-se como um ecossistema ripário, é energeticamente aberto, que está associado aos rios de água branca, com grande aporte de água doce e sedimentos decorrentes do ciclo diário das enchentes e vazantes representadas pelas marés

semidiurnas (Costa Neto *et al*., 2007). Estão presentes nas regiões dos lagos da planície costeira e nas margens do rio Araguari (Figura 1.8). Para este ecossistema Costa Neto *et al*., (2006) identificou entre outras espécies as mais freqüentes a saber: *Pseudobombax munguba* (Mart. Et Zucc.) *Dugand.*, *Cordia tetrandra* Aubl., *Hura crepitans* L., *Virola surinamensis* Warb., *Ardisia panurensis* Mens., *Philodendron acutatum* Schott., *Peperomia* sp., *Paulinita pinnata* L., *Macrolobium acaciifolium* (Benth.) Benth., *Guadua glomerata* Munro., *Inga cayennensis* Sagot ex Benth. e *Montrichardia arborescens* (L.) Schott.

Figura 1.8 – Floresta de várzea, as margens do rio Araguari. **Foto**: IEPA/CPAQ/ECOLAB, 2007.

Campo Periodicamente e Permanentemente Inundado

Vegetação predominante nas regiões dos lagos, que são regidas pela inundação, principalmente, por águas pluviais (período chuvoso), intensificadas nos meses de janeiro a maio, quando ocorrem grandes enchentes (Costa Neto *et al*., 2006). A vegetação é tipicamente aquática (Magnanini, 1952), porém, de acordo com Costa Neto *et al*. (2007), podem ser observadas a presença de populações de palmeiras como a *Euterpe oleracea* Mart. (açai), numa faixa que vai do rio Araguari até o Lago Comprido de Cima. Nesse trecho as espécies de macrófitas aquáticas mais freqüentes identificadas por estes autores são (Figura 1.9): *Montrichardia arborencens* (L.) Schott, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *E.azurea* (Sw.) Kumth, *Panicum laxum* Sw., *Ceratopteris pteridoides* (Hook.) Hieron., *Salvinia auriculara* Aubl, *Cyperus giganteus* Vahl. (taboa), *C. fera*x L.C. Rich., *C.*

odoratus L. *Eleocharis inteerstincta* (Vahl.) Roem. e Schult., *E. mutata* (L.) Roem e Schult (junco), *Hymenachne ampexicaule* (caranã), *E. azurea* (Sw.) Kunth (aguapés), entre outras.

As macrófitas aquáticas exercem importante funcionalidade para a manutenção da produtividade dos lagos, pois participam ativamente da ciclagem de nutrientes e produção de matéria orgânica (Prado *et al*, 2008). Apesar de obstruírem as passagens dos canais de ligação entre os lagos, e ora, prejudicar a navegação, deslocando-se ao longo das bordas dos lagos (Costa Neto *et al*., 2006), servem também de refúgio e abrigo para diversos organismos, desempenhando um papel fundamental para a manutenção dos estoques naturais de peixes, pois aumentam a sobrevivência e o recrutamento de juvenis (Prado *et al.*, 2008). Estes mesmos autores ressaltam que devido o potencial das macrófitas armazenarem nutrientes e tolerarem ambientes impactados, podem servir ainda como bioindicadores de ambientes eutrofizados. Nos lagos do Amapá, estão densamente desenvolvidas, formando um gradiente de distribuição da margem para o interior do lago, e causam efeito de pseudo margem. A diversidade de macrófitas varia de folhas flutuantes até as submersas enraizadas.

Figura 1.9 – Espécies de macrófitas aquáticas do lago Mutuco.
Foto: Maria de Fátima A. Matos, maio de 2008.

1.4.5 - Clima

O clima predominante no Estado do Amapá, assim como para a maior parte da Amazônica, segundo a classificação de Köppen-Geiger está situada na zona de clima Am, é

caracterizado por elevada taxa pluviométrica durante todo o ano, com totais mensais acima de 300 mm e totais anuais variando entre 1500 a 3500 mm (Figura 1.10). Os índices pluviométricos para o Amapá não são regulares durante todo o ano, pelo contrário, existem períodos bastante distintos: um chuvoso (que equivale basicamente a 80% do total das chuvas anual), que se prolonga de dezembro a julho e, um menos chuvoso, também conhecido como período "seco", para os demais meses.

Associadas as altas taxas de pluviosidades, estão as elevadas temperaturas. Devido a localização da região próxima a linha do Equador, a temperatura não varia muito durante o ano (23 a 32 ^{0}C), porém, a variação diária é bastante elevada, isso porque, as horas de insolação praticamente se iguala à duração da noite (região de baixa latitude). Figuras 1.1 e 1.12.

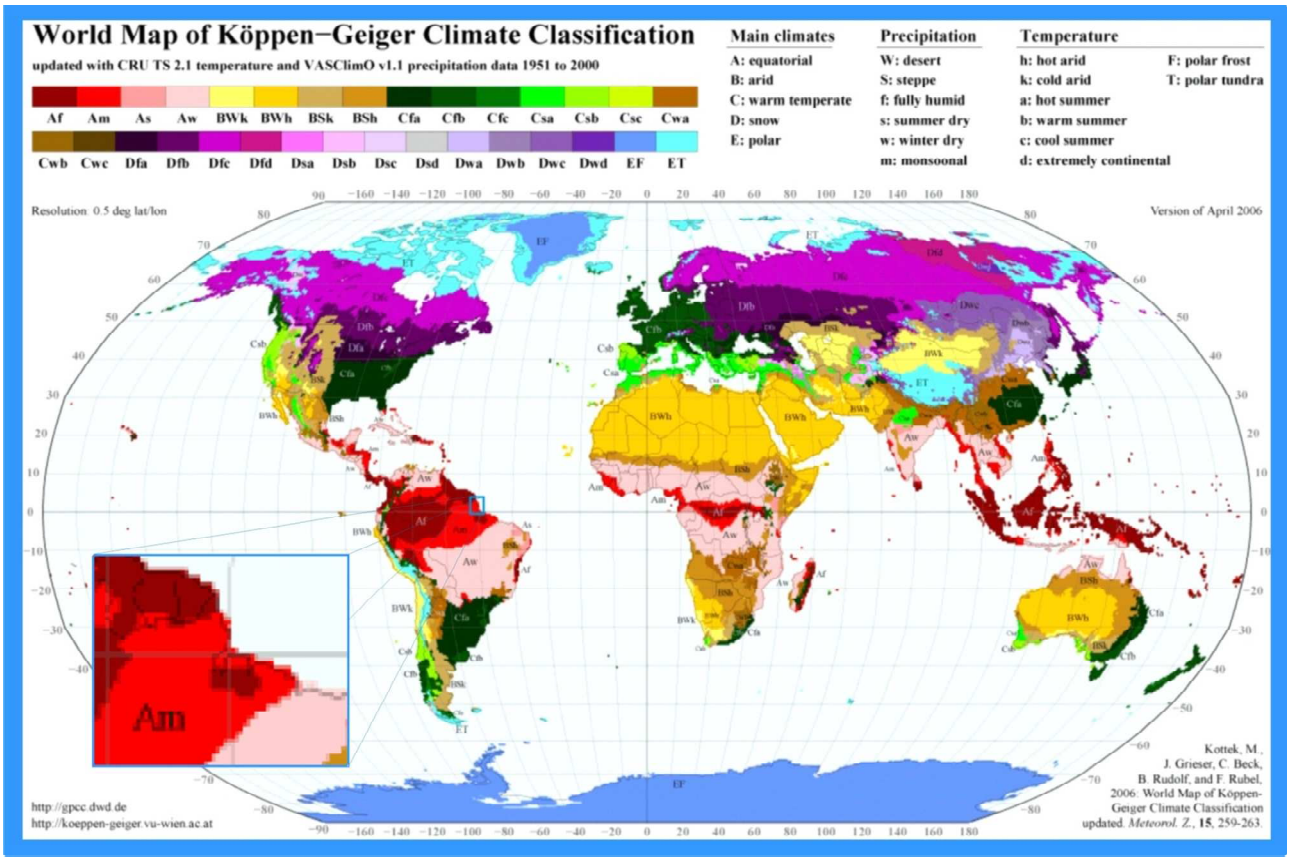


Figura 1.10 – Classificação das zonas climáticas conforme Köppen-Geiger (Kottek *et al*., 2006).

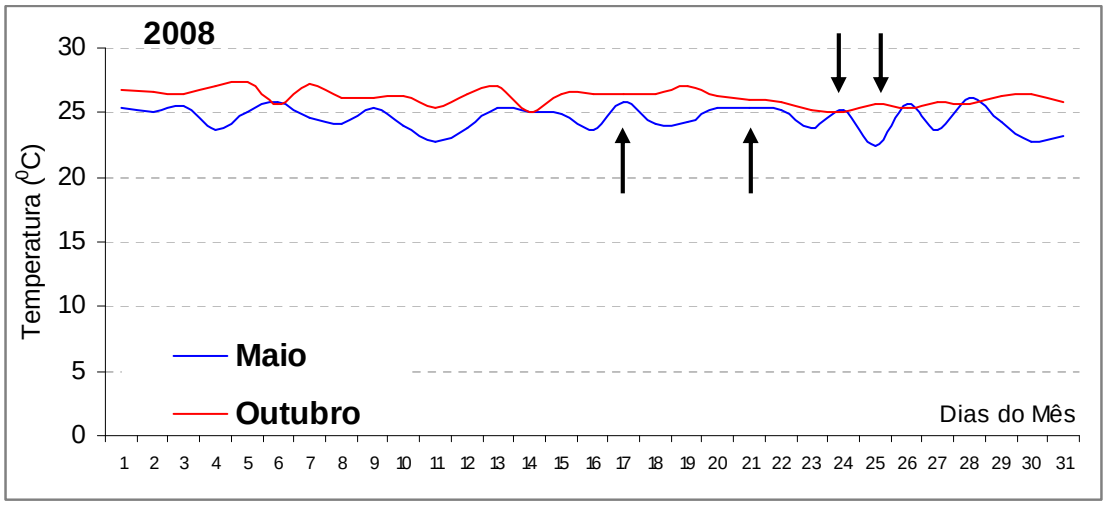


Figura 1.11 – Variação da temperatura do ar durante os meses de maio e outubro de 2008. As setas pretas indicam os dias das coletas. Fonte: Dados para a estação meteorológica de Tartarugalzinho, disponível no site do INMET (www.inmet.gov.br).

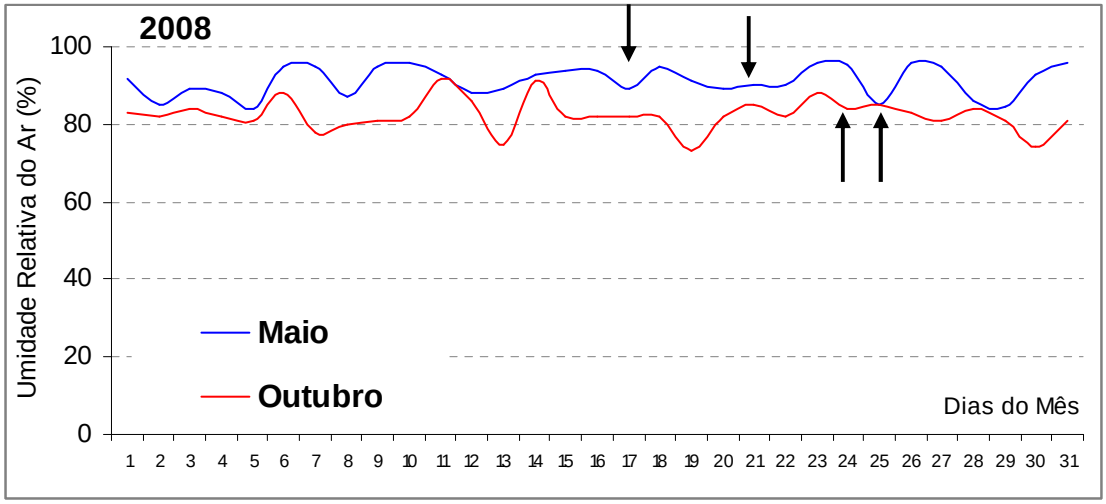


Figura 1.12 – Variação da umidade relativa do ar durante os meses de maio e outubro de 2008. As setas pretas indicam os dias das coletas. **Fonte**: Dados para a estação meteorológica de Tartarugalzinho, disponível no site do INMET (www.inmet.gov.br).

Com base nos dados de precipitação da estação de Aporema, município de Amapá, da Agência Nacional de Águas – ANA, às médias anuais de 1989 a 2006, observa-se que esta região, entre março e maio, é o período que mais chove (Figura 1.13), e os meses de menor precipitação é de setembro a novembro, podendo registrar um déficit hídrico moderado. A precipitação é um importante fator-controle do ciclo hidrológico e, portanto, da regulagem das condições ecológicas e geográficas de uma determinada região.

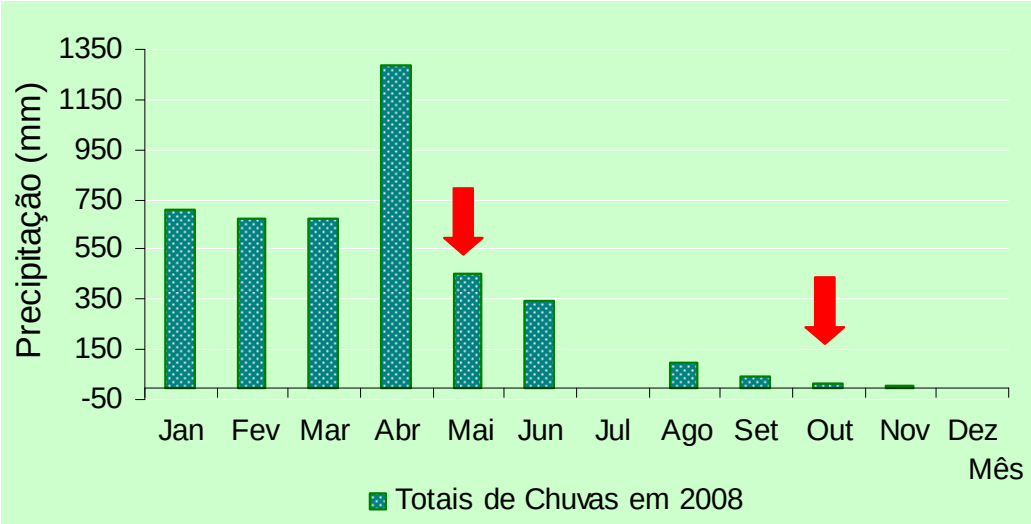


Figura 1.13 – Chuvas acumuladas para a estação de Aporema, no município de Amapá para o ano de 2008. **Fonte**: ANA, 2008.

As médias anuais de precipitação na costa amapaense variam com os eventos de *El Niño* e *La Niña* e potencializam a região com períodos mais secos e períodos mais chuvosos. Nos episódios de *El Niño* condições mais secas são observadas, e nos episódios de *La Niña* condições de períodos chuvosos prolongados são observadas. Estas anomalias conforme Santos (2006), influenciariam nos processos hidrodinâmicos e, consequentemente, nas condições de transporte e deposição de sedimentos, bem com nas descargas dos rios.

Conforme Diretoria de Hidrografia e Navegação, as condições meteorológicas mais severas, são observadas durante os meses de novembro a março quando a ZCIT se move sobre a região costeira, em direção ao sul, sob a ação dos ventos do quadrante nordeste, propiciando fortes chuvas e trovoadas. A ZCIT é um sistema de extrema importância na definição da qualidade do período chuvoso no setor Norte do Brasil, é marcante principalmente nos anos chuvosos, ou que coincidem com o evento da *La Niña*.

Associadas a distribuição e concentração das chuvas na região, está presente a incidência dos ventos alísios, que são controlados para Zona de Convergência Intertropical - ZCIT.

Conforme Nittrouer & Demaster (1996) e Santos (2006), os ventos alísios são freqüentes o ano todo, de dezembro a maio são provenientes de nordeste, enquanto que de junho a novembro são provenientes de sudeste (Figura 1.14). Porém, a velocidade com que

se propagam na costa varia conforme observou Mitchell & Wallace (1992) são em escalas variadas, diárias a sazonal. Para estes autores os ventos alísios de sudeste soprando ao sul do equador são muito mais intensos do que os ventos alísios de nordeste, quando esses ventos de sudeste cruzam o equador sofrem um desvio para a direita devido à força de Coriolis e passam a soprar de sudeste, o que reduz a intensidade dos alísios de nordeste (Mitchell & Wallace, 1992).

Os horários diários com que se propagam com maior intensidade no período chuvoso, são no intervalo entre 18 às 23 horas, com velocidades que ultrapassam 6,6 m/s, valores registrados para a estação de Tartarugalzinho (INMET, 2008).

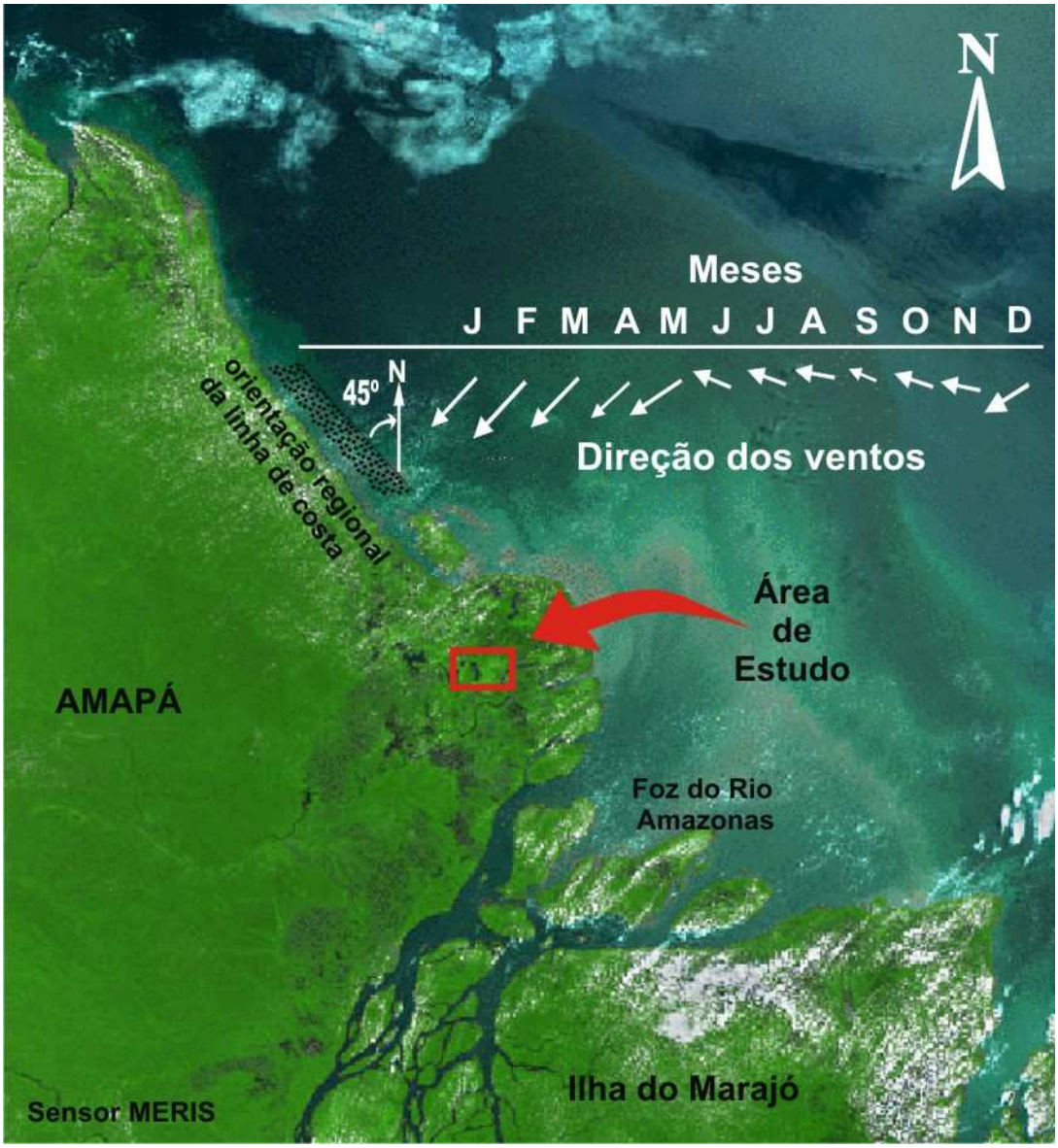


Figura 1.14 – Direção média dos ventos alísios incidentes na costa do Amapá durante o ano. Informações compiladas de Nittrouer & Demaster. (1996); Santos (2006). Imagem de satélite do sensor MERIS, 2008 (www.envisat.com).

1.4.6 - Marés e Correntes

As marés na foz do rio Araguari e foz do Igarapé Tabaco são caracterizadas como semi-diurnas, ocorrem duas baixa-mares e duas preamares no período de 1 dia lunar (24h 50m). Conforme Davies (1964), a costa Amapaense está na zona de classificação de macromarés, com máxima altura (H_{max}) acima de 4 metros, podendo alcançar até 12 metros (DHN, 2008).

A influência é sentida na zona adjacente a área de estudo até o contato com o embasamento com o planalto costeiro na altura do município de Ferreira Gomes, aproximadamente 225 km da foz do rio Araguari (Santos, 2006).

Registros de campo (Figura 1.15) mostram o que Santos (2006) advoga, que o tempo de enchente é muito inferior ao tempo de vazante na costa do Amapá. No período chuvoso (junho) o tempo de enchente é em média de 1 horas e 30 minutos e o de vazante horas é de 10 horas e 15 minutos, o nível da água variam entorno de 1,76 m a 2,30 metros. No período menos chuvoso (novembro) a maré leva em média 3 hora de enchente e 9 hora de vazante, e o nível da água com menor volume, varia em média 0,19 cm a 1,20 metros (CPAQ, 2008).

No decorrer do ciclo de maré, há um transporte de volume de água estuário acima (enchente) e estuário abaixo (vazante). Se os intervalos de tempo de enchente e vazante são diferentes, segue-se pelo princípio da conservação de volume que no evento de menor duração, a velocidade do movimento será mais intensa e, em conseqüência, o transporte de sedimentos em suspensão será maior na enchente, em comparação ao da vazante, assumindo adequado suprimento de sedimentos nos dois eventos.

A importância da maré em áreas inundadas, como é o caso da área de estudo, está no desenvolvimento de vegetação do tipo gramíneas e mangue (Miranda *et al*., 2002), além de funcionar como mecanismo controlador de modificações no ecossistema (Santos, 2006), e de interferirem de forma positiva ou negativa sobre a paisagem, a partir do papel das correntes de marés como fator de remobilização e transporte de sedimentos ao longo da linha de costa e nos estuários (Santos, 2006).

Somados a essas características, o conhecimento do fenômeno de maré para as áreas rasas, como é o caso da área de estudo, é fundamental para uma navegação com

segurança. A investigação se o alcance das marés tem a influência da maré nos lagos é tema desta pesquisa.

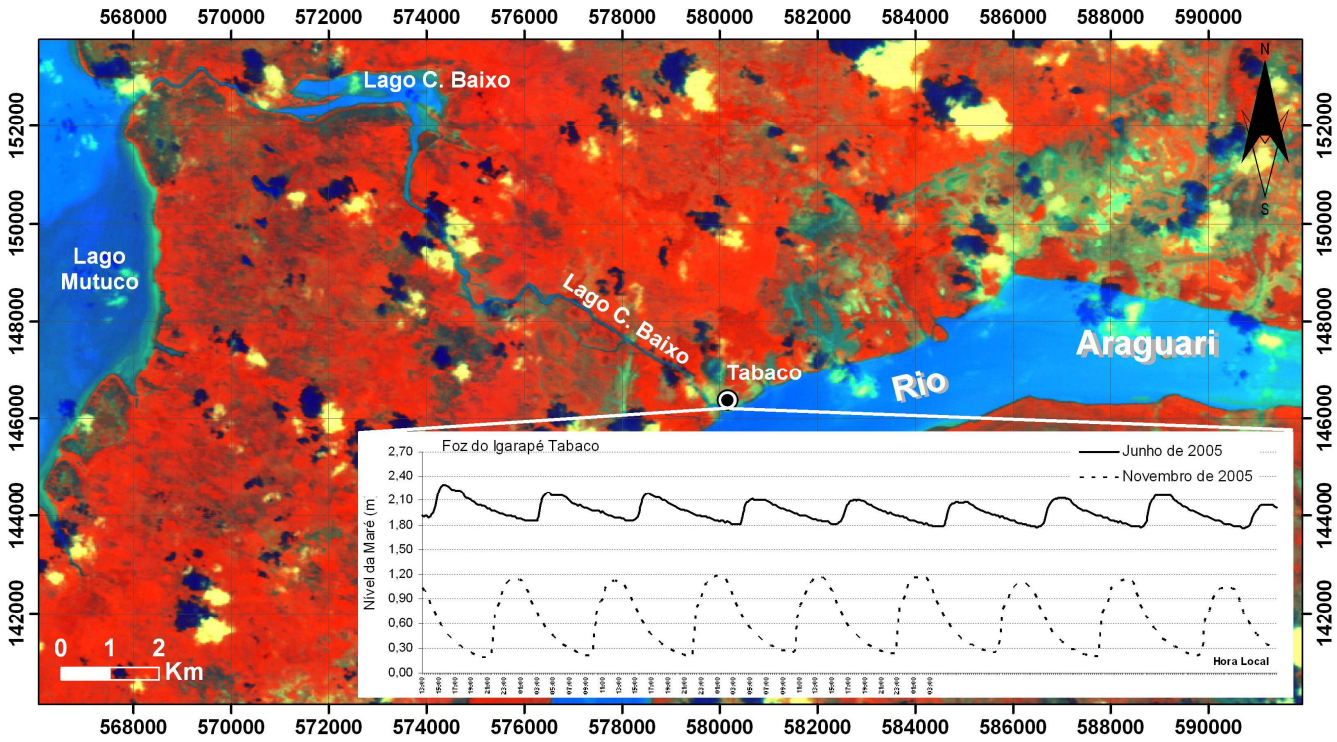


Figura 1.15 – Variação da maré na estação do Tabaco. Dados medidos nos meses de junho e novembro de 2005. **Fonte**: dados cedido por CPAQ/IEPA, 2008.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

As atividades desenvolvidas para a confecção desta dissertação tiveram as seguintes fases: pesquisa bibliográfica dos dados pretéritos e cartográficos; levantamento e aquisição de imagens de satélites; trabalhos de campo; procedimentos laboratoriais e análise e integração dos dados.

O fluxograma (Figura 2.1) mostra as etapas de desenvolvimento das atividades e confecção da dissertação.

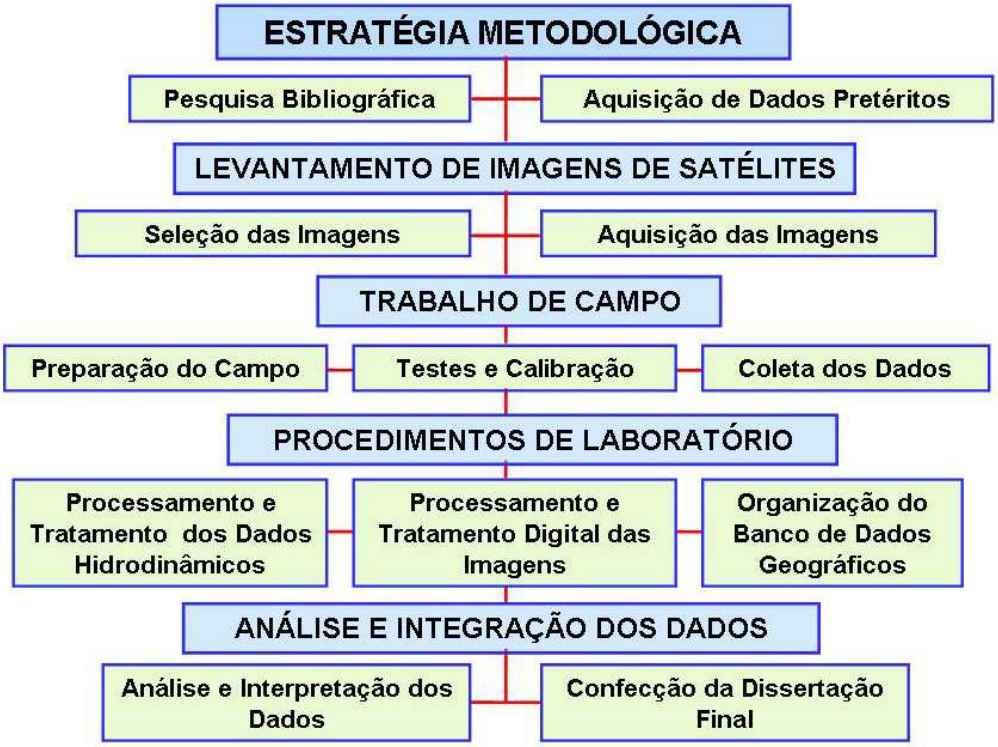


Figura 2.1 – Fluxograma das atividades desenvolvidas para a confecção da dissertação**.**

A pesquisa bibliográfica contou com levantamento de dados pretéritos da área de atuação desta pesquisa e áreas adjacentes, por considerar importante a análise num cenário de abrangência maior para entendimento dos processos atuantes que envolvem a área alvo. Informações de documentos históricos também foram levantadas para compreensão dos eventos do passado refletidos no presente.

Para este trabalho foram consultadas dissertações, teses, páginas eletrônicas, periódicos especializados, livros, assim como mapas existentes da região da costa do Amapá, incluindo informações dos mapas da CPRM, DHN, IBGE, DNPM, IEPA, INMET, INPE, CPTEC, NASA, ANA e outras fontes diversas, para obtenção de informações necessárias para a comparação e análises dos dados

2.2 LEVANTAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Primeiramente fez-se uma pesquisa sobre as imagens disponíveis para aquisição. Na pesquisa foi levado em consideração, principalmente o período sazonal, devido à presença de nuvens na região.

Utilizaram-se as imagens dos sensores orbitais das séries do satélite Landsat: T4, TM5 e ETM7; os sensores orbitais do satélite CBERS2 e CBERS2B: CCD; o MDT do SRTM; e a imagem escaneada de radar do Projeto RADAM/BRASIL de 1972, como mostra a tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Aquisição das imagens de satélites utilizadas no trabalho.

Satélite	Resolução Geométrica (m)	Data da Imagem	Ponto/Órbita	Fonte de Aquisição
Radar GEMS 1000 (Banda X)		1972	NA-22-Z-A	GEOPRO/UFRN
Landsat TM5	30	1984	Mosaico	NASA (zulu.ssc.nasa.gov/mrsid)
Landsat T4	30	08-08-1992	225-59	Univesity of Maryland (glcfapp.umiacs.umd.edu:8080)
Landsat TM5	30	17-09-1992	225-59	DGI/INPE (www.dgi.inpe.br/cdsr)
Landsat TM5	30	14-06-1998	225-59	DGI/INPE (www.dgi.inpe.br/cdsr)
Landsat TM5	30	27-07-1999	225-59	DGI/INPE (www.dgi.inpe.br/cdsr)
Landsat TM5	30	20-08-1999	225-59	DGI/INPE (www.dgi.inpe.br/cdsr)
Landsat ETM7	30	31-10-1999	225-59	SEMA/AP
Landsat ETM7	30	18-11-2000	225-59	Univesity of Maryland (glcfapp.umiacs.umd.edu:8080)
Landsat ETM7	30	2000	Mosaico	NASA (zulu.ssc.nasa.gov/mrsid)
SRTM	90	2000	Lat. 2.50N Long. 52.50W	SRTM (www2.jpl.nasa.gov/srtm)
Landsat ETM7	30	02-09-2001	225-59	DGI/INPE (www.dgi.inpe.br/cdsr)
CBERS2 CCD1XS	20	06-11-2003	164-98	DGI/INPE (www.dgi.inpe.br/cdsr)
CBERS2 CCD1XS	20	12-09-2005	164-98	DGI/INPE (www.dgi.inpe.br/cdsr)
CBERS 2B CCD1XS	20	22-09-2008	164-98	DGI/INPE (www.dgi.inpe.br/cdsr)
Landsat TM5	30	29-09-2008	225-59	DGI/INPE (www.dgi.inpe.br/cdsr)

2.3 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram executados em dois períodos: maio e outubro de 2008, e contou com o levantamento das informações hidrodinâmicas da área: descarga líquida, correntes e marés. A Figura 2.2 ilustra os locais de realização das etapas de campo. As Tabelas 2.2 e 2.3 mostram os períodos, locais e datas das etapas de campo.

Tabela 2.2 – Períodos e locais das medições de vazão.

Estação de Medição de Vazão	1ª Campanha	2ª Campanha
Lago Mutuco	17/05/2008	24/10/2008
Igarapé Tabaco – 1	21/05/2008	25/10/2008
Igarapé Tabaco – 2	21/05/2008	24 e 25/10/2008

Tabela 2.3 – Períodos e locais das leituras das réguas de maré.

Estação de Medição da Maré	1ª Campanha	2ª Campanha
Lago Mutuco	----------	Outubro
Igarapé Tabaco – 1	----------	Outubro
Igarapé Tabaco – 2	Maio	Outubro

Figura 2.2 – Locais das estações de medição de vazão e maré.

O posicionamento dos dados foi feito com auxílio do *Global Positioning System* (GPS) modelo E-TREX GARMIN e registro em máquina fotográfica digital modelo NIKON COOLPIX.

Para a coleta dos dados de descarga líquida e corrente foi utilizado dois ADCPs "*Acustic Doppler Current Profiler*" Modelo Rio Grande da RD Instruments de mesma freqüência (600 kHz) cedidos pelo: Centro de Pesquisas Aquáticas – CPAQ/IEPA e pela Rede 5-PETROMAR (Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental – GGEMMA/UFRN).

2.3.1 Medição de Descarga Líquida e Corrente

Conforme o modelo do equipamento a ser usado para coleta, há de acordo com o manual operacional do fabricante uma configuração de medição específica para cada local (RDI, 2003). Neste caso foram usados dois ADCPs 600 kHz do mesmo modelo a fabricante (Figura 2.3).

As medições foram feitas na seção transversal em dois locais do igarapé Tabaco e na entrada o Lago Mutuco (Figura 2.2).

Figura 2.3 – Vista dos 4 transdutores acústicos do ADCP utilizados tanto para emitir quanto para receber os pulsos sonoros. ADCP Rio Grande 600 kHz, da RD Instruments.

O modo de coleta usado foi o perpendicular ao fluxo da água. O equipamento foi instalado na lateral de uma embarcação tipo voadeira, imerso transdutores a 20 cm da lâmina d'água a distância da superfície (Figura 2.4), acoplado por uma estrutura de

alumínio como suporte e conectado ao um computador tipo portátil para aquisição do dado em tempo real.

O transdutor acústico do ADCP deve permanecer sempre imerso e completamente coberto pela água. Isso permite conduzir o barco em velocidades aceitáveis para não permitir grandes variações em decorrência das oscilações da embarcação. Tal fato provocaria a entrada de ar embaixo da face dos transdutores, bloqueando a emissão e recepção da energia acústica na água (RDI, 2003).

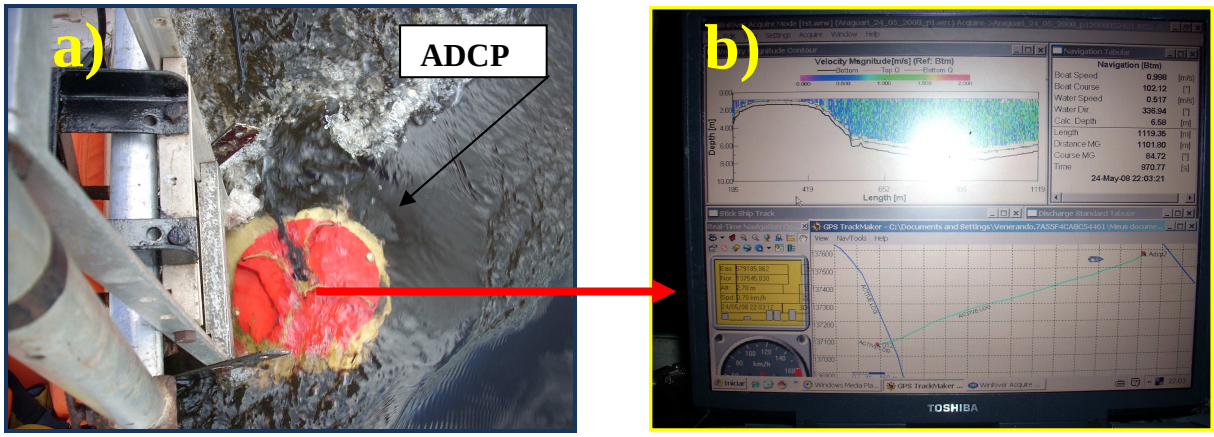


Figura 2.4 – Sistema de coleta do ADCP. **a)** Equipamento instalado na lateral da embarcação. **b)** Tela do computador para a coleta de dados em tempo real. Fotos: Maria de Fátima Alves de Matos, maio de 2008.

A embarcação segue em trajetória reta de uma margem a outra (Margem Direita – MD e Margem Esquerda – ME) da seção transversal do rio (Figura 2.5), onde as margens são registradas pelo GPS. Para todas as medições tentou-se fazer o registro com duração de um ciclo de maré, ou seja, pelo menos 12 horas de medição contínua.

De acordo com o manual operacional do fabricante a descarga medida numa seção transversal do rio é o total de fluxo que passa por esta seção. A descarga é independente do percurso real do barco entre dois pontos das margens opostas do curso d'água. Com o ADCP não é necessário ter um balizamento (considera-se uma reta ideal) entre o PI-PF (ponto inicial e ponto final), forçando o barco a seguir essa trajetória.

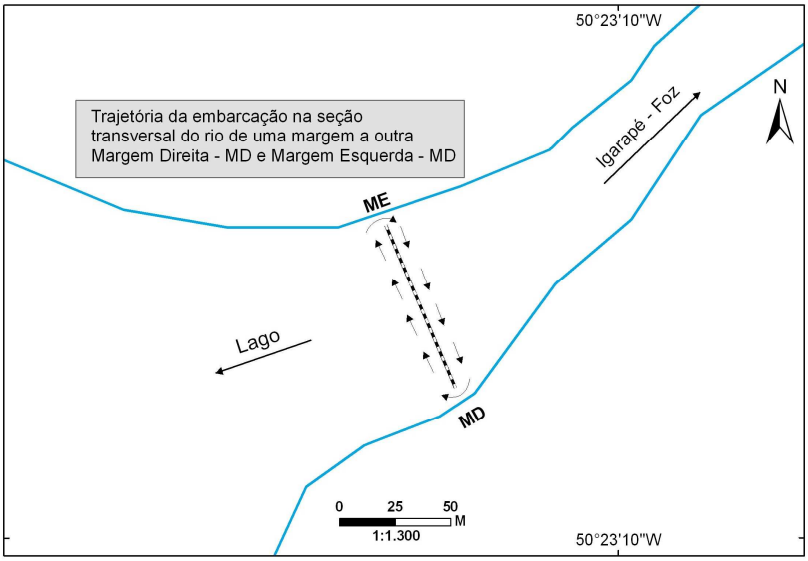


Figura 2.5 – Trajetória da embarcação em uma seção transversal do canal (margens) para a coleta de dados com o ADCP.

O sistema de navegação do ADCP utiliza uma bússola magnética que fornece a direção do deslocamento e a distância percorrida é calculada em relação ao fundo. Desta forma, o levantamento fornece a trajetória percorrida, a profundidade (batimetria) do corpo d'água em cada seção transversal do rio.

Como o ADCP mede sua própria velocidade em relação ao fundo, essa informação é usada como referencial para mostrar o caminho que a embarcação percorreu.

No entanto, nem toda a descarga é efetivamente medida (Figura 2.6). O ADCP não mede diretamente todo o perfil de velocidade, da superfície ao fundo e nas margens. Isso se dá por questões técnico-operacionais relacionadas à profundidade em que o equipamento é colocado, à existência de "brancos" após a transmissão do sinal, à estrutura e ao comprimento do pulso de energia emitido pelos transdutores do ADCP e também por efeitos causados pelo fundo, como por exemplo, material orgânico. Para o cálculo da descarga o programa de computador não utiliza os dados da região próxima ao fundo e das margens que possam estar afetadas.

Figura 2.6 – Área medida e calculada (topo, fundo e margens) pelo ADCP de uma seção transversal do curso d'água. **Fonte**: RDI, 2003.

2.3.2 Modelo de Configuração do Software para Aquisição dos Dados

A Figura 2.6 mostra a tela de configuração inicial do *software WinRiver*, da RDI *Instruments* e tela de configuração dos comandos. Cada um dos comandos mostrados abaixo tem uma função e para maiores detalhes dos mesmos faz-se necessário consultar o manual de configuração e operação. Vale ressaltar que se as configurações iniciais não estiverem de acordo com a seção a ser medida, os resultados obtidos não representarão à vazão da seção. Isso vale dizer que cada seção de medição tem sua própria configuração, pois deve-se considerar as variáveis ambientais de acordo com o fabricante.

Neste caso, para a configuração do ADCP para a área de estudo, foi usado as principais variáveis:

- Profundidade máxima: 20 metros;
- velocidade máxima da água: 2 m/s;
- velocidade máxima da embarcação: 1,5 m/s

As Figuras 2.7 e 2.8 mostram a configuração do programa para a aquisição

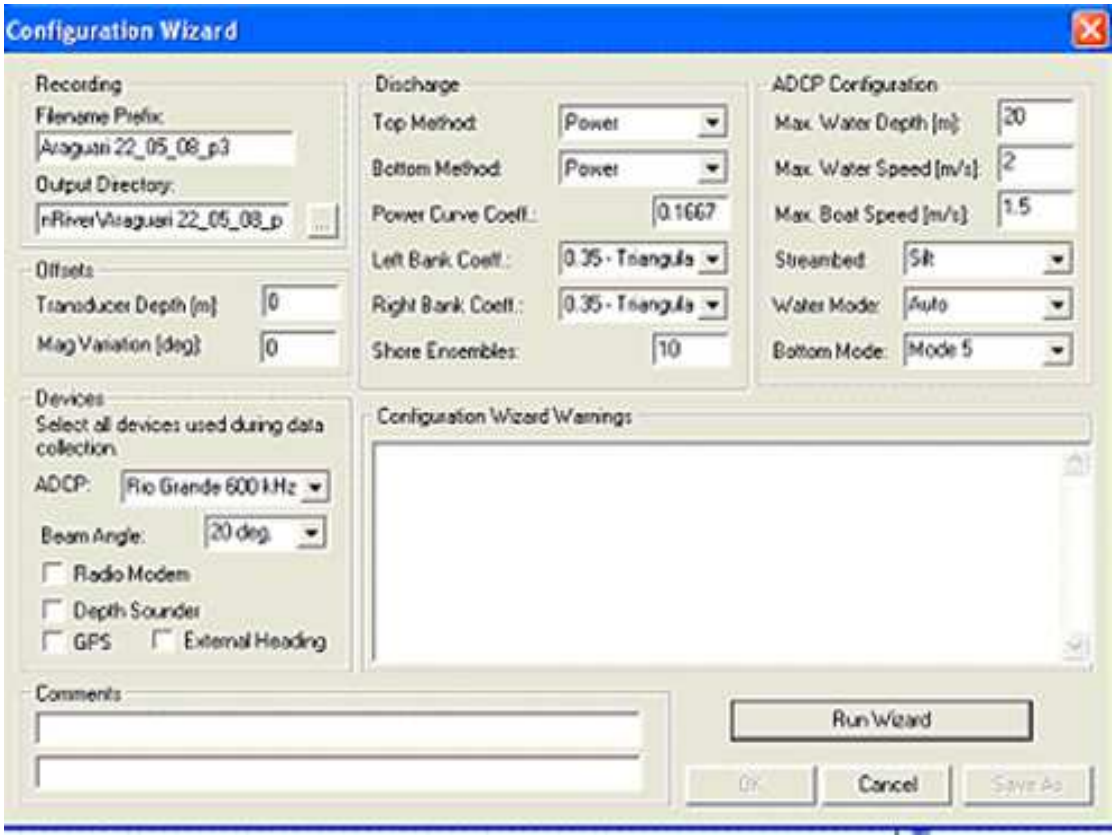


Figura 2.7 - Configuração *Wizard* do programa *WinRiver* para aquisição dos dados de vazão, com a definição das variáveis ambientais para a área de coleta. **Fonte**: RDI, 2003.

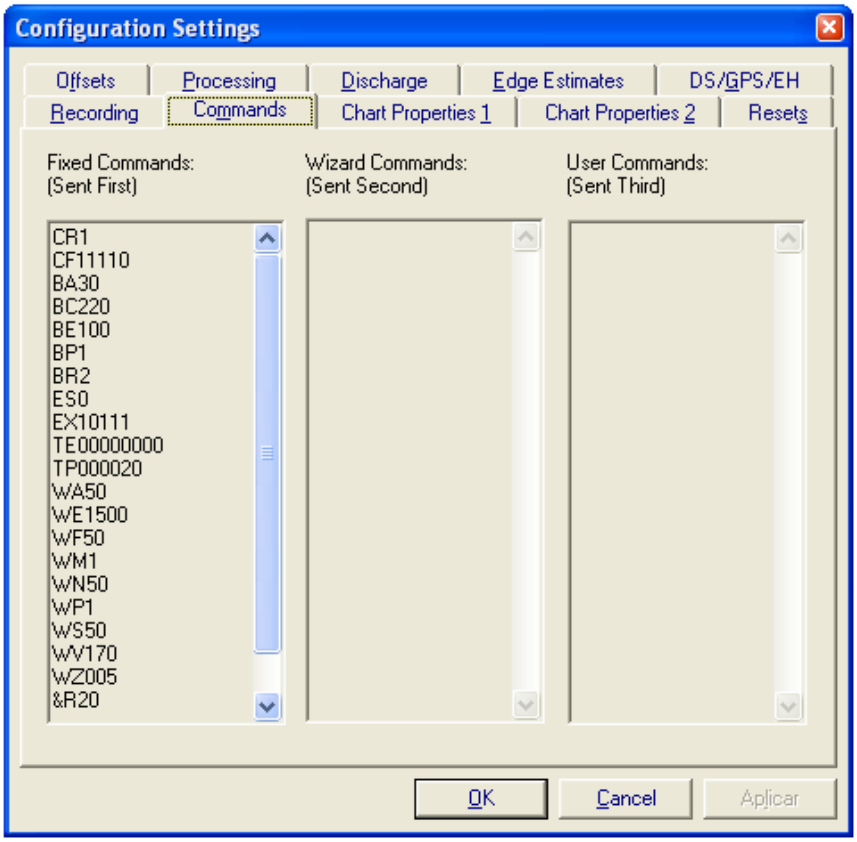


Figura 2.8 – Definição de configuração dos comandos *Wizard* do programa *WinRiver*. **Fonte**: RDI, 2003.

2.3.3 Fundamentação do Método Acústico

O método acústico fundamenta-se no efeito *Doppler*, que consiste principalmente na determinação das velocidades da corrente e área da seção de medição e, por conseqüência, cálculo da descarga líquida total (Marone *et al*., 2007). A velocidade do escoamento é calculada a partir de sinais acústicos enviados pelo equipamento, **ADCP** – *Acustic Doppler Current Profile*, e refletidos pelas partículas sólidas presentes na água. Conforme Gordon (1989) a diferença das freqüências emitidas e refletidas é proporcional a velocidade relativa entre a embarcação e as partículas imersas na água.

No geral, a descarga líquida é caracterizada pela expressão:

$$Q = A \, . \, V$$

Onde a vazão (**Q**) depende da área (**A**) da seção do canal e da velocidade (**V**) do fluxo.

Com base nessas definições, este trabalho foi realizado pelo método acústico com uso do equipamento ADCP de 600 kHz de freqüência. Foram realizadas duas campanhas, no ano de 2008, uma no período chuvoso (mês de maio) e outra foi realizada no período seco (mês de outubro) em três pontos centrais da área de estudo.

2.3.4 Coleta dos Dados de Maré

A coleta dos dados de maré foi feita com a leituras da régua de maré, com intervalos de 1 cm e 3 metros de comprimento. As réguas foram instaladas na foz do Igarapé Tabaco, na base do IBAMA, nas duas campanhas. Na segunda campanha, de outubro de 2008, a régua foi instalada em outros dois locais: próximo a entrada do lago Comprido de Baixo Mutuco e na entrada do lago Mutuco (Figura 2.2).

A leitura da régua foi em intervalo de 5 minutos por um operador durante o período das etapas de medição da vazão. As leituras foram diárias, e no geral com duração de 13 horas contínuas. Outras leituras foram feitas com durante de 25 horas contínuas.

Durante as leituras houve revezamento de operador, principalmente para as leituras de 25 horas.

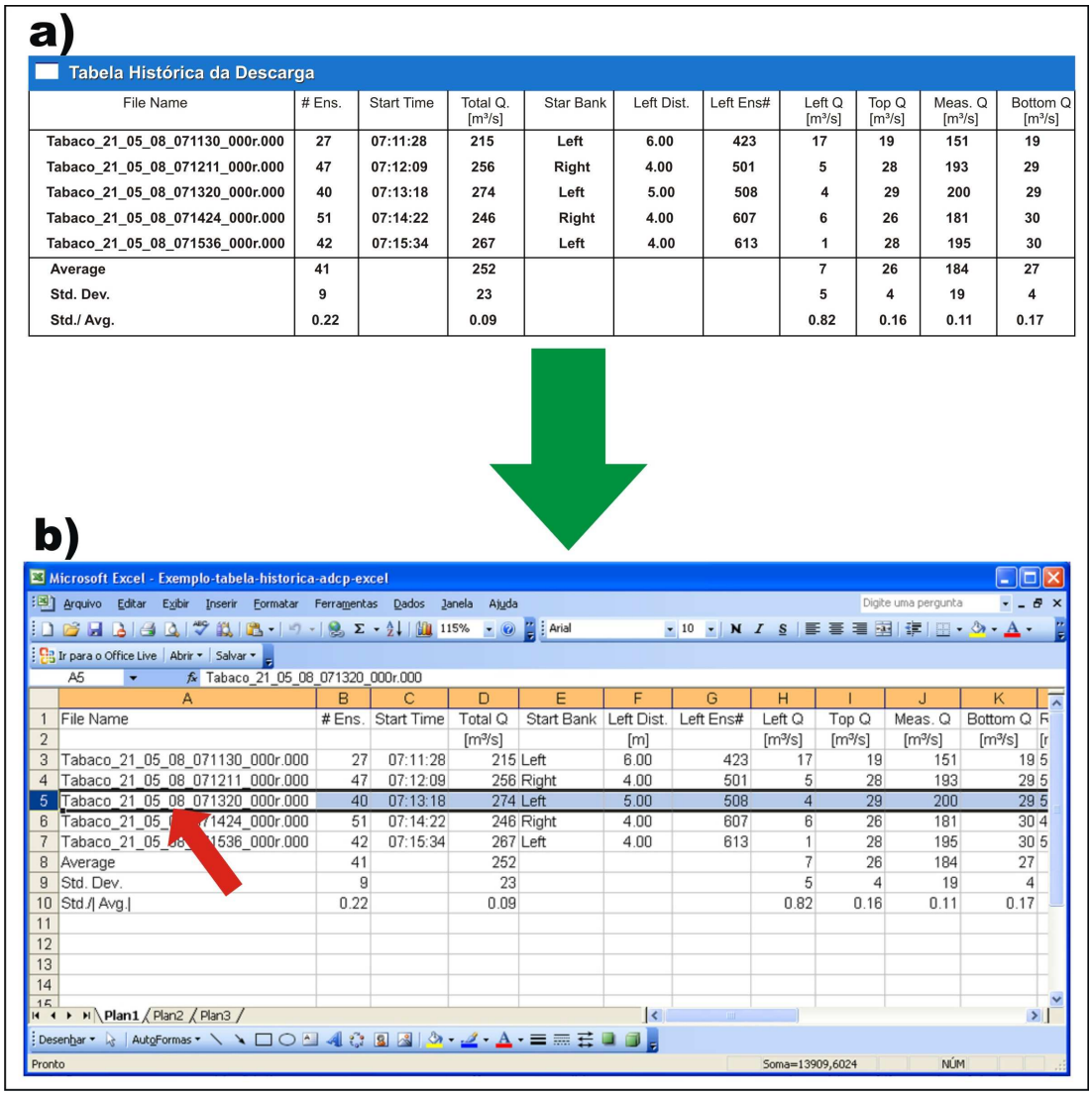
2.4 PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO

2.4.1 Processamento e Tratamento dos Dados de Descarga Líquida

Para o processamento e tratamento dos dados, primeiramente cada seção transversal é processada no programa *WinRiver Playback Mode* e após o processamento dos dados o programa permite gerar uma tabela histórica (acionando a tecla *F12* do programa) com todos os dados coletados na seção transversal do rio (Figura 2.9). A tabela histórica possui interface (clicando com o botão direito no centro desta tabela para acionar a opção copiar) para a planilha do Excel onde serão tratados e confeccionados os gráficos.

Na planilha do Excel (acionando a opção *Ctrl + C*) os dados são descarregados e cada célula da planilha do Excel (como indicado pela seta na cor vermelha) representa os dados da descarga de seção transversal do rio.

A Figura 2.9 mostra alguns valores da tabela histórica da descarga medida nas seções transversais do Igarapé Tabaco do mês de maio de 2008. Além desses valores, a tabela apresenta área total, velocidade, direção do fluxo, profundidade, duração, e outros valores, que no total são 35 colunas com informações adquiridas durante uma medição de uma seção transversal do rio.



File Name	# Ens.	Start Time	Total Q. [m³/s]	Star Bank	Left Dist.	Left Ens#	Left Q [m³/s]	Top Q [m³/s]	Meas. Q [m³/s]	Bottom Q [m³/s]
Tabaco_21_05_08_071130_000r.000	27	07:11:28	215	Left	6.00	423	17	19	151	19
Tabaco_21_05_08_071211_000r.000	47	07:12:09	256	Right	4.00	501	5	28	193	29
Tabaco_21_05_08_071320_000r.000	40	07:13:18	274	Left	5.00	508	4	29	200	29
Tabaco_21_05_08_071424_000r.000	51	07:14:22	246	Right	4.00	607	6	26	181	30
Tabaco_21_05_08_071536_000r.000	42	07:15:34	267	Left	4.00	613	1	28	195	30
Average	41		252				7	26	184	27
Std. Dev.	9		23				5	4	19	4
Std./ Avg.	0.22		0.09				0.82	0.16	0.11	0.17

Figura 2.9 – Exemplo de organização e modo de exportação dos dados de descarga líquida. **Fonte**: RDI, 2003. **a)** Tabela histórica do programa *WinRiver* com os valores da descarga; **b)** Planilha do Excel com os dados da tabela histórica exportados.

2.4.2 Processamento dos Dados de Maré

Os dados de maré foram tratados em planilhas do EXCEL, onde foram confeccionados os gráficos da altura relativa em função do tempo.

Os dados foram tratados considerando intervalos de 30 minutos para cada altura relativa da maré, em média os gráficos têm duração de 13 horas local.

2.4.3 Processamento Digital das Imagens

Para o processamento digital das imagens, seguiu-se as seguintes etapas:

ETAPA 1: Montagem da base cartográfica. Todas as imagens foram submetidas e posicionadas para o mesmo Datum WGS-84 e sistema de coordenadas em UTM e posteriormente georreferenciadas todas em mesma base cartográfica. Nesta etapa foi definida a área de trabalho e escala (1:80.000).

Após o georreferenciamento, as imagens foram submetidas às correções dos efeitos atmosféricos e remoção de ruídos pelo método Chavez (1988) baseado na subtração do "*pixel escuro*".

A atmosfera influencia na quantidade de energia eletromagnética que atinge a superfície terrestre e que é detectada pelo sensor, a importância da correção dos efeitos atmosféricos se foi feita para reduzir tais interferências atmosféricas.

Para o período de 2008, houve dificuldade de obtenção de imagens com baixa cobertura de nuvens, a solução foi sobrepor duas imagens de satélites obtidas em datas próximas conforme Figura 2.10 para extrair os contornos dos lagos e dos canais de ligação. Observa-se que na Figura 2.10 os números 1, 2 e 3 indicam as áreas afetadas pela presença de nuvens nas duas imagens.

Apesar da grande diversidade de imagens dos satélites das séries CBERS 2B e LANDSAT existente e disponíveis com ótima periodicidade de imageamento, é bastante reduzido o número de imagens com baixo percentual de cobertura de nuvens. Das 32 imagens levantadas e adquiridas através do Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, apenas 09 tiveram condições de ser utilizadas para o trabalho. Este fator exigiu muito cuidado para a extração da real rede de drenagem.

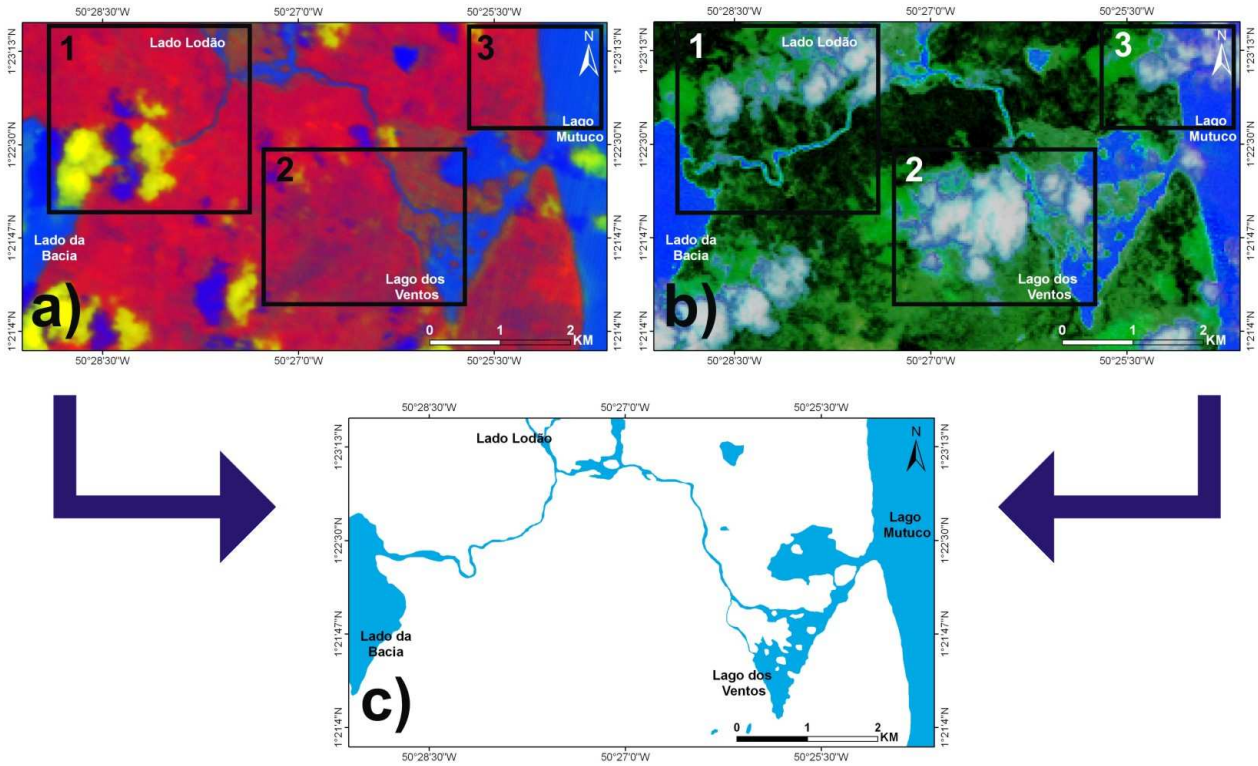


Figura 2.10 – Sobreposição de imagens de sensores de datas diferentes para a geração dos polígonos da área de estudo. **a)** Imagem CBERS 2B CCD1XS 20080922, o número 1 indica área afetada pela presença de nuvens e que no número 1 da imagem em b) está com menos presença de nuvens; b) Imagem de LANDSAT TM5 20080929, os números 2 e 3 são as áreas mais afetadas pela presença de nuvens e que na imagem a) encontram-se com menos presença; **c)** Mapeamento dos contornos dos lagos e canais de ligação após a sobreposição das duas imagens a e b. **Fonte:** Acervo das imagens do banco de dados do INPE (www.dgi.inpe.br/CDSR).

ETAPA 2: Tratamentos Digitais no Domínio Raster. Esta fase do processamento digital das imagens – PDI, contou com o uso de: composições coloridas em red green blue (RGB), red green blue e intensyt (RGBI), razões de bandas (RB), principais componentes (PC's), filtros direcionais, kirsch e sobel, métodos de índices (NDVI e NDWI) para destacar e realçar as feições topográficas e delinear os corpos d'água da área de trabalho como mostra a tabela 2.4 que indica os tratamento aplicados para cada imagem.

Todo o tratamento digital das imagens foi feito pelos software ER-Mapper e ENVI.

Tabela 2.4 - Tratamentos digitais aplicados nas imagens de satélites.

FEIÇÕES TOPOGRÁFICAS LINEARES CONTÍNUAS		
Imagem	**Período**	**Tratamento**
SRTM	2000	Aplicação de Filtros Sunangles de NS; NE; EW e NW
LANDSAT ETM7	18/11/2000	➢ Canal B-Banda 5; Intensity - Banda 4, com aplicação dos Filtros Sunangles: NS; NE; EW e NW; ➢ Composição colorida: R7G4 e B – Razão de Banda 7-5, com sobreposição de sombreamento dos dados de SRTM; ➢ B4-Filtro-Kirsch-3x3
MAPA GEOLÓGICO E DAS UNIDADES MORFOESTRUTURAIS DO AMAPÁ		
SRTM	2000	➢ Aplicação de sombreamento aos dados geológicos e geomorfológicos
DEFINIÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA		
Radar GEMS 1000 (B-X)	1972	➢ Realce na imagem escaneada em Stretched e histogram equalize
LANDSAT TM5	Mosaico de 1984	➢ Realce da imagem em RGB no Stretched e histogram equalize
LANDSAT TM5	17/09/1992	➢ Composição R7G4B1-I-NDVI3/4; ➢ Composição R4G3B1-I-NDVI2/4
LANDSAT TM5	14/06/1998	➢ Composição colorida R7G4B1-I-NDWI2/4; ➢ Composição colorida R7G4B1-I-NDVI3/4; ➢ Composição colorida R4G3B1-I-Razão de Bandas 2-5;
LANDSAT ETM7	31/10/1999	➢ Composição colorida R4G3B1-I-Razão de Bandas 2-4; ➢ Composição colorida R4G3B1-I-NDWI2/4; ➢ Composição colorida R7G4B1-I-NDVI3/4
LANDSAT ETM7	18/11/2000	➢ Composição colorida R7G4B1 e realce Histogram equalize; ➢ Composição colorida R4G3B1; ➢ R7-PC5-R4-B1; ➢ R7-PC5-Razão de Banda 2/4-NDVI3/4; ➢ R4-PC5-Razão de Banda 2/4-NDWI2/4
LANDSAT ETM7	02/09/2001	➢ Composição colorida R7G4B1 e realce Histogram equalize ➢ R7-PC5-Razão de Banda 2/4-NDVI3/4; ➢ R4-PC5-Razão de Banda 2/4-NDWI2/4
CBERS2 CCD	06/11/2003	➢ Composição colorida R2G4B3 e realce no histogram equalize; ➢ Composição colorida R3G4B2-I-NDVI3/4; ➢ Composição colorida R4G3B2-I-NDWI2/4; ➢ Composição colorida R4G3B2-I4 e realce no histogram equalize
CBERS2 CCD	12/09/2005	➢ Composição colorida R3G4B2-I-NDVI3/4; ➢ Composição colorida R4G3B2-I-NDWI2/4; ➢ Composição colorida R3G4B2-Stretched e Filtro Sobel 3 x 3; ➢ Composição colorida R4G2B3 e realce no histogram equalize
CBRES 2B CCD	22/09/2008	➢ Composição colorida R4G3B1 e R7G4B1; ➢ R4-NDVI3/4-R2B4;
LANDSAT TM5	29/09/2008	➢ R4G3-B-Ratio Three 243; ➢ R3G4-NDVI3/4; ➢ R4G3B1-I4-NDWI2/4

Para as imagens CBERS 2 CCD de 2005 e do sensor CBERS 2B CCD de 2008, a banda 1 desses sensores foram foi retirada da fusão entre as bandas devido ser a banda onde o ruído causado pelo sensor do satélite é mais atenuado (Figura 2.11).

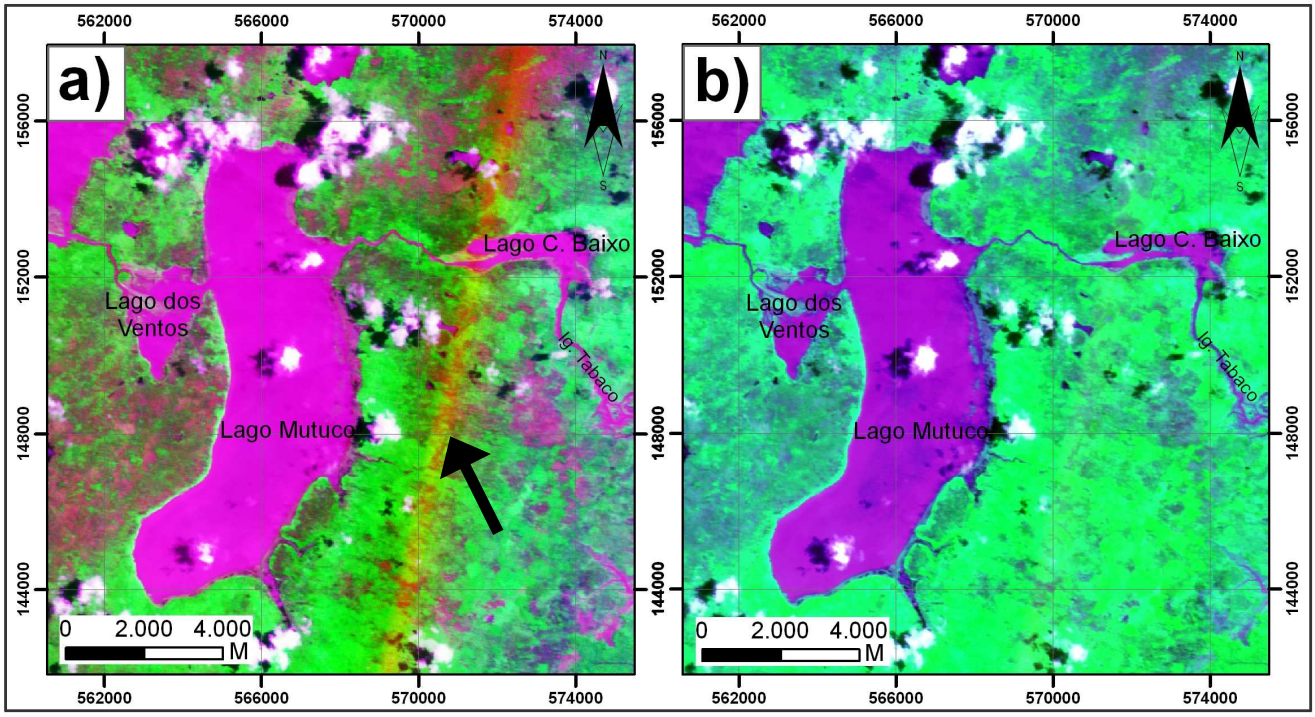


Figura 2.11 – Exemplo do ruído presente nas bandas espectrais do Satélite CBERS 2 CCD1XS (indicado pela seta na cor preta na imagem a) presentes nas bandas espectrais do sensor CCD do satélite CBRES. **a)** Fusão das imagens com a presença da banda 1; **b)** Fusão das imagens sem a presença da banda 1.

2.5 ANÁLISE E INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Esta última etapa consiste na análise, interpretação e integração dos dados para a confecção da dissertação final, que será detalhada nos capítulos seguintes.

Na análise e interpretação das imagens processadas foram gerados os polígonos com base na vetorização (seguindo uma linha) para a confecção dos mapas multitemporais e multiespectrais em ambiente de SIG pelo o software ArcGis (ESRI).

Após a criação dos polígonos das áreas, pelo método de "Analyst Spatial" do ArcGis, foram atribuídas as classes, os cálculos de áreas (área, perímetro, largura, comprimento) em km² e m², e o cruzamento dos polígonos dos diferentes anos para a criação das variáveis: áreas eutrofizadas, áreas erodidas, área de assoreadas e áreas de ganho.

Toda a execução dos procedimentos de todas as etapas descritas no procedimento metodológico foram realizadas no Laboratório de Geoprocessamento – GEOPRO/UFRN, que dispõe dos software e estrutura necessária para a realização deste trabalho.

3 CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS LAGOS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem como objetivo principal fazer apenas uma abordagem sobre a formação e origem da região dos lagos do Amapá, baseado em fontes pretéritas na ordem cronológica de vários autores que corroboraram acerca dos estudos desta região. Este capítulo pretende evidenciar uma visão histórica dos eventos geológico-geomorfológicos inerentes na evolução desses lagos, bem como associá-los as principais mudanças atuais de ordem natural e antrópica.

Os sistemas lacustres existem na superfície terrestre por meio de fenômenos de natureza geológica e climática ou por atuações provocadas pelo ser humano, portanto de natureza antrópica (Moraes *et al*., 2005).

Muitos estudos, de diversos ramos das ciências (geológico, geográfico, limnológico) tem se preocupado em estudar o surgimento dos lagos, e principalmente quanto a importância desse sistema efêmero diante de um cenário de maior abrangência ecossistêmica, como é o caso dos lagos do Amapá, inseridos na planície costeira, a qual é fortemente influenciada pelo Sistema de Dispersão Amazônico e agentes oceanográficos.

Os lagos possuem grande importância quanto à biota local, pois servem como verdadeiros reservatórios de reprodução primária, de importantes espécies faunística e florísticas, além de possuírem um rica beleza cênica da paisagem local (Figura 3.1).

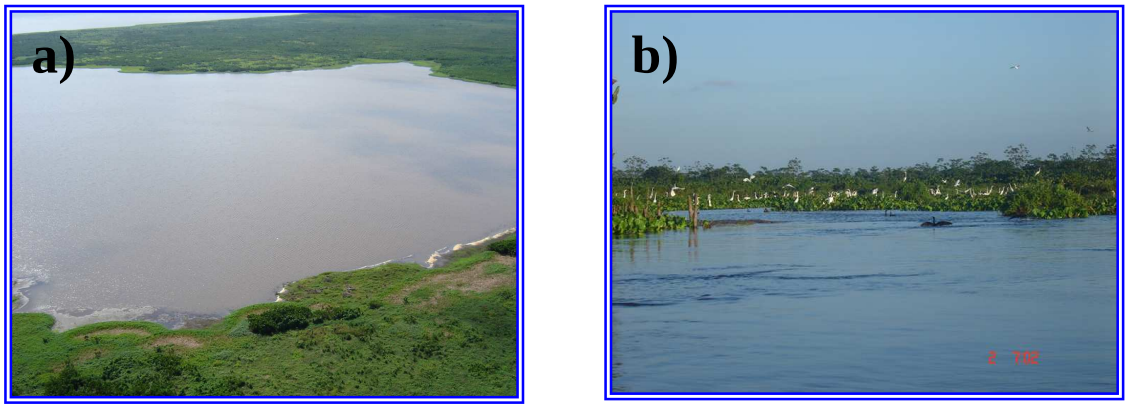


Figura 3.1 – Vista panorâmica dos lagos. **a)** Lago Mutuco; **b)** Lago Comprido de Baixo. **Autores das Fotos**: Odete Silveira, 2005; Maria de Fátima A. Matos, 2006, respectivamente.

3.2 SISTEMAS LACUSTRES

Lagos são corpos d'água interiores sem comunicação direta com o mar e suas águas têm em geral baixo teor de íons dissolvidos, quando comparadas às águas oceânicas. Os lagos não são elementos permanentes das paisagens da terra, pois eles são fenômenos de curta durabilidade na escala geológica, portanto surgem e desaparecem no decorrer do tempo (Esteves, 1988). Os principais fatores ligados a esse fenômeno são o acúmulo de matéria orgânica no sedimento e a deposição de sedimentos transportados por afluentes (Wetzel, 1983). Cobrem atualmente menos de 1% da superfície terrestre e contendo cerca de 0,02% de água do planeta (Allen & Collinson, 1986).

Com relação a gênese, os lagos podem ser originários de fenômenos endógenos (originários do interior da crosta terrestre) e exógenos (a partir de causas exteriores à crosta) (Esteves, 1988). Segundo Trindade (1984), a origem da maioria dos lagos no Brasil está relacionada a processos erosivos e sedimentológicos dos rios, do mar, do vento, e das águas pluviais.

Os sistemas lacustres podem ser classificados quanto ao regime hidrológico como abertos ou fechados. Os primeiros possuem efluxo superficial de águas e linhas de praia relativamente estáveis, enquanto os últimos não têm efluxo superficial, estando sujeitos a grandes variações de nível em função do balanço entre influxo e evaporação (PGT, 2008). Evidências sedimentológicas e geoquímicas de lagos atuais indicam que as flutuações de nível de lagos é mais dramática do que os oceanos, podendo alcançar centenas de metros em poucos milhares de anos (Scholz & Rosendahl, 1988; Owen *et al*., 1990; Scholz *et al*., 1998).

As origens mais comuns dos lagos estão vinculadas a ambientes glaciais, vulcânicos, tectônicos e associados a dinâmicas fluviais (Alves & Carvalho, 2007).

Esteves (1988), classificou em 5 grandes grupos de sistemas lacustres: 1) Lagos Amazônicos; 2) Lagos do Pantanal Matogrossense; 3) Lagos e Lagunas Costeiras; 4) Lagos formados pela atividade de rios; e, 5) Lagos artificiais como as represas e açudes (Figura 3.2).

Contudo, os maiores sistemas no Brasil são formados principalmente pela dinâmica de planícies fluviais ou atividades de rios, como por exemplo, os lagos de terra

firme da Amazônia, os lagos da bacia do médio rio Doce em Minas Gerais e os grandes lagos do Amapá (Esteves, 1988).

Conforme este autor, estes lagos são formados quando o rio principal transporta grande quantidade de sedimento que é depositado ao longo do seu leito. Esta deposição provoca uma elevação do nível de seu leito, causando o represamento de seus afluentes, então transformados em lagos. Estes afluentes são normalmente pobres de aluviões, o que faz com que não acompanhem a elevação do leito do rio principal.

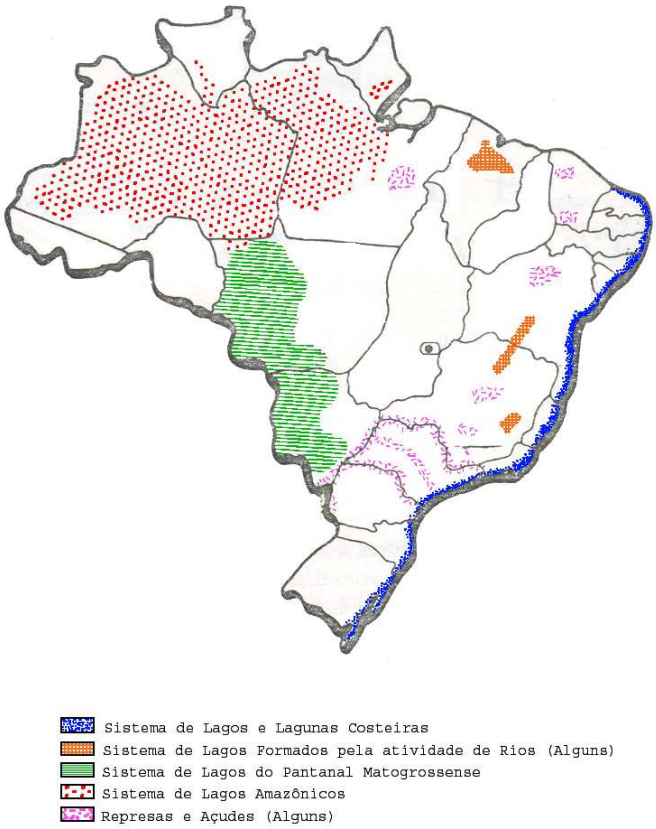


Figura 3.2 – Distribuição geográfica dos principais sistemas de lagos brasileiros (Modificado de Esteves, 1988).

3.2.1 A Região dos Lagos do Amapá

O estado do Amapá possui um grande sistema de lagos ao longo da Planície Costeira e a grande maioria encontra-se no localizada no Domínio Sul desta Planície (Silveira, 1998) entre o Rio Amapá Grande e a norte do Rio Araguari, abrange os

municipais de Amapá-AP, Pracuúba-AP e Tartarugalzinho-AP. Ao norte do litoral, há presença de outros lagos mais isolados (Figura 3.3) nos municípios de Calçoene e Oiapoque, os quais não foram mapeados neste pesquisa. De forma semelhante, há presença de lagos para o litoral sul, já nos domínios do Setor Amazônico.

A região dos lagos possui baixa densidade demográfica, estando a maioria da população residente, localizada nos núcleos urbanos das sedes municipais. A renda da maioria dessa população residente é proveniente da pecuária extensiva e pesca artesanal, como por exemplo, a comunidade de Sucuriju que exporta o pescado da gurijuba. Essas populações pescam nos limites da zona costeira (Dias, 2003).

Anterior a criação da Reserva Biológica do Lago Piratuba, era freqüente a pesca nos lagos. Sabe-se, por meio de documentos históricos e relatos da própria população local (Silveira, 2006b), que os pescadores permaneciam por muito tempo nos lagos pescando ao ponto de construírem pequenas palafitas no meio desses lagos (Figura 3.3), para servir de abrigo e guardar o pescado para ser escoado.

Com a criação da Reserva Biológica do Lago Piratuba em 1980, a pesca nos lagos dentro da área da reserva foi proibida, assim como a criação de gado nas comunidades que nos limites da reserva existiam; fato este que gerou nos anos seguintes conflitos fundiários de pesca e de caça predatória.

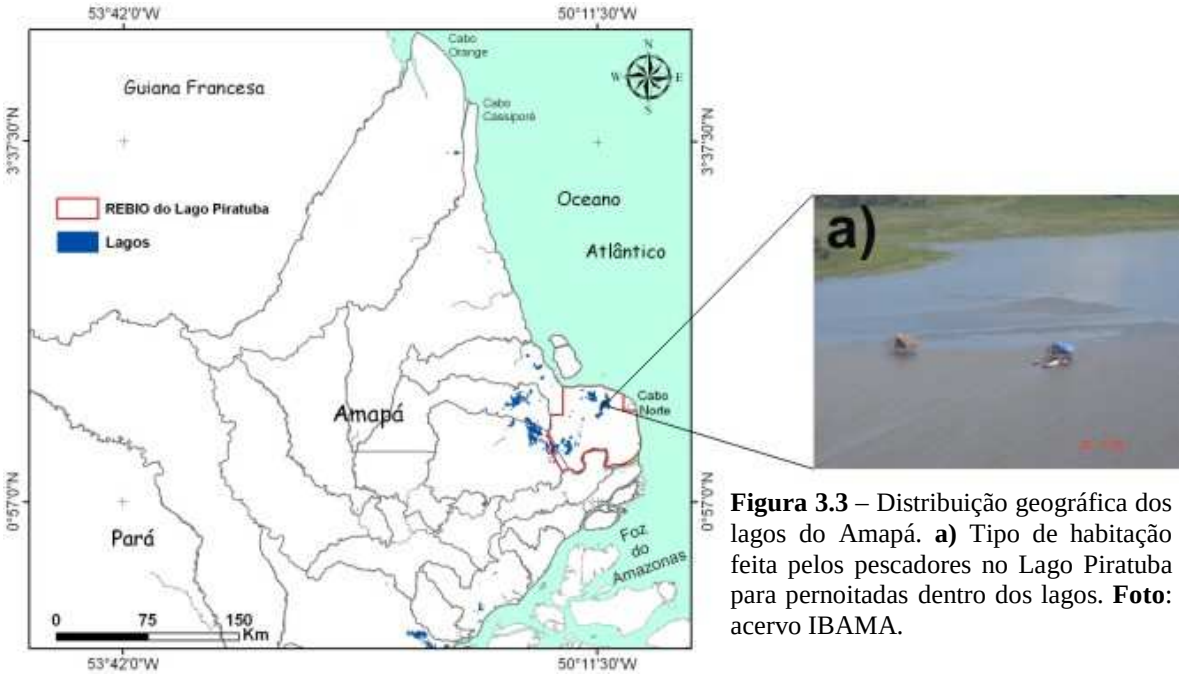


Figura 3.3 – Distribuição geográfica dos lagos do Amapá. **a)** Tipo de habitação feita pelos pescadores no Lago Piratuba para pernoitadas dentro dos lagos. **Foto**: acervo IBAMA.

3.2.2 Formação e Origem dos Lagos do Amapá

Com relação à formação dos lagos, foram primeiramente referidos por Guerra (1954), como estando ligados a evolução morfológica da área. Guerra ainda detalha que a região dos lagos sofreu um processo de colmatação progressiva, por tratar-se de "*uma área típica de zona de baixada inundável, na qual a drenagem difícil constituiu um problema a economia de mesma*". Segundo esse autor, o escoamento através dos rios Flexal e Macarry é dificultado anualmente, em função da "*sedimentação progressiva na foz desses rios, barrando o escoamento normal das águas no inverno*" numa referência clara ao processo de colmatação.

Para Ackermann (1966), tratou os lagos como sendo provenientes do movimento isostático da formação da Cordilheira dos Andes, ocasionando o ligeiro levantamento da região costeira, dando surgimento a faixa de argilas terciárias dentre as quais se encontram os lagos do Amapá, lagos estes, interligados entre si por canais e igarapés, com as margens filigranadas entre a terra firme.

Segundo o mesmo autor, por um estrangulamento que a corrente norte da vasa amazônica sofre atualmente na altura da Guiana Francesa, formou-se na região afetada um vasto redemoinho, o que provoca deposição forçada da vasa que não encontra mais saída franca, como antes, quando era levada até as Guianas e Venezuela. Este estrangulamento produz a sedimentação ao longo da ilha de Marajó e litoral amapaense, que resulta um levantamento gradativo da plataforma continental com o assoreamento das embocaduras dos rios e igarapés que deságuam no Atlântico, e, em conseqüência, a formação de novos lagos na região costeira, tornando-se estes centrais, sem ligação com o mar devido ao assoreamento dos canais de escoamento.

Posteriormente, Boaventura & Narita (1974), referiram como sendo lagos de barragem decorrentes da evolução da deposição de diques marginais do canal Norte do Amazonas. Para estes mesmos autores, os lagos são meandros abandonados do rio Araguari (Figura 3.4), originados de seu deslocamento progressivo para ao sul, acompanhando o movimento semelhante ocorrido com o canal Norte do Amazonas; isto se conclui da observação de diques marginais do Araguari transversais ao terraço, também constituídos por diques marginais, de orientação nordeste, existentes na margem

esquerda do canal do Norte. Estes mesmo autores definem como lagos residuais do Amapá.

Mendes (1994) teria abordado como lagos residuais de água doce, formados quando do afogamento generalizado da costa amapaense com a evolução da Transgressão Flandriana a partir de 6.000 de anos.

Por sua vez, para Silveira (1998) o estabelecimento dos cinturões lacustres meridional e ocidental está associado à fase Pré-Holocênica, e se desenvolveram com a desorganização da rede de drenagem. Na fase Holocênica, que se caracteriza pela reorganização progressiva da rede de drenagem da planície costeira como resultado da fase anterior, os processos aluvionares, juntamente com as condições climáticas e hidrodinâmicas da região, fortemente influenciados pelo Sistema de Dispersão Amazônico que, gradativamente, promovem a acresção costeira bem como a colmatação dos lagos e áreas alagadas, e o nivelamento da região através dos processos de agradação.

A região dos lagos do Amapá envolve uma grande área e estão a maioria distribuídos na parte mais a leste da costa, como vistos na Figura 3.4, e foram classificados conforme suas condições ambientais, processos hidrodinâmicos e costeiros envolvidos.

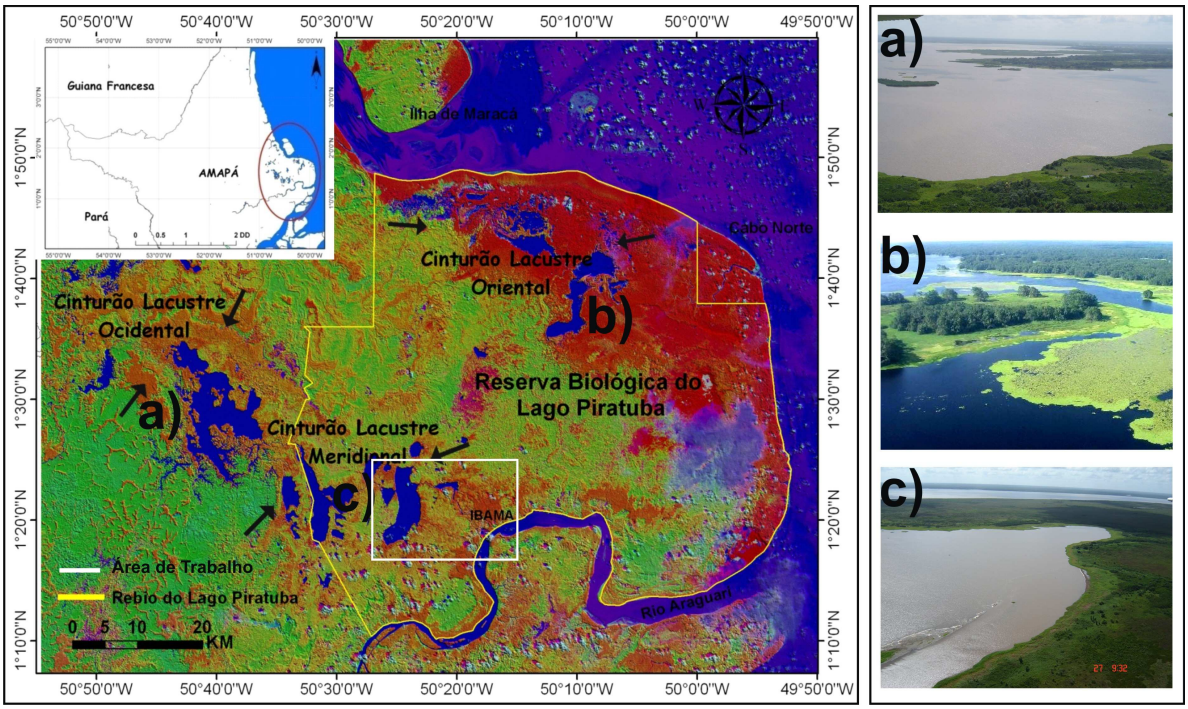


Figura 3.4 - Classificação dos lagos no domínio sul da Planície Costeira do Amapá (Silveira & Santos, 2006), com vista panorâmica dos lagos. **a)** lago do Cinturão Ocidental; **b)** lago do Cinturão Oriental; **c)** lago do Cinturão Meridional. **Fotos**: Odete Silveira (**a**, **c**); IBAMA/AP (**b**).

3.2.3 Classificação dos Cinturões Lacustres do Amapá

Os lagos foram classificados por Silveira (1998; 2006) em três principais cinturões lacustres, de acordo com suas características ambientais (Figura 3.4).

Cinturão Lacustre Ocidental formados pelos lagos Duas Bocas, Lago Novo, e demais lagos que se estendem no sentido norte próximo à região do Macarri. Estão na região mais a oeste da planície costeira, pertence ao Grupo Barreiras, associadas a Tabuleiros Costeiros. São caracterizados por sedimentos com textura variável de arenoso a argilo-siltoso.

Cinturão Lacustre Meridional formados pelos Lago dos Botos, Lago Comprido de Cima, Lago da Bacia, Lago Lodão, Lago Mutuco, Lago dos Ventos e o Lago Comprido de Baixo. São os lagos mais próximos do Rio Araguari, caracterizados por sedimentação pelítica associados a planície fluvial-estuarina, sob influências das marés.

Cinturão Lacustre Oriental formados pelos Lago Maresia, Lago Trindade, Lago Escara, Lago Piratuba. São os lagos mais próximos da linha costa, são bordejados pela vegetação de mangue e podem sofrer influência salina no período de seca durante as marés de sizígia.

A ausência de maior controle estrutural preferencial na região, permitiu a ramificação de padrões de drenagens dentríticas multidirecionais, apesar de alguns trechos dos maiores rios que cortam a planície costeira do Amapá evidenciarem uma leve orientação (Mendes, 1994).

As drenagens da área de estudo e áreas adjacentes são marcadas principalmente pela presença de trechos de rios em estágio de colmatação, como as paleodrenagens (Figura 3.5); inclusive os maiores rios que cortam a planície costeira já demonstram processos esses estágios. Os rios Tartarugal Grande e Macarri, são bons exemplos dos processos de colmatação (Figura 3.5).

Apesar de estar submetida à acumulação de sedimentos transportados pelos rios, a planície costeira do Amapá é uma região natural, que se assemelha a Planície Amazônica, que Bertrand (1972) denominou de uma região em elaboração, e define os

estágio de colmatagem de uma drenagem pelos estágios de sucessão vegetação (Figura 3.6)

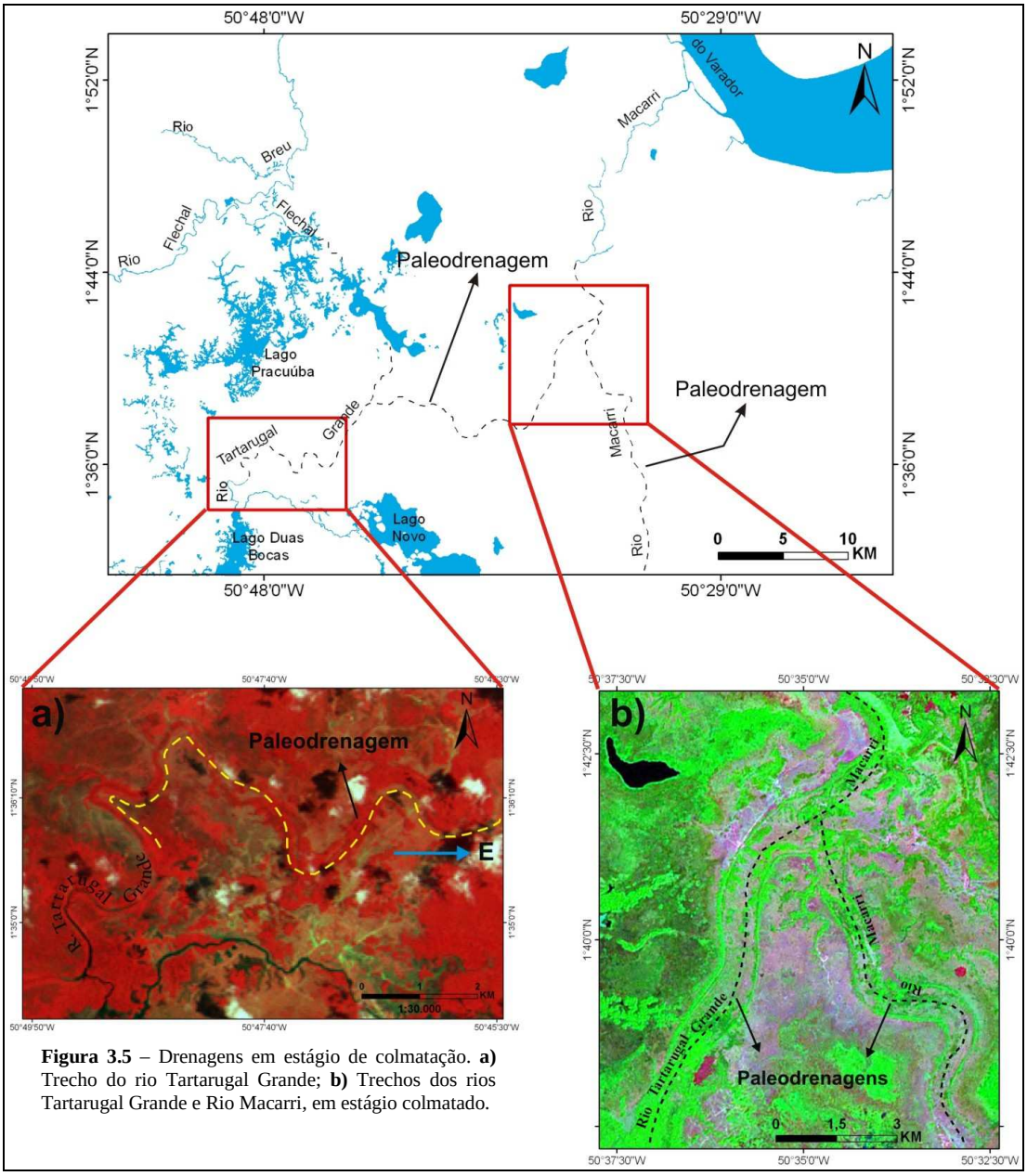


Figura 3.5 – Drenagens em estágio de colmatação. **a)** Trecho do rio Tartarugal Grande; **b)** Trechos dos rios Tartarugal Grande e Rio Macarri, em estágio colmatado.

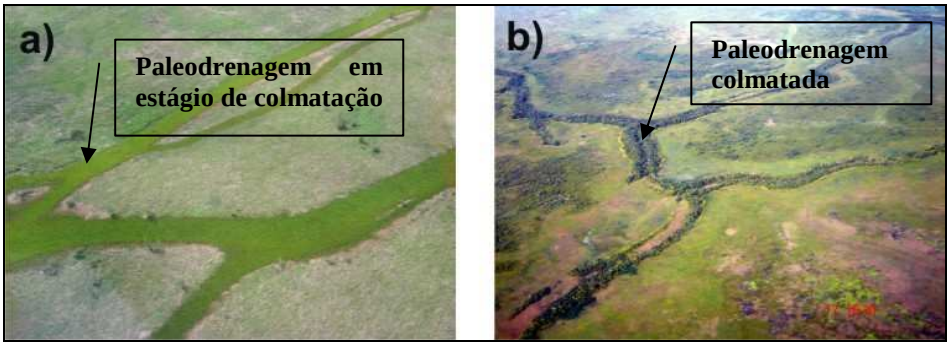


Figura 3.6 – Drenagens em estágio de colmatação da região do Macarri. **a)** Bordejado por vegetação do tipo gramínea; **b)** vegetação de porte mais alto. **Foto**: Priscila Sanjuan (a) e Odete Silveira (b), novembro de 2006.

Embora, alguns dos principais meandros da planície já se apresentarem em estágio colmatado, como evidenciado em alguns trechos, esses rios são os maiores provedores fluviais dos lagos do cinturão ocidental e meridional (Figura 3.7). Os lagos Duas Bocas e Novo são alimentados pelos rios Tartarugalzinho e Tartarugal Grande e pelos canais de ligação que drenam os demais lagos do Cinturão Meridional mais a leste da planície.

No período de maior descarga, os lagos do Cinturão Meridional, principalmente o Lago Comprido de Baixo e Lago Mutuco são influenciados pelas águas do Rio Araguari, que são transportadas pelo igarapé Tabaco.

No período chuvoso, a região recebe o maior aporte pluvial, com taxas de precipitação que variam entre 200 a 300 mm por mês nesse período.

Atualmente os lagos do cinturão Ocidental e Meridional são conectados entre si, desde o lago Duas Bocas até o lago Comprido de Baixo. Este último lago possui conexão direta com o igarapé do Tabaco, que deságua no rio Araguari.

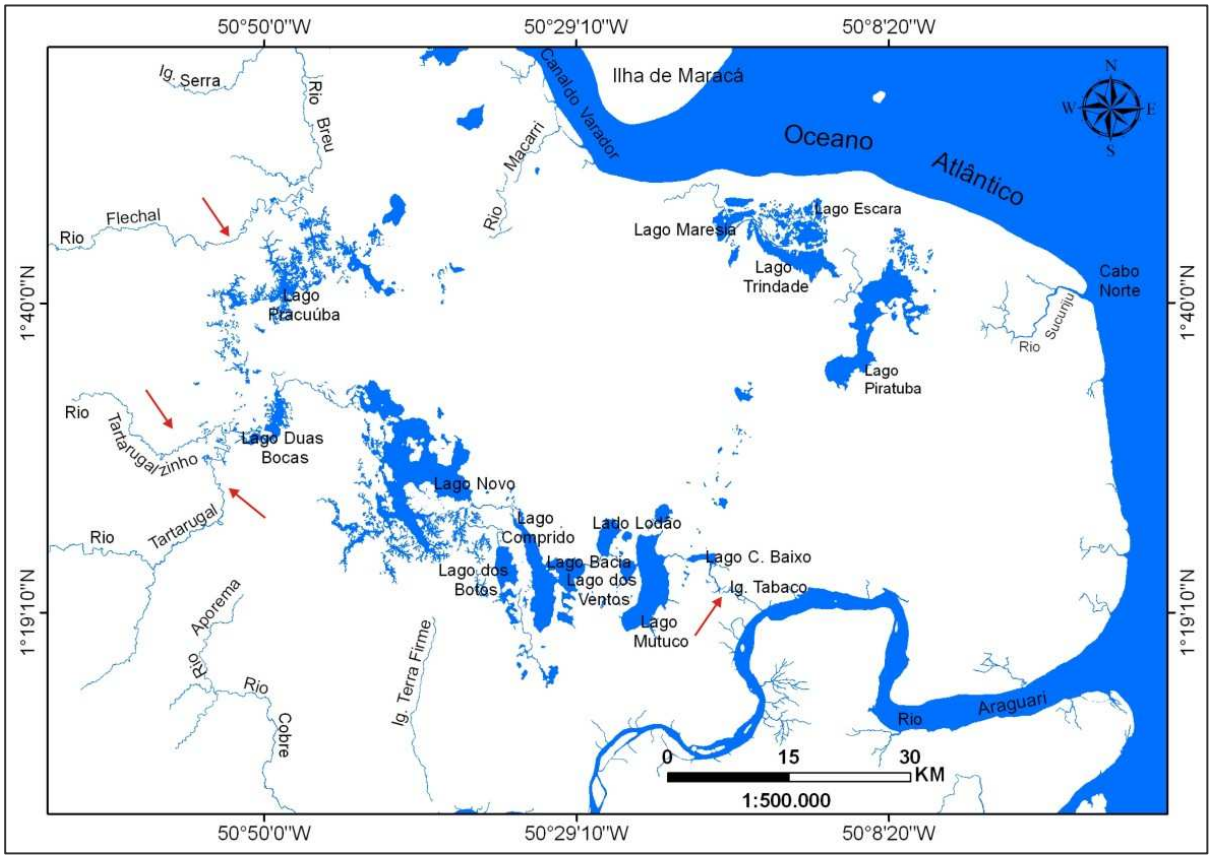


Figura 3.7 – Principais provedores fluviais dos lagos do cinturão ocidental e meridional. As setas em vermelho a oeste indicam os rios Tartarugalzinho e Tartarugal Grande que drenam os lagos Duas Bocas e Novo; a seta em vermelha a leste indica a entrada de água do rio Araguari pelo do Igarapé Tabaco.

Muito embora seja bem difundido pela literatura sobre a importância das drenagens como agentes construtores da paisagem, ressaltam-se ainda as características de seus padrões, com informações relevantes sobre o meio físico, em especial o geológico e o geomorfológico.

Lima (2001) ressaltou que as drenagens tem um importante significado para os intérpretes de produtos de sensoriamento remoto, pois além da facilidade de sua identificação em tais produtos, fornece informações significativas sobre os tipos de terreno por onde flui, em particular os terrenos caracterizados por relevos fracos ou arrasados, como ocorre em planaltos rebaixados e planícies, entre outros terrenos. Os lineamentos são estruturas geológicas que podem ser muito bem mapeados pelo sensoriamento remoto.

Os lagos da área de estudo, com suas formas e orientações variadas, de acordo com Silveira & Santos (2006) mostram uma orientação dos lineamentos regionais, com direções predominantes norte-sul, nordeste-sudoeste e leste-oeste. Os Lagos dos Ventos, Mutuco e Comprido de Baixo, mostram uma orientação nitidamente leste-oeste e norte-sul.

Na área de estudo foram identificados algumas feições lineares paralelas e contínuas, condizentes aos lineamentos tectônicos regionais do Amapá (Figura 3.8). Contudo, o objetivo aqui, não é mapear os lineamentos da área de estudo, bem como afirmá-los, e o termo lineamento aqui é entendido como uma feição superficial que difere do padrão adjacente e presumidamente reflete fenômenos de sub-superfície, expressando-se na topografia pela morfologia de drenagens (Amaro, 1998). As feições lineares mapeados são de relevo negativo e apesar das evidências que os relacionam com a deformação frágil da região, não necessariamente representam estruturas tectônicas, sendo necessária a aplicação de métodos geofísicos para confirmar quais das feições lineares realmente representam fenômenos neotectônicos. Por isso, objetivamos o mapeamento das feições topográficas lineares contínuas na superfície da área e analisamos essas feições como indicações para futuros estudos na área da geofísica.

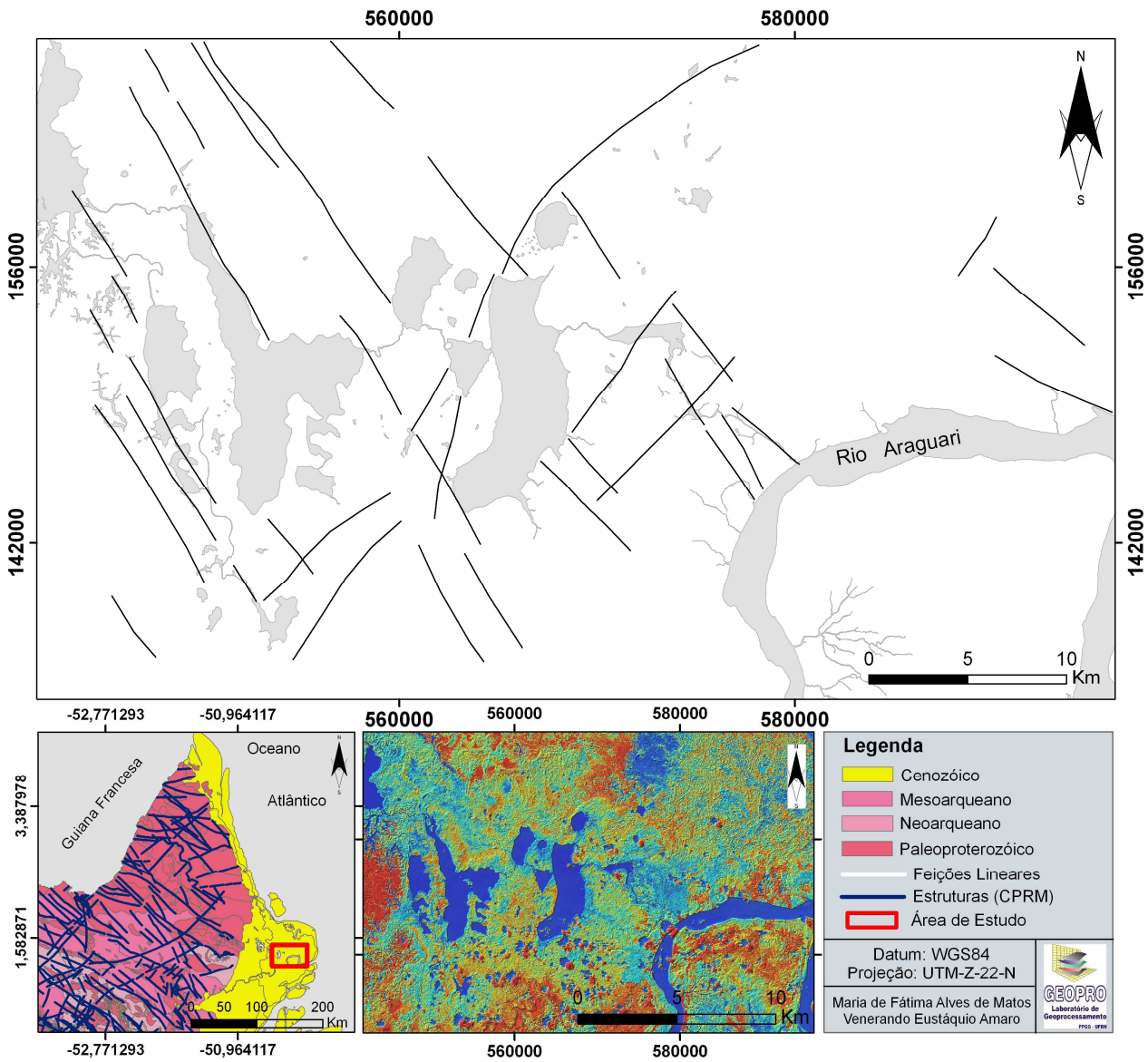


Figura 3.8 – Feições topográficas lineares contínuas mapeadas na área dos lagos. Imagem de satélite LANDSAT ETM7/2000: B4 com filtro KIRSCH 3x3 (AMARO, 1998).

3.2.4 Características Físicas e Químicas dos Lagos e Igarapé Tabaco

Os lagos do Cinturão Lacustre Meridional são caracterizados por sedimentação pelítica (Silveira & Santos, 2006), com elevadas taxas de matéria orgânica em decomposição e morfologia de fundo plano.

Conforme Santos (2008) o trecho desde a desembocadura do igarapé Tabaco até a entrada do Lago Mutuco é caracterizado pela predominância de silte a silte arenoso, sendo marcado por um percurso no médio curso do igarapé Tabaco por silte argiloso

(Figura 3.9) apresentado concentração de matéria orgânica acima de 30%, no mesmo trecho.

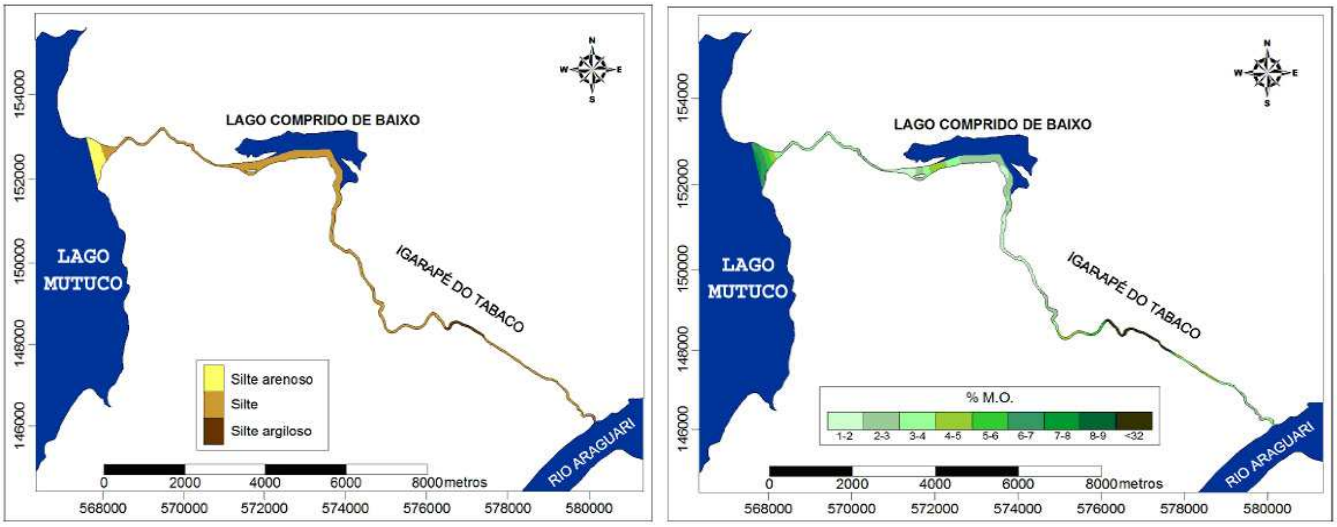


Figura 3.9 - Classificação dos tipos de sedimentos do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco. Classificação conforme Shepard para tipos de silte. **Fonte**: Santos (2008).

De acordo com as análises de Santos (2008) o médio curso do igarapé, apresentou altos teores de matéria orgânica associado ao material silte argiloso, semelhante as descrições de Silveira & Santos (2006) que revelou no médio curso do igarapé um substrato de argila, sotoposta a uma camada de turfa. Esse trecho está na área que se apresenta com as mais baixas cotas topográficas, presença de gado bubalino e as margens desprovidas de vegetação densa estão contribuindo com o processo de assoreamento e conseqüentemente podem indicar que o médio curso do igarapé Tabaco apresenta baixa energia.

Um fenômeno fundamental na dinâmica dos sistemas lacustres que Wetzel (1983) destaca é a estratificação térmica da coluna d'água, como resultado da má distribuição do calor solar absorvido pelas camadas superficiais para o restante da massa d'água, se desenvolve uma camada superficial menos densa e temperatura relativamente uniforme e quente (epilímnio), uma porção intermediária (metalímnio) caracterizada por uma marcante descontinuidade de temperatura (termoclina), e uma camada de águas mais densas com temperaturas relativamente uniformes e mais frias (hipolímnio) (Figura 3.10). A persistência dessa estratificação térmica dos lagos depende de vários fatores

como o clima, temperatura, salinidade da água, área e profundidade do lago, e regime de ventos (Esteves, 1998).

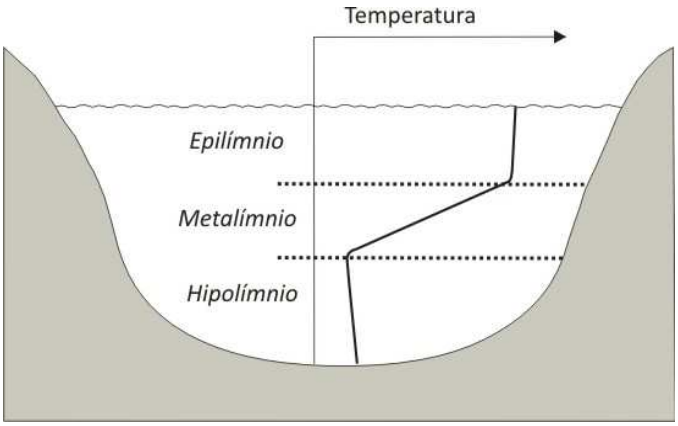


Figura 3.10 – Representação esquemática da estratificação térmica da coluna d'água de um lago (Petroleum Geoscience Technology, 2008).

A troca de fluxos (águas e sedimentos) entre os lagos ocorre pela conectividade dos lagos e devido o transbordamento dos canais na planície de inundação, principalmente no período de cheia, aumentando assim a quantidade de carga sedimentar do lago Comprido de Baixo e Lago Mutuco e conseqüentemente suas características morfológicas, assim como limnológicas.

Comparando informações de Dias (2007) e Takiyama *et al.* (2008), a partir dos parâmetros medidos durante o período chuvoso (junho de 2005 e maio de 2008 respectivamente), pôde-se constatar que entre o ponto PA-1 e PA-2 no geral, a diferença dos valores dos parâmetros hidrodquímicos estudados não são tão elevados, mas porém, são significativos em relação a dimensão e profundidade deste lago (Figura 3.11).

Conforme Takiyama *et al*. (2008) a parte norte do Lago Mutuco, PA-1, como já foi descrito acima, se apresenta com características físico-químicas diferentes do PA-2.

Apresenta baixa transparência d'água (0,40cm), e maior turbidez (2.3 NTU), provocado pela maior concentração de sedimentos em suspensão na água, uma vez que este autor analisou também a concentração de sólidos em suspensão de 11mg/L para o PA-1 e 9mg/L para o PA-2.

A variação da temperatura da água é relativamente baixa para os dois pontos: de acordo com os parâmetros de Dias (2007) que apresentou os mesmo valores 30,3^{0}C e

com relação aos parâmetros de Takiyama *et al*. (2008) apresentou pouca variação, 28.4^{0}C e 28.8^{0}C; já os valores de turbidez (3.2 NTU), condutividade elétrica (42 microS/cm) são mais elevados no PA-1.

As profundidades do Lago Mutuco, apesar de mostrarem-se com variações entre os anos, em 2005 (Dias, 2006) o lago mostrou-se com maior profundidade, nos dois pontos: 2,2 m e 2,8 m; em 2008 o lago mostrou uma redução do nível de água: 2,1 m e 2,3 m.

A partir dessas características físico-químicas, associadas à resposta espectral da imagem do satélite CBERS2CCD, com a aplicação do método de NDWI e usando as combinações das bandas espectrais, pôde-se identificar duas regiões de diferente comportamento espectral de águas (Figura 3.11).

Esse comportamento espectral detectado pelas imagens dos sensores (Figura 3.12) para os demais anos demonstram que esse comportamento se repete em outros anos, na série temporal: 1999 (outubro), 2000 (novembro), 2003 (novembro) e 2005 (setembro).

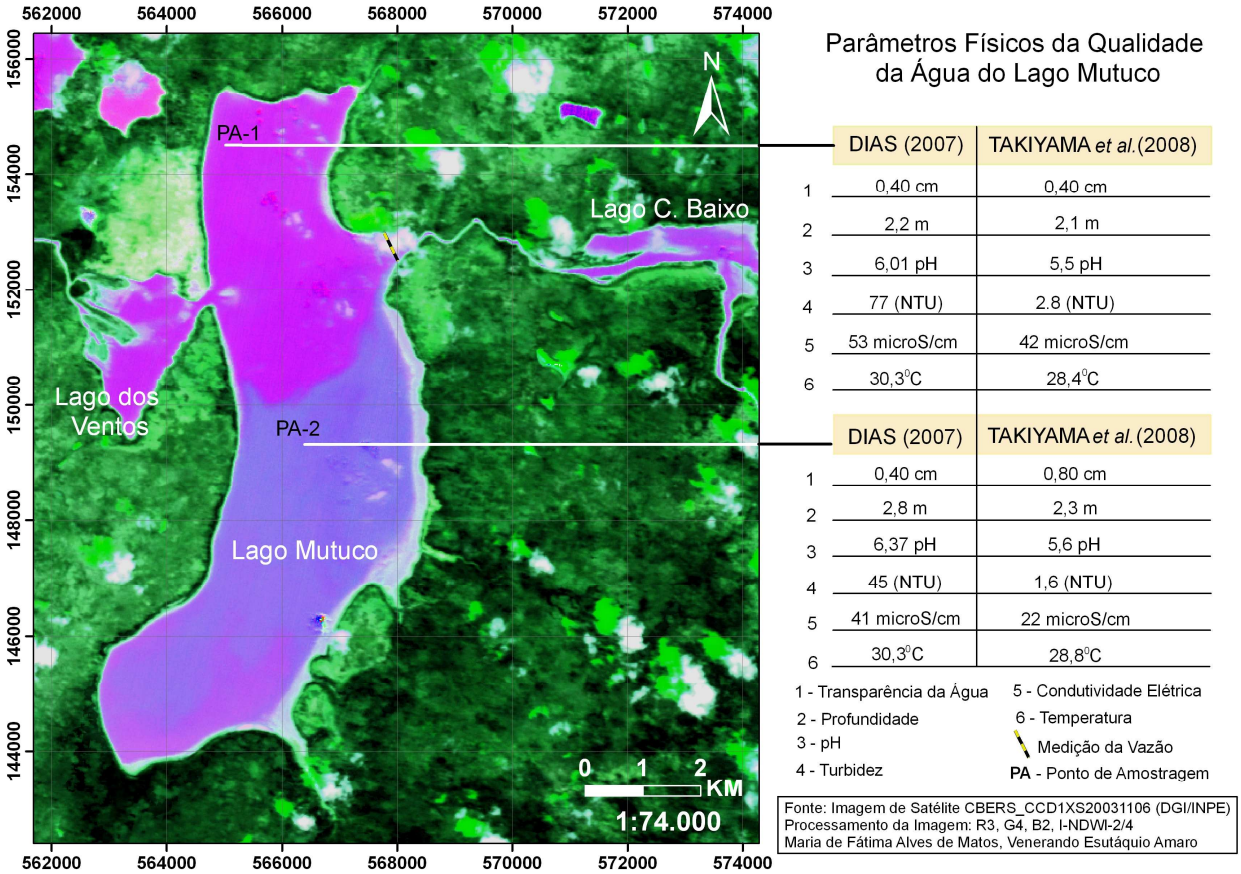


Figura 3.11 – Espacialização temporal dos parâmetros físicos da qualidade da água do Lago Mutuco (Dias, 2007; Takiyama *et al*, 2008).

Os componentes que afetam o comportamento espectral da água são basicamente classificados em três amplas categorias (Novo, 2001): organismos vivos (fitoplâncton, zooplancton e bacterioplancton); partículas em suspensão e substância orgânicas dissolvidas.

Observa-se pela análise das imagens multiespectrais (Figura 3.12) entre os anos de 1999 a 2005, que há variação na cor da água do Lago Mutuco, considerando que o mesmo tratamento foi aplicado para as imagens dos diferentes sensores orbitais.

Pelas características do Lago Mutuco conforme foi observado na figura 3.11, a parte sul é mais profunda, pela resposta espectral de uma zona mais atenuada da cor da água, contudo, é menos turva.

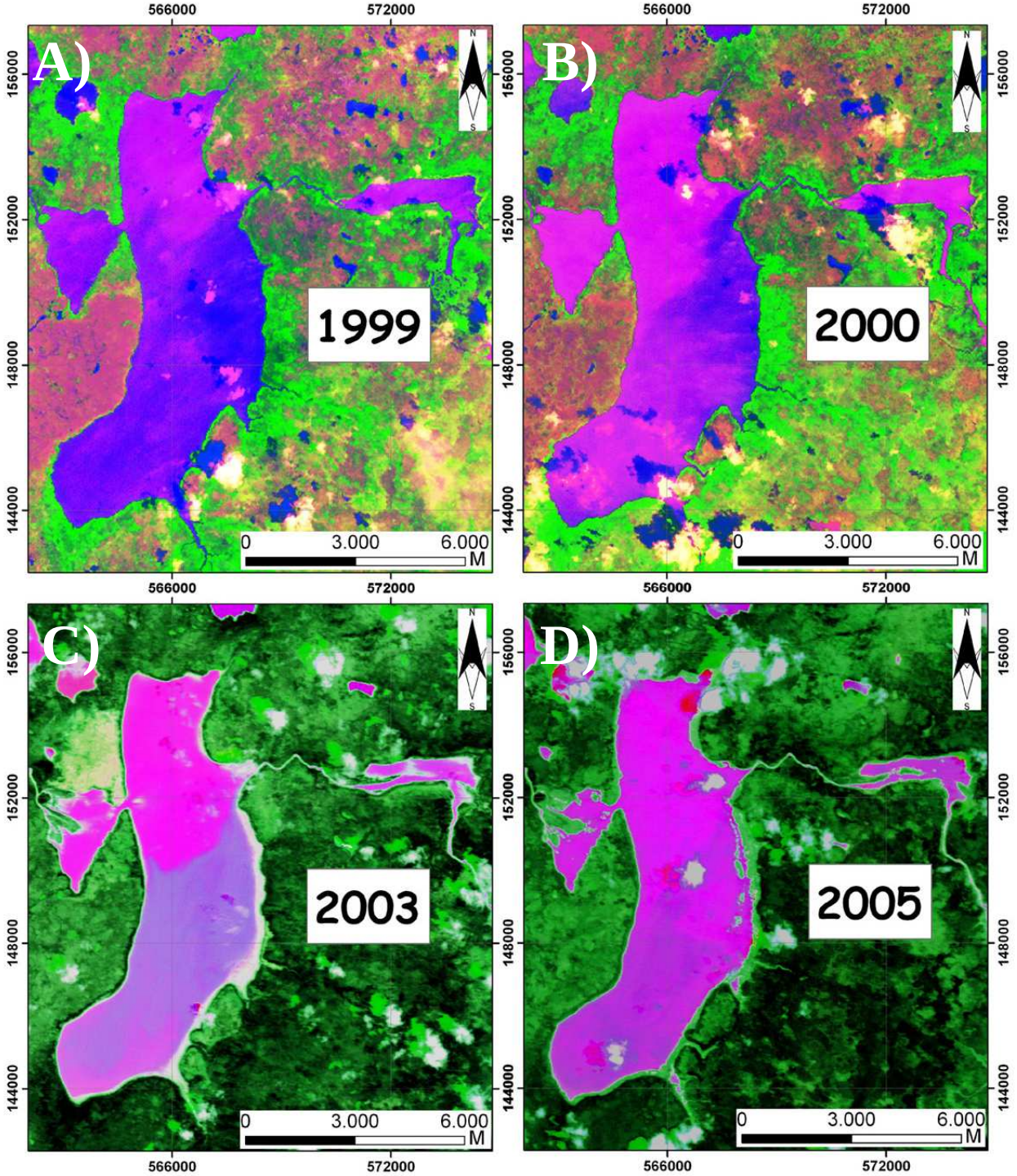


Figura 3.12 – Análise multiespectral do Lago Mutuco com base em imagens de satélites LANDSAT e CBERS: **A)** Imagem do satélite LANDSAT ETM7 31-10-1999, com tratamento: R3G4B-NDWI2-4; **B)** Imagem do satélite LANDSAT ETM7 18-11-2000, com tratamento: R3G4B-NDWI2-4; **C)** Imagem do satélite CBERS2CCD 06-11-2003, com tratamento: R3G4B-NDWI2-4; **D)** Imagem do satélite CBERS2CCD 12-09-2005, com tratamento: R3G4B-NDWI2-4

4 ANÁLISE DOS DADOS HIDRODINÂMICOS DOS LAGOS E DO IGARAPÉ TABACO

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este Capítulo apresenta os resultados das características hidrodinâmicas da área de estudo, com base nos levantamentos de descarga líquida: vazão, velocidade e intensidade do fluxo, direção da corrente, marés e intensidade dos ventos, nos períodos de estação chuvosa e seca.

Para região da costa do Amapá, o mês de maio (mês chuvoso) é um período caracterizado pelas altas taxas de descarga hídrica, atuação dos ventos alísios provenientes de nordeste com velocidades próximas de 7 m/s, e maior aporte e troca de águas e sedimentos para dentro do sistema de lagos, devido as características de sistema aberto. No mês de outubro, período mais seco, o regime hidrodinâmico da área muda, com menores taxas hídricas; contudo, a forte permanência dos ventos, com propagação de velocidades próximas de 7 m/s, porém, nesse período os ventos se apresentam com maior regularidade durante as 24 horas do dia.

Com o período menos chuvoso, os níveis de águas dos lagos reduzem consideravelmente a ponto de expor extensas feições morfológicas que ficam submersas durante as cheias.

As propriedades de vazão, velocidade do fluxo, direção da corrente, assim como as demais características da descarga líquida de determinado ambiente, são importantes fontes de conhecimento do ponto de vista da hidráulica, mas também para as linhas de atuação que envolve a sedimentologia, a geomorfologia e o planejamento regional (Suguio & Bigarella, 1990).

4.1.1 Análise da Descarga Líquida

Entende-se por vazão ou descarga líquida de um rio o volume de água que passa através de uma seção transversal na unidade de tempo, em geral um segundo (Santos *et al*., 2006). Com base nesta conceituação, há dois métodos de coleta: o método convencional e o método acústico.

A medição acústica originou-se das técnicas oceanográficas, veio adicionalmente corrigir algumas deficiências e imprecisões dos métodos convencionais, como dos molinetes, com relação à determinação da direção da velocidade e a avaliação da profundidade, e ainda avaliar as velocidades médias reais em escoamentos turbulentos e instáveis onde a direção da velocidade nem sempre é paralela ao eixo e sua intensidade pode oscilar (Santos *et al*., 2001). Embora, apesar do método acústico apresentar valiosa precisão, há situações em que o uso dos métodos tradicionais ainda é mais eficiente, como por exemplo, para rios muito rasos. O método acústico nas últimas décadas vem sendo empregado com maior freqüência na região amazônica, e no Amapá desde 2001, e adaptações metodológicas de Kosuth & Filizola (1998) e Silva & Kosuth (2001).

A sazonalidade é fator determinante para o regime hidrodinâmico da região de estudo, assim também como para toda planície de inundação amazônica de modo geral. Nos primeiros seis meses do ano (de janeiro a junho), as condições hidrológicas (fluviais e pluviais) atingem altos índices em todo o sistema amazônico, proporcionando variações significativas nas características das áreas dos ambientes que sofrem influências dos pulsos de inundação dos principais tributários. Nessas condições, como se pode observar na tabela 4.1, há aumento da área (m²) da seção, maior largura (m) da seção e maior profundidade (m) do canal e, conseqüentemente, diante dessas condições, as vazões são maiores no período chuvoso conforme mostra as Figuras de 4.1 a 4.3.

Tabela 4.1 – Comportamento de áreas em relação ao período sazonal (maio e outubro).

Local	**Período Chuvoso – maio de 2008**			**Período Seco – outubro de 2008**		
	Área Total (m²)	Largura da Seção (m)	Profund. (m)	Área Total (m²)	Largura da Seção (m)	Profund. (m)
Lago Mutuco	418	80	5,5	150	62	2,36
Igarapé Tabaco -1	391	49	10,10	283	40	9,12
Igarapé Tabaco -2	336	42	10,67	297	40	10,11

As Figuras de 4.1. a 4.3 mostram as médias das vazões para as seções transversais do Lago Mutuco e Igarapé Tabaco, como se observa as médias são maiores no período chuvoso, no período mais seco, as médias reduzem consideravelmente, sendo que as na Figura 4.1 as médias da vazão do Lago Mutuco para o período seco, a vazão mínima foi de 3 m³/s, no início da maré vazante; na Figura 4.2 a média do período seco do Igarapé Tabaco a próximo entrada do Lago Comprido de Baixo mostrou-se com -2 m³/s no início da maré enchente; e, na seção da foz do Igarapé Tabaco (Figura 4.3) a vazão mínima do período seco foi de 3 m³/s no início da maré vazante, os mesmo não sendo visíveis pela escala das figuras. As vazões máximas para o período chuvoso para as seções foram: 289 m³/s, 297 m³/s e 379 m³/s; para o período seco foram: 41m³/s, 79 m³/s e 105 m³/s, respectivamente para Lago Mutuco, próximo a entra do Lado Comprido de Baixo e foz do Igarapé Tabaco. Em relação as vazões mínimas, as seções mostraram no período chuvoso: 268 m³/s, 207 m³/s e 139 m³/s; no período seco foi de: 1 m³/s, 3 m³/s e 3 m³/s, respectivamente para Lago Mutuco, próximo a entra do Lado Comprido de Baixo e foz do Igarapé Tabaco.

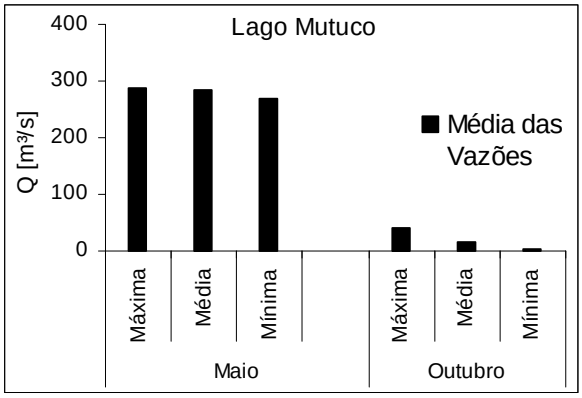


Figura 4.1 – Média das vazões do Lago Mutuco em relação ao período sazonal.

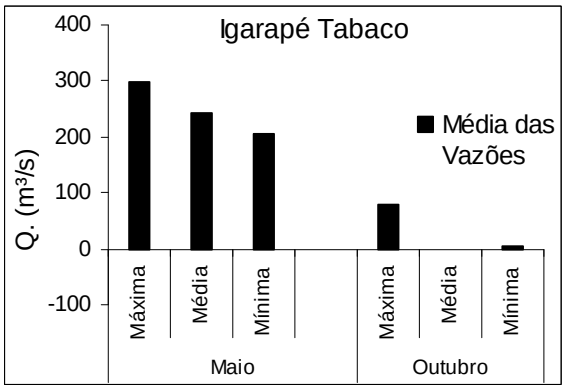


Figura 4.2 – Média das vazões do Igarapé Tabaco, próximo a entrada do Lago C. Baixo, em relação ao período sazonal.

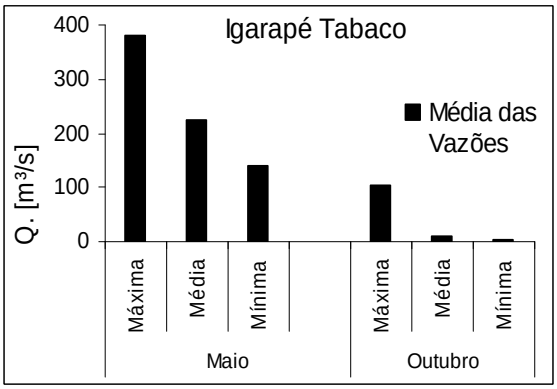


Figura 4.3 – Média das vazões do Igarapé Tabaco, próximo da foz, em relação ao período sazonal.

4.1.2 Relação entre Vazão e Variação da Maré

A relação entre variação da curva de maré e a vazão dos três locais medidos, apenas o Lago Mutuco não foi possível obter dados de maré no período chuvoso, sendo analisada a relação somente para o período seco (Figura 4.5). Para o Igarapé Tabaco, podemos avaliar o comportamento da vazão em relação à maré no período chuvoso e no período seco (Figuras de 4.6 a 4.7).

A relação da vazão com a maré oferece uma boa avaliação do comportamento hidrodinâmico, quanto a competência e capacidade de transporte de sedimentos em suspensão durante os eventos de maré. As observações das Figuras 4.5 e 4.6 mostram a relação entre a vazão e a variação da maré no período chuvoso para as duas seções do Igarapé Tabaco, que em função da forte vazão nesse período o fluxo é sempre no mesmo sentido.

No período seco, com a redução da intensidade das vazões há inversão de fluxo, como se observa nas Figuras 4.4, 4.7 e 4.8. Observa-se nas figuras com a inversão do fluxo, a caracterização de vazões negativas (maré enchente) e vazões positivas (maré vazante).

As Figuras 4.9 e 4.10 mostram dados de vazão da campanha feita em novembro de 2005 (Takyama *et al.*, 2005) para os mesmos locais de medição das seções transversais do Igarapé Tabaco. Com pode ser observado, as médias das vazões para o período seco é similar ao de 2008, tanto para a seção próximo a entrada do Lago Comprido de Baixo, quanto da seção próxima da foz.

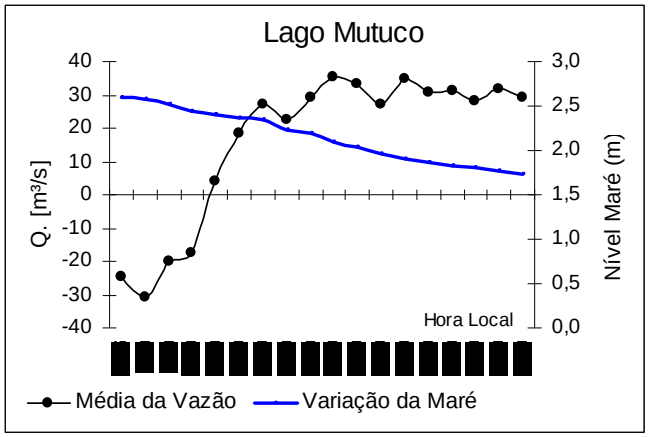


Figura 4.4 - Média da vazão do Lago Mutuco e curva de maré no período seco em função da hora do dia (24/10/2008).

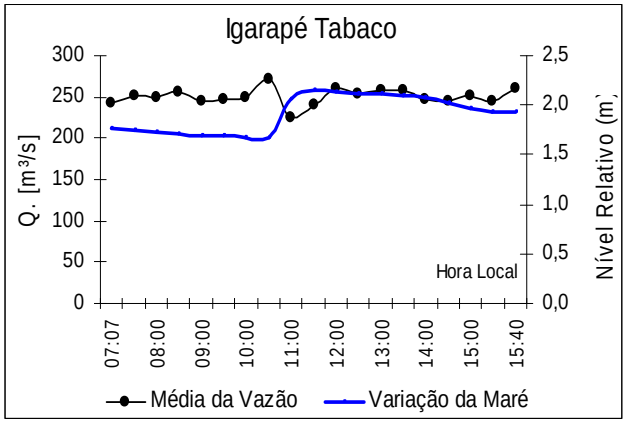


Figura 4.5 – Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, e curva a maré no período chuvoso em função da hora do dia (21/05/2008).

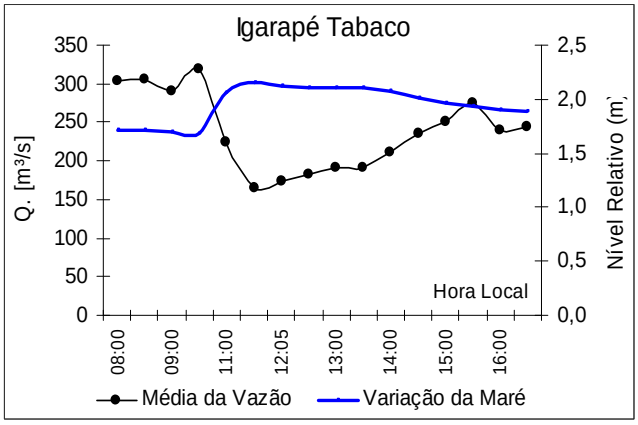


Figura 4.6 – Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da foz, e curva a maré no período chuvoso em função da hora do dia (21/05/2008).

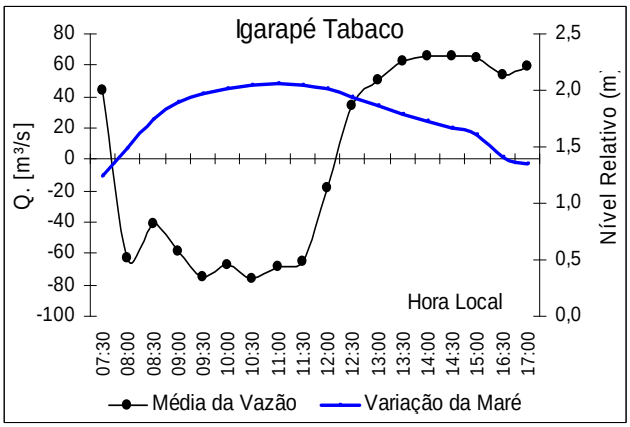


Figura 4.7 – Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, e curva a maré no período seco em função da hora do dia (25/10/2008).

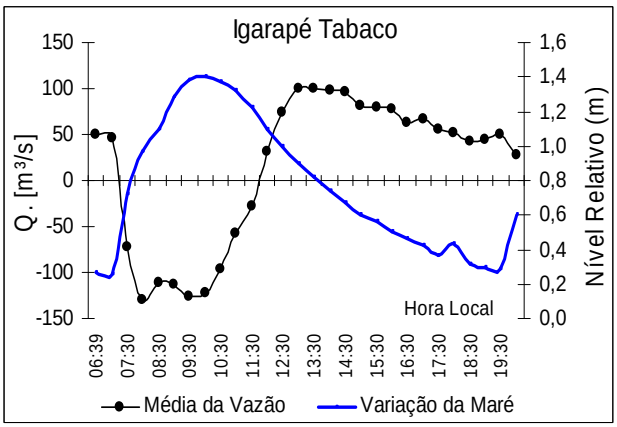


Figura 4.8 – Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da foz, e curva de maré no período seco em função da hora do dia (25/10/2008).

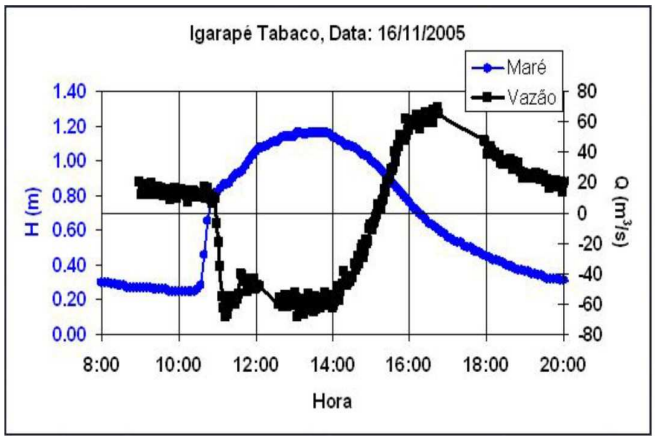


Figura 4.9 – Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, e curva a maré no período seco em função da hora do dia (16/11/2005). **Fonte**: dados cedidos por Takiyama *et al*., (2005).

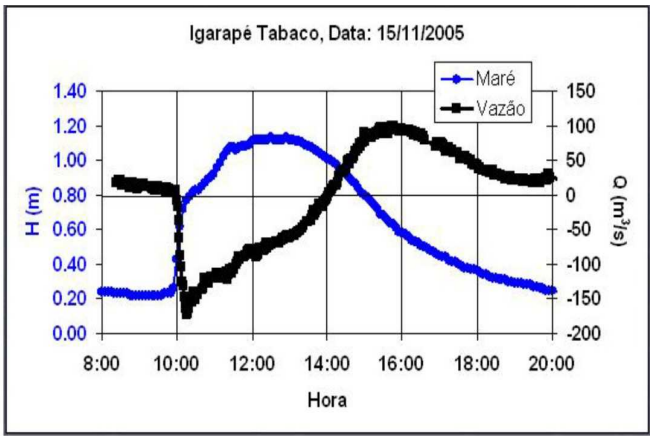


Figura 4.10– Média da vazão do Ig. Tabaco, próximo da foz, e curva de maré no período seco em função da hora do dia (15/11/2005). **Fonte**: dados cedidos por Takiyama *et al*., (2005).

4.1.3 Intensidade do Fluxo: velocidade, vazão, direção da corrente e formas da seção

A turbulência das águas e a velocidade do fluxo relacionam-se com o trabalho que o rio e/ou canal fluvial podem executar, quais sejam: erosão, transporte e deposição dos sedimentos (Suguio & Bigarella, 1990). Dessas relações, é fator essencial o conhecimento dos componentes de velocidade do fluxo em relação à vazão, e intensidade do sinal, as principais direções das correntes e as formas das seções transversais do Lago Mutuco e do Igarapé Tabaco.

As velocidades do fluxo variam de um período para o outro, entre os lagos e o Igarapé, e entre a intensidade dos valores extremos, como pode ser verificado nas figuras 4.11 a 4.13. Os valores extremos observados mostram variações na velocidade do fluxo nas seções do Lago Mutuco e Igarapé Tabaco. A velocidade máxima observada em maio para o Lago Mutuco (Figura 4.11) foi de 1,173 m/s com direção preferencial de nordeste (Figura 4.12), e no período chuvoso foi de 0,692 m/s e direções variando de nordeste-sudoeste (Figura 4.13). A velocidade mínima observada foi de 0,006 m/s e 0,004 m/s, respectivamente para o período seco.

Nas seções do Igarapé Tabaco, as velocidades máximas do fluxo são próximas de 2 m/s (Figuras 4.13 e 4.14) no período chuvoso e direções preferenciais de nordeste-sudeste, respectivamente (Figuras 4.18 e 4.19). Para o período seco, as velocidades máximas foram de 0,6 m/s e 0,7 m/s, e direções preferenciais de sudeste-noroeste e sudeste-noroeste, respectivamente (Figuras 4.20 e 4.21). As velocidades mínimas observadas foram de 0,005 m/s e 0,013 m/s, e 0,009 m/s e 0,009 m/s.

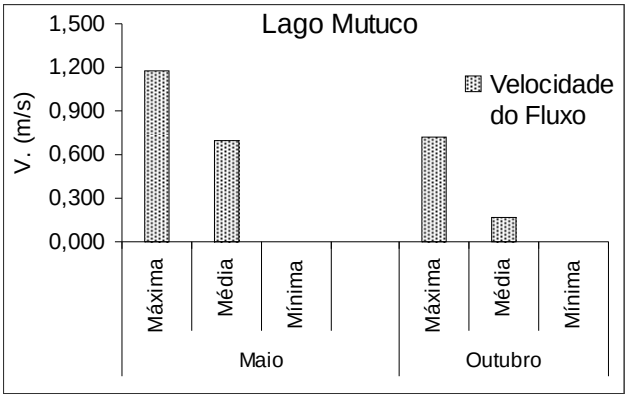


Figura 4.11 – Média da velocidade do fluxo para os períodos sazonais do Lago Mutuco.

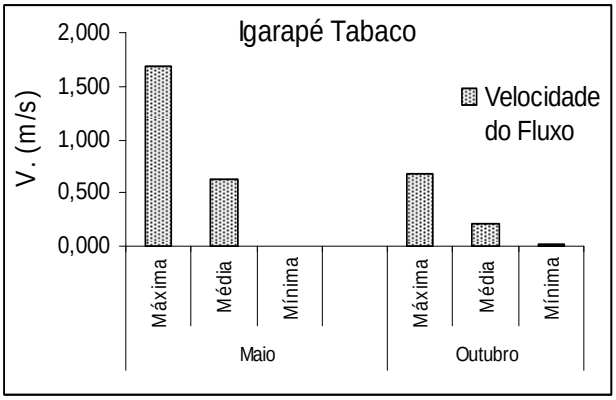


Figura 4.12 - Média da velocidade do fluxo para os períodos sazonais do Igarapé Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo.

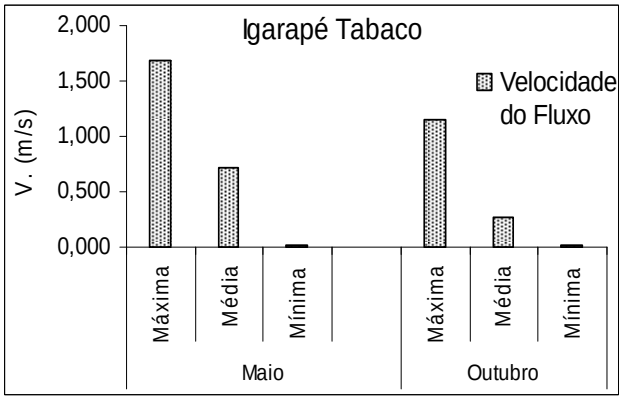


Figura 4.13 - Média da velocidade do fluxo para os períodos sazonais do Igarapé Tabaco, próximo da foz.

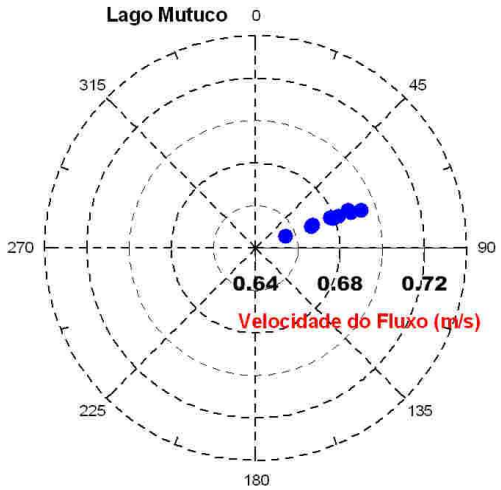


Figura 4.14 – Direção e intensidade da corrente do Lago Mutuco no período chuvoso.

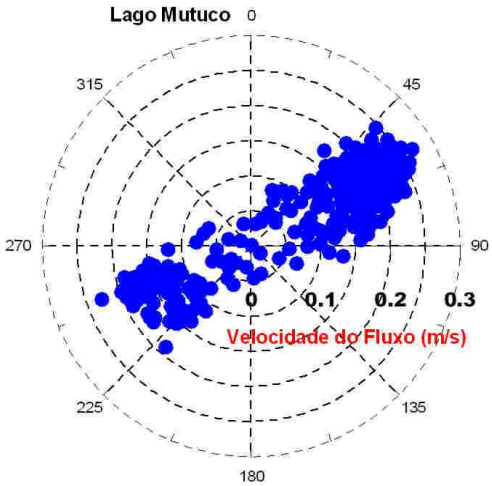


Figura 4.15 - Direção e intensidade da corrente do Lago Mutuco no período seco.

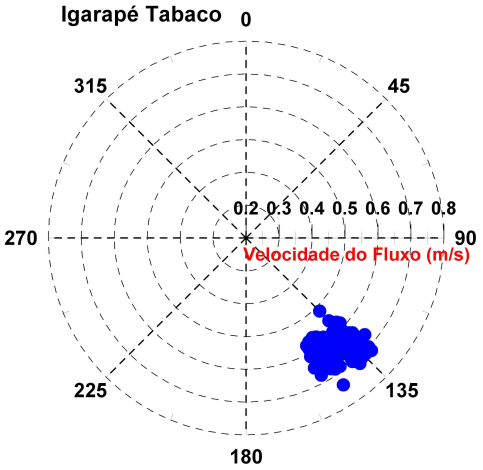


Figura 4.16 - Direção e intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, no período chuvoso.

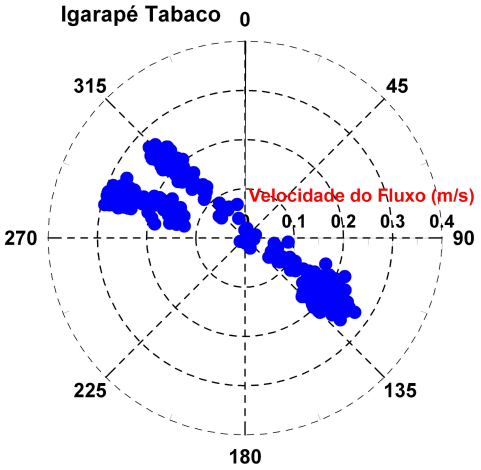


Figura 4.17 - Direção e intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo, no período seco.

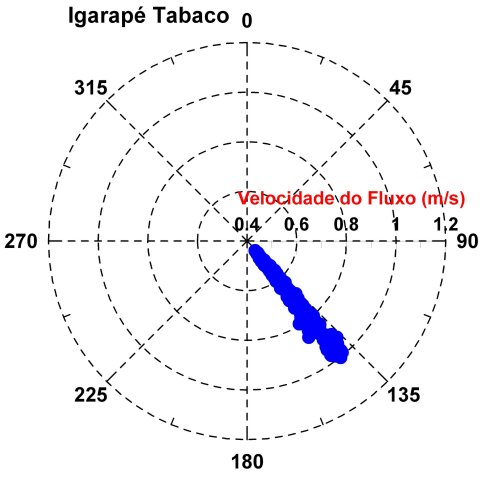


Figura 4.18 - Direção e intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, próximo da foz, no período chuvoso.

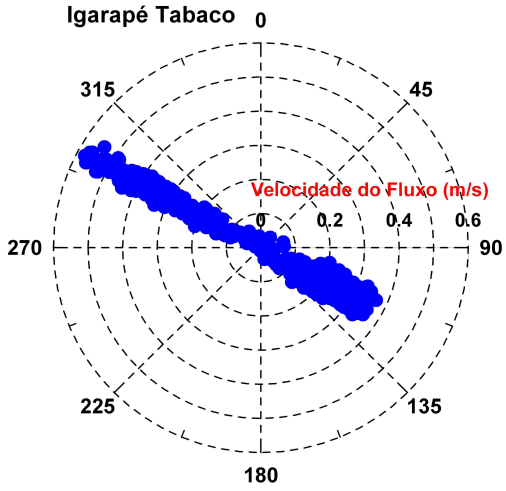


Figura 4.19 - Direção e intensidade da corrente Igarapé Tabaco, próximo da foz, no período seco.

Com relação à morfologia de fundo, observada pelos perfis acústicos, de intensidade do fluxo e de intensidade do sinal, na seção transversal do Lago Mutuco dos dois períodos sazonais, mostrou que o lago possui a forma de fundo mais plano nas margens com uma suave zona mais profunda na parte central deste lago, como mostra a figura 4.20.

No período chuvoso as maiores intensidades do fluxo (indicado pela seta de cor vermelha na Figura 4.20a) estão na parte central da seção transversal do lago desde a superfície e próximo ao fundo; para o período seco, como mostra a Figura 4.20b o mesmo ocorre, onde as maiores intensidades do fluxo estão distribuídas na parte central do lago.

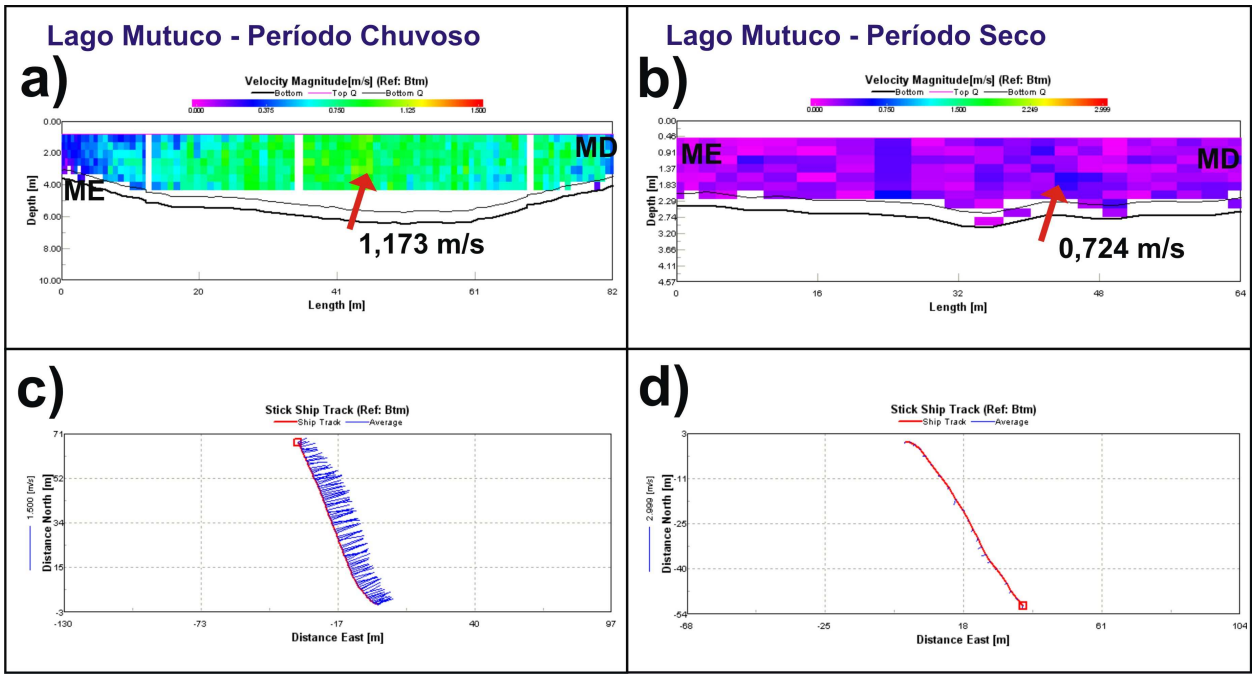


Figura 4.20 – Perfis acústico de intensidade do fluxo da seção transversal do Lago Mutuco nos períodos: chuvoso e seco. **a)** Corresponde à intensidade da velocidade no período chuvoso; **b)** Corresponde à intensidade do fluxo no período seco. **c)** e **d)** deslocamento da embarcação e direções médias da corrente, respectivamente para chuvoso e seco. As setas em vermelho indicam as maiores intensidade do fluxo da seção transversal do Lago Mutuco.

As seções transversais do Igarapé Tabaco, que se apresenta com formas triangulares e com permanência do canal principal na zona central

Pela análise das formas da seção e da intensidade da velocidade do fluxo e sinal, é possível distinguir tipos de movimentos de energia da água. E dada às de características de forma e intensidade, o fluxo se caracteriza como turbulento. Suguio & Bigarella (1990) advogam que o fluxo turbulento, normalmente é o mais encontrado nos sistemas fluviais. Segundo esses autores, a distribuição da velocidade do fluxo e da turbulência é importante na definição dos processos deposicionais e erosivos das correntes e, conseqüentemente, nos tipos de sedimentos resultantes.

Dependendo da seção transversal do canal de medição e livre de obstáculos, as velocidades do fluxo, em geral podem concentrar-se na seção principal do canal. Contudo, como se pode observar que de uma margem (MD e ME) a outra dos canais e da superfície até o fundo das seções transversais de medição (Figuras 4.22a e 4.22d; 4.23a e 4.23d; 4.24a e 4.24d), as velocidades estão distribuída de forma heterogênea, logo, isso implica também na variação da descarga (vazão), a qual varia na seção vertical e transversal do canal, isso se deve à morfologia do lago e rio, que conforme explica

Carvalho (2008) o atrito da água nas margens e no fundo causa um efeito de retardamento da velocidade, devido a obstáculos ou irregularidades dos contornos rugosos das margens e fundo.

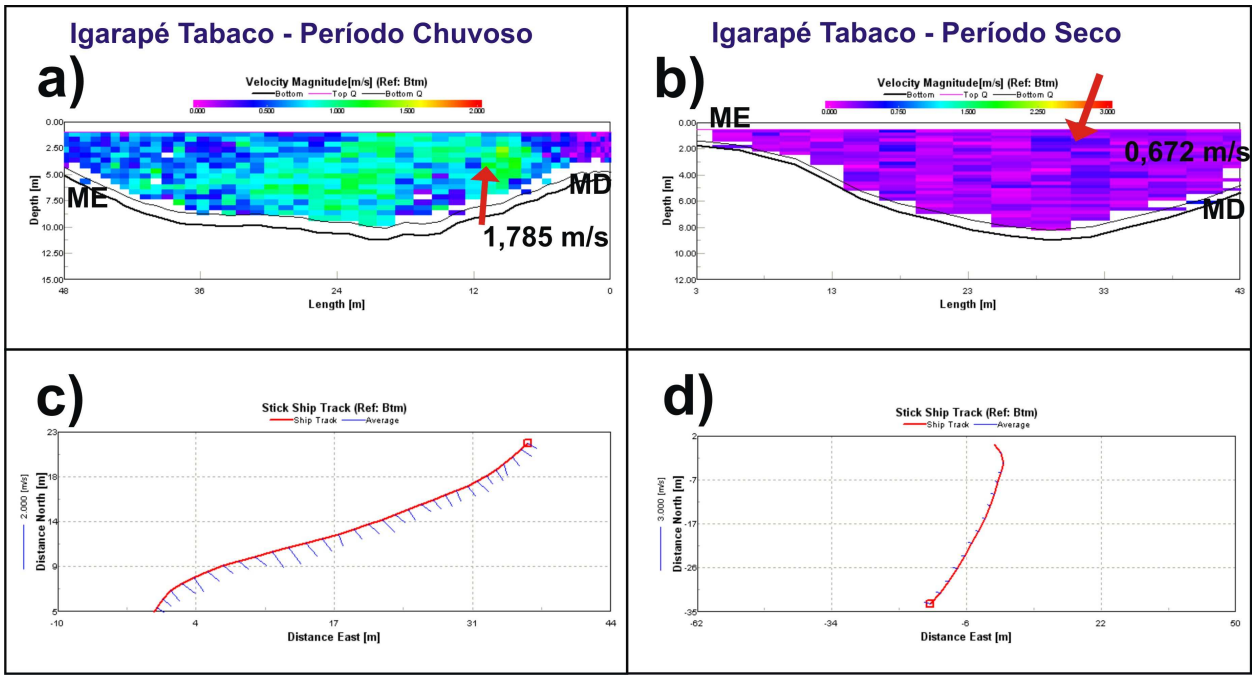


Figura 4.21 – Perfis de intensidade do fluxo da seção transversal do Igarapé Tabaco (a montante) nos períodos: chuvoso e seco. **a)** a **d)** Corresponde à intensidade da velocidade; **c)** e **d)** deslocamento da embarcação e direções médias da corrente, respectivamente para chuvoso e seco. As setas em vermelho indicam as maiores intensidade do fluxo da seção transversal do Igarapé Tabaco, próximo da entrada do Lago C. Baixo.

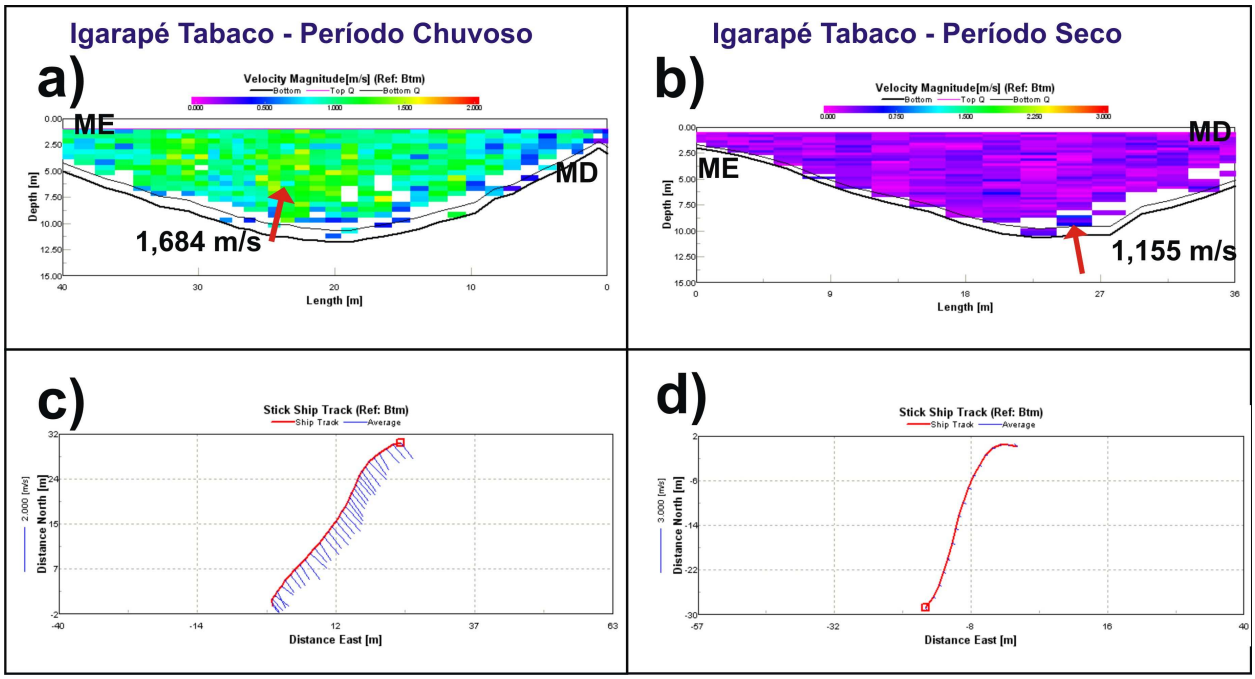


Figura 4.22 – Perfis de descarga líquida da seção transversal do Igarapé Tabaco (foz) nos períodos. **a)** Corresponde à intensidade da velocidade no período chuvoso; **b)** Corresponde à intensidade da velocidade no período seco; **c)** deslocamento da embarcação e direções médias da corrente, respectivamente para chuvoso e seco. As setas em vermelho indicam as maiores intensidade do fluxo da seção transversal do Igarapé Tabaco, próximo da foz.

A velocidade do fluxo da maioria dos rios e canais, que são controlados por níveis de base, aumenta para a jusante, assim como sua carga (Suguio & Bigarella, 1990), se caso a velocidade tender a diminuir em direção a jusante, ocorrerá à deposição, isso implica, na transferência de energia do canal-planície, explicado pela transferência da água para dentro da planície fluvial (Carvalho, 2008).

Por sua vez, a velocidade do fluxo depende não somente do volume de águas, como também, da declividade, da forma da seção, da rugosidade e viscosidade da água. Qualquer mudança na interação desses eventos, conseqüentemente haverá alteração nas condições de transporte, erosão e deposição.

Como se pode observar nos gráficos a seguir (Figuras 4.25 a 4.30), a descarga líquida aumenta tanto em seu fluxo quanto na vazão do Lago Mutuco para a foz do Igarapé Tabaco. Isso porque, na prática, os rios são controlados por importantes níveis de base regionais (Suguio & Bigarella, 1990). O ápice a velocidade do fluxo e vazão se dão principalmente, no período da enchente, como é observado nas figura de correlação das marés. As baixas variações das velocidades do fluxo e vazão observadas nas figuras de descarga líquida (Figuras 4.25 a 4.30) ocorre principalmente, mudança da maré de enchente para a maré de vazante.

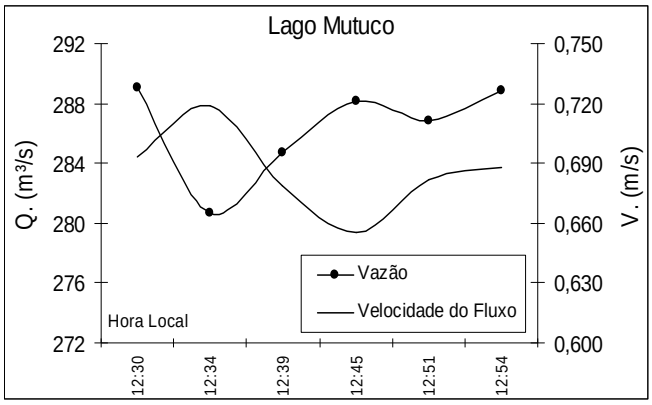


Figura 4.23 – Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Lago Mutuco no período chuvoso em função da hora do dia (17/05/2008).

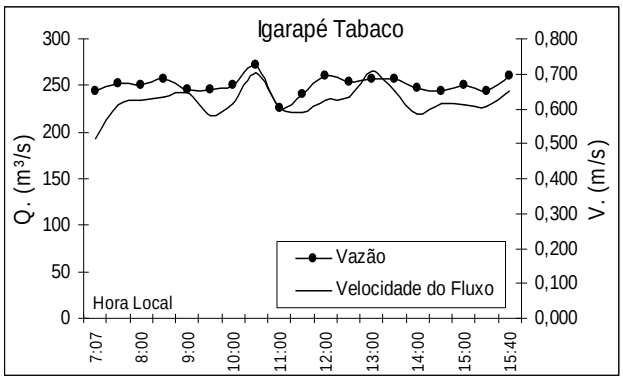


Figura 4.24 - Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Igarapé Tabaco, próximo a entrada do Lago C. Baixo, no período chuvoso em função da hora do dia (21/05/2008).

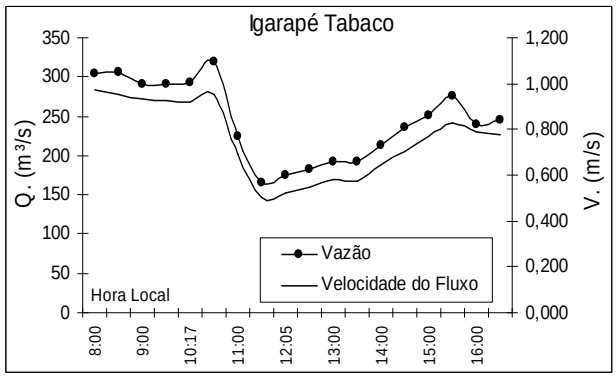


Figura 4.25 - Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Igarapé Tabaco, próximo a foz, no período chuvoso em função da hora do dia (21/05/2008).

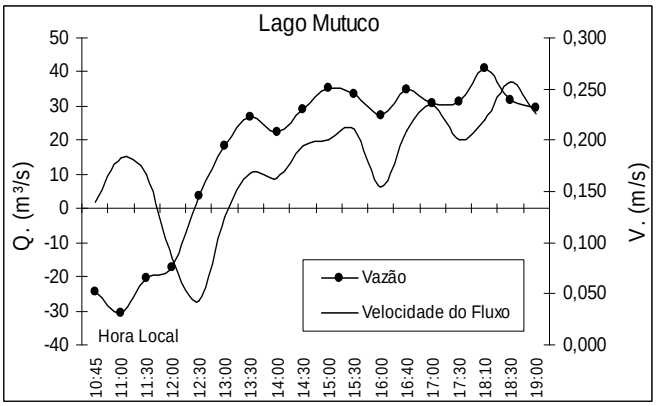


Figura 4.26 – Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Lago Mutuco no período seco em função da hora do dia (24/10/2008).

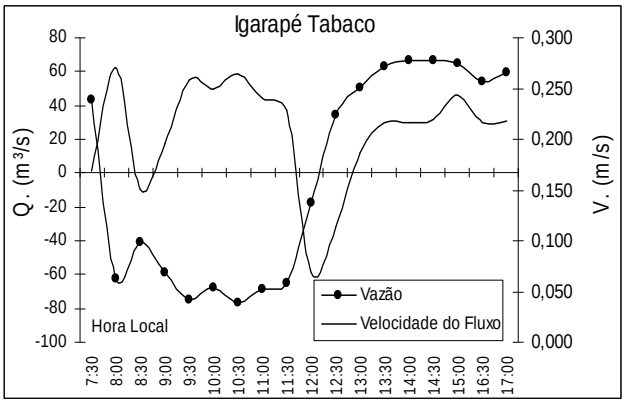


Figura 4.27 - Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Igarapé Tabaco, próximo a entrada do Lago C. Baixo, no período seco em função da hora do dia (25/10/2008).

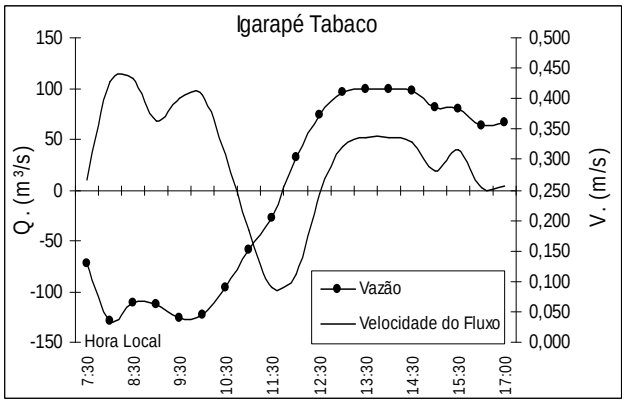


Figura 4.28 - Descarga Líquida: velocidade do fluxo e vazão do Igarapé Tabaco, próximo a foz, no período seco em função da hora do dia (25/10/2008).

Associadas as relações hidrodinâmicas de vazão, velocidade do fluxo, direções das correntes, as condições climáticas são tão importantes quantos estes para avaliação do

ambiente de modo geral. Pois a região é fortemente determinada pelas intempéries climáticas, que atuam na região com a presença dos ventos alísios e altas taxas precipitações.

O conjunto dessas relações, hidrodinâmicas e climáticas, bem como, associadas aos agentes físicos, como os geológicos, refletem o estado de arte da região, como se presencia na área de estudo, os sistemas lacustres. No mais, a ação antropogênica pode interagir nesse cenário e promover alterações e desequilíbrios no ambiente, e dependendo do grau de fragilidade a que este ambiente está relacionado, essa interação antropogênica pode estabelecer alterações irreversíveis ao sistema.

Os dados apresentados nas Figuras 4.29 a 4.32) mostram o comportamento dos ventos durante os dias das medições de descarga líquida dos lagos e igarapé.

A ação dos ventos interage no ambiente dinamizando os processos costeiros atuantes na região e contribuem no carreamento e transporte de sedimentos e ampliam a velocidade de fluxo das correntes de marés quanto ao alcance para a região dos lagos e planície de inundação.

Observa-se pelos gráficos, que os ventos do mês de maio para os dias das coletas (17-05 e 21-05), sofreram maior variação de velocidades e nas direções durante um dia. E os ventos de outubro para os dias das coletas (24-10 e 25-10), são mais regulares em velocidades e direções durante as 24 horas dos dois dias de medição.

A variação das velocidades e das direções dos ventos no mês de maio (Figura 4.33) se dá principalmente, pelo deslocamento da ZCIT que determina e controla os ventos, entre os hemisférios.

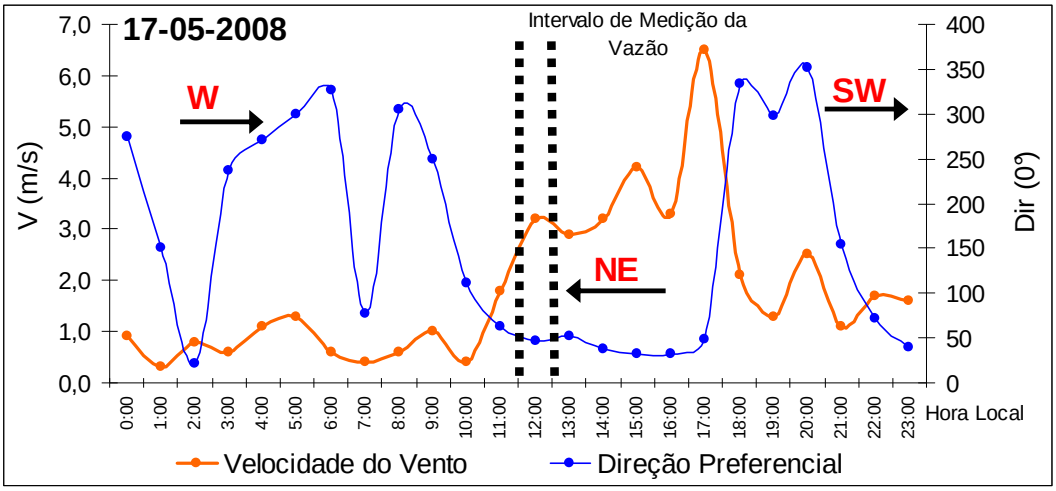


Figura 4.29 – Velocidades e direções preferências do vento do dia 17/05/2008. **Fonte**: Dados da estação meteorológica de Tartarugalzinho, disponível pelo site do INMET (www.inmet.gov.br).

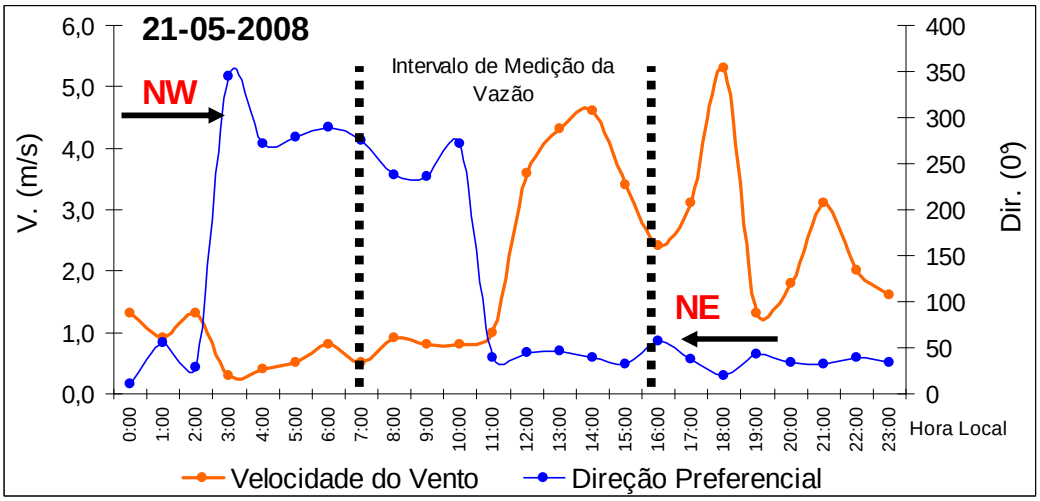


Figura 4.30 - Velocidades e direções preferências do vento do dia 21/05/2008. **Fonte**: Dados da estação meteorológica de Tartarugalzinho, disponível pelo site do INMET (www.inmet.gov.br).

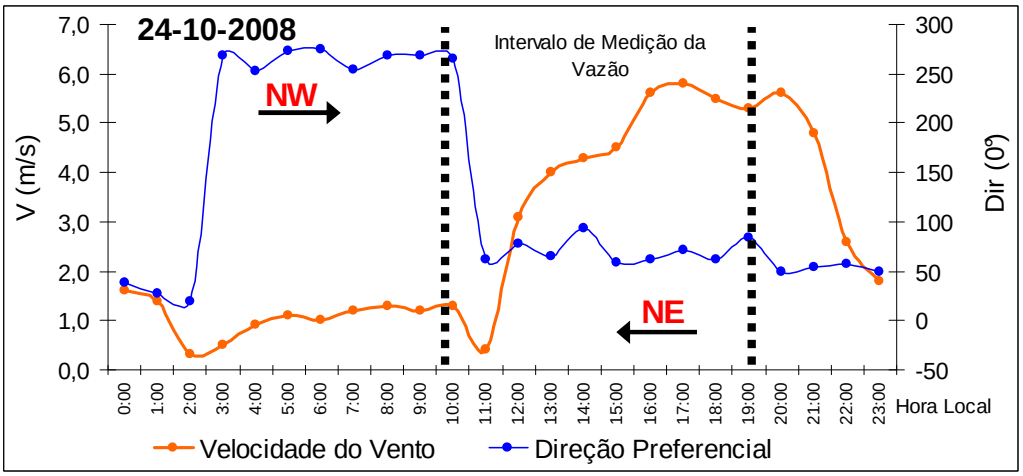


Figura 4.31 - Velocidades e direções preferências do vento do dia 24/10/2008. **Fonte**: Dados da estação meteorológica de Tartarugalzinho, disponível pelo site do INMET (www.inmet.gov.br).

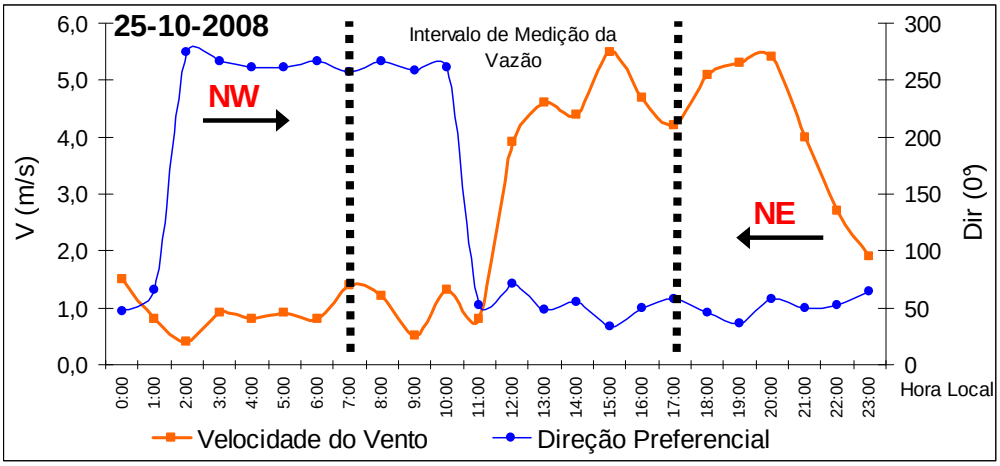


Figura 4.32 - Velocidades e direções preferências do vento do dia 25/10/2008. **Fonte**: Dados da estação meteorológica de Tartarugalzinho, disponível pelo site do INMET (www.inmet.gov.br)

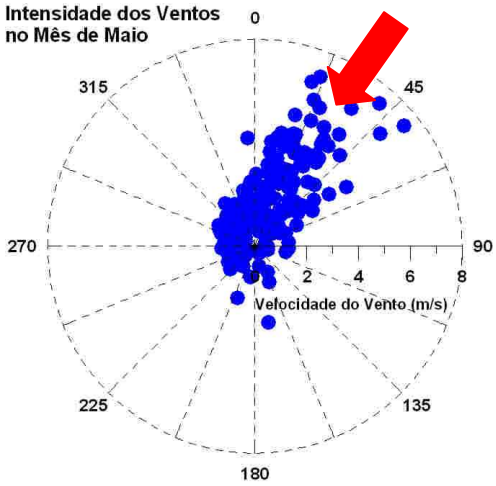


Figura 4.33 - Direção preferencial (indicado pela seta vermelho) e velocidade do vento no mês de maio. **Fonte**: INMET, 2009.

4.1.4 Maré Dinâmica do Igarapé Tabaco

As marés que ocorrem na foz do rio Araguari, e que influenciam seu estuário, se caracterizam como macromarés (Davies, 1964), devido sua amplitude acima de 4 metros, conforme observado pela DHN para a Ilha dos Guarás, foz do rio Araguari. A maré se prolonga pelo estuário do rio Araguari, adentrando aproximadamente 224 km, até o município de Ferreira Gomes (Santos, 2006).

São do tipo semi-diurnas, com duas baixa-mares (BM) e duas preamares (PM) durante um dia, porém, devido o tempo que a Terra leva para concluir uma rotação

completa com relação a lua, que é de aproximadamente 24h e 50m, conhecido como dia lunar, conseqüentemente as preamares e baixa-mares se apresentam com níveis diferentes.

Com base nas análises dos gráficos das curvas de maré observadas no período das coletas (Maio e Outubro de 2008), foi possível identificar que as marés possuem um padrão assimétrico, ou seja, o domínio de umas correntes de marés. Tanto nas marés observadas em maio (cheio) quanto em outubro (seco) para o igarapé Tabaco foi identificado que a duração da corrente de vazante é superior a de enchente. Masselink & Hughes (2003) advoga que quando o tempo de vazante é superior ao tempo de enchente (Figura 4.36), o sistema torna-se um importador.

A assimetria é um fator importante em relação ao transporte de sedimentos que leva em consideração a profundidade, o atrito, assim também como a descarga fluvial.

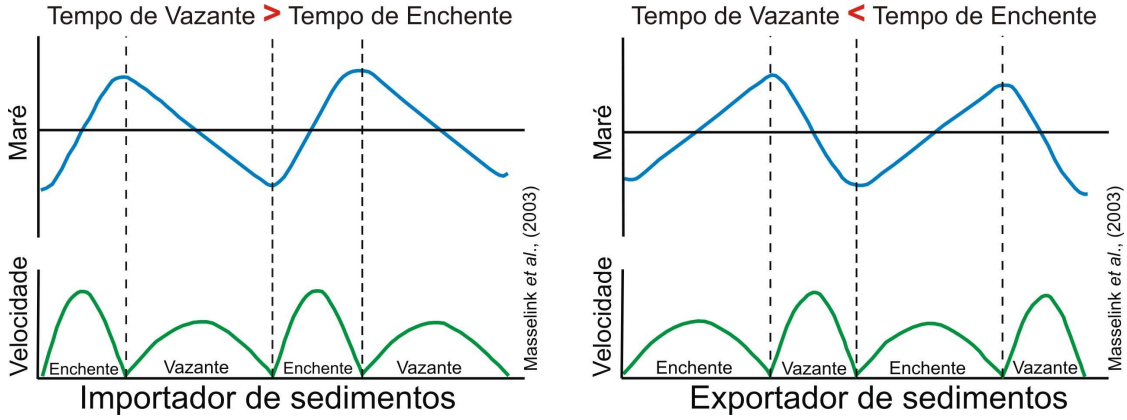


Figura 4.34 – Modelo de propagação de maré conforme Masselink *et al*. (2003).

Com efeito, foi identificado que o tempo de enchente é inferior ao tempo de vazante no igarapé Tabaco, tanto no período cheio quanto no período seco, em conseqüência a maré enche com maior velocidade, principalmente na curva pontilhada que indica a foz do igarapé (Figura 4.35), como se observa na figura há um aumento da velocidade no momento da enchente, logo em seguida, após o estofo da maré, com duração de 25 minutos, a velocidade decai rapidamente em função da vazante por maior tempo.

O mesmo ocorre para o período seco (Figura 4.36), porém, observa-se o quanto as velocidades aumentam durante a maré de vazante, isso sugere um excesso de energia,

confirmando o que advoga Miranda *et al.*, (2002) sobre o princípio da conservação do volume que no evento de menor duração (enchente) a velocidade do movimento será mais intensa e, em conseqüência, o transporte de sedimentos em suspensão na enchente será maior em comparação ao de vazante, caracterizando como um sistema dominado pela maré enchente.

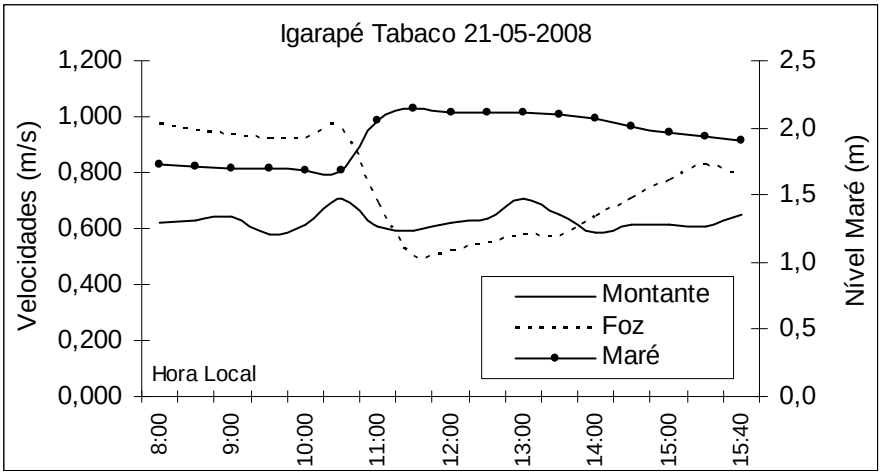


Figura 4.35 – Velocidade do fluxo no igarapé Tabaco: próxima da entrada do Lago Comprido de Baixo e da foz, relacionado ao nível da maré para o período cheio.

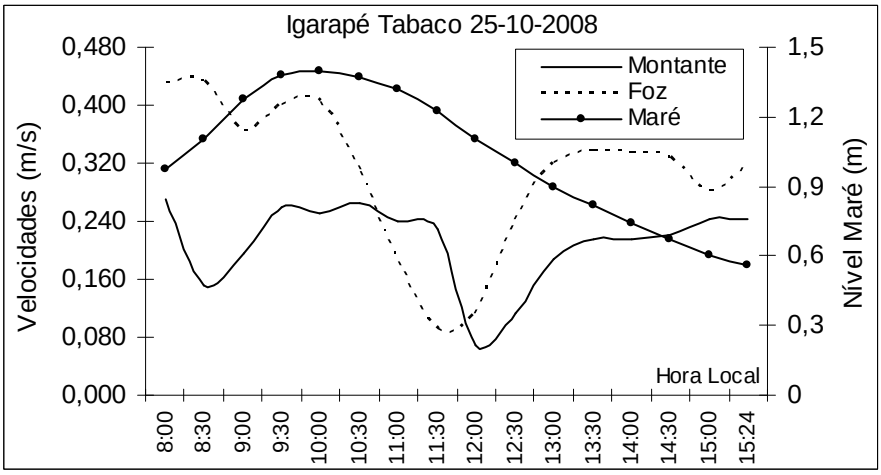


Figura 4.36 – Velocidade do fluxo no igarapé Tabaco: próxima da entrada do Lago Comprido de Baixo e da foz, correlacionado ao nível da maré para o período seco.

Outro aspecto observado nos gráficos das curvas de maré é o tempo das correntes nos períodos sazonais. Observa-se que no período cheio (maio), o tempo de enchente varia em torno de 2 horas; enquanto que no período seco (outubro), o tempo de duração da enchente é 1 hora a mais, em média 3 horas.

Quanto ao aspecto da entrada da maré nos lagos, foi estimado a partir das análises das marés medidas no período seco (25-10-2008), simultaneamente na montante e foz do igarapé Tabaco, P-1 e P-2 (Figura 4.6) foram observadas as seguintes características: a preamar ocorreu na foz (P-2) às 09:50hs e na montante (P-1) ocorreu às 10:55, com distâncias entre os pontos de 9,8 km. Isso quer dizer que, após atingir a preamar na foz, a corrente de enchente percorre uma distância de 9,8 km num tempo de 1h e 05 min. para atingir a preamar na montante. É quase aproximado à velocidade da corrente de 10km/1h. Deve-se ressaltar que essa velocidade da corrente, não é uma verdade absoluta, devido uma única medição, e ainda, deve-se levar em consideração que esse tempo de está inerente a morfologia do igarapé, topografia, bem como o atrito e descarga fluvial.

Com base no tempo de preamar, foi possível estimar o horário da baixa-mar para esse dia, na foz e montante, 19:10hs baixa-mar na foz e 20:15 baixa-mar na montante, respectivamente.

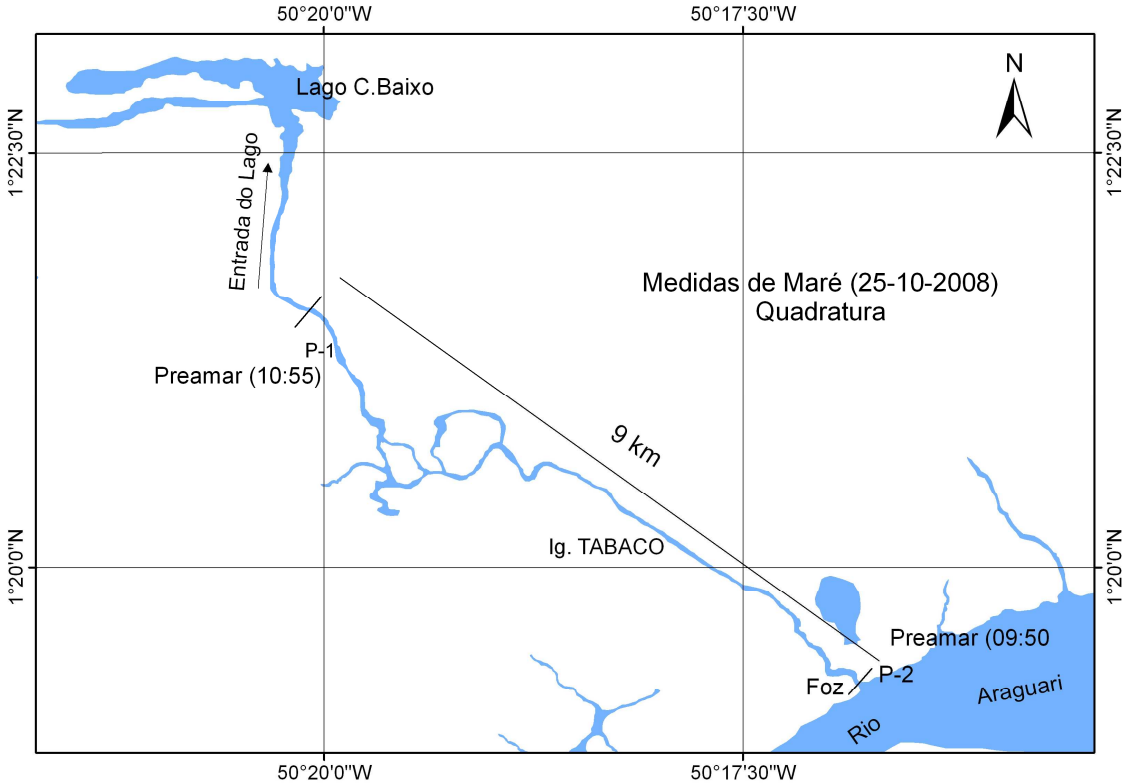


Figura 4.37 – Estimativa da preamar e baixar à montante e na à foz do igarapé Tabaco.

FIGURAS (4.38 – 4.45) DAS CURVAS DE MARÉ PARA O PERÍODO DE 17 À 24 DE MAIO DE 2008

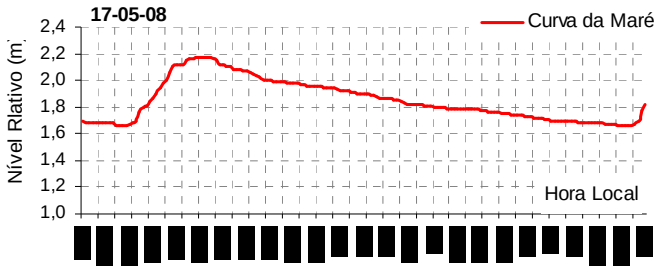


Figura 4.38 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 17-05-08.

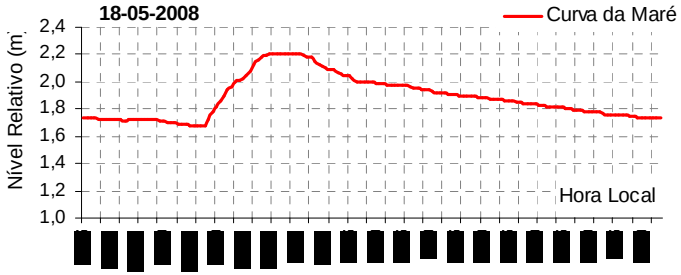


Figura 4.39 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 18-05-08

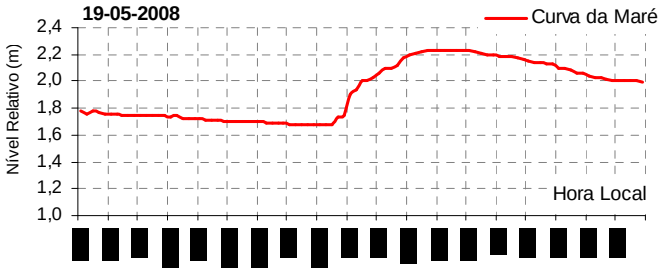


Figura 4.40 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 19-05-08.

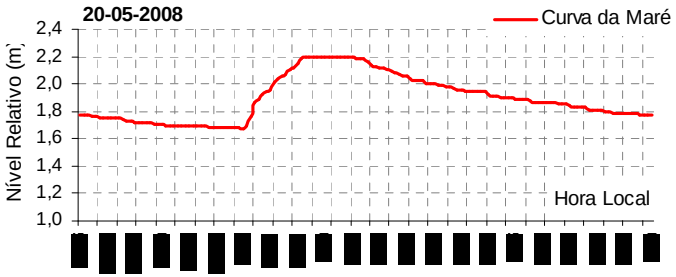


Figura 4.41 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 20-05-08

.

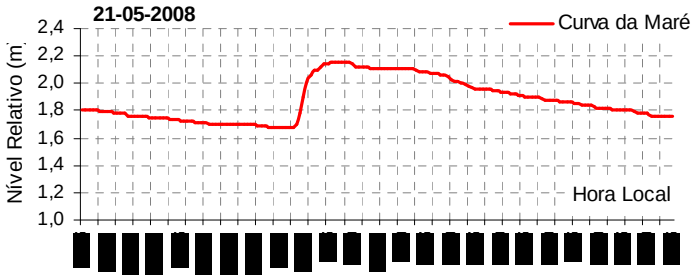


Figura 4.42 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 21-05-08.

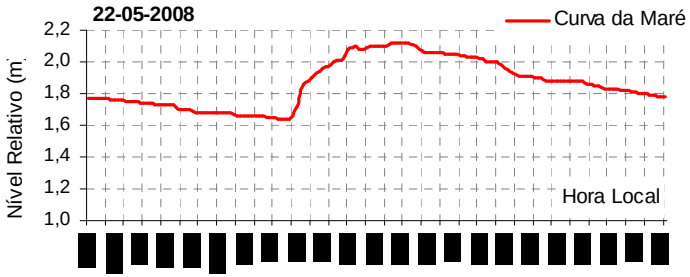


Figura 4.43 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 22-05-08.

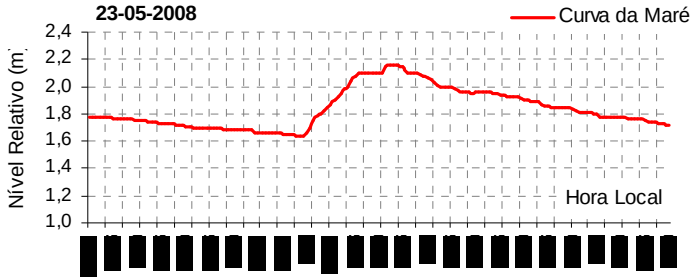


Figura 4.44 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 23-05-08.

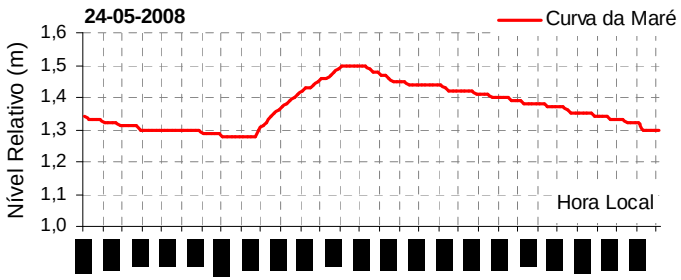


Figura 4.45 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 24-05-08.

FIGURAS (4.47 – 4.51) DAS CURVAS DE MARÉ PARA O PERÍODO DE 24 À 28 DE OUTUBRO DE 2008

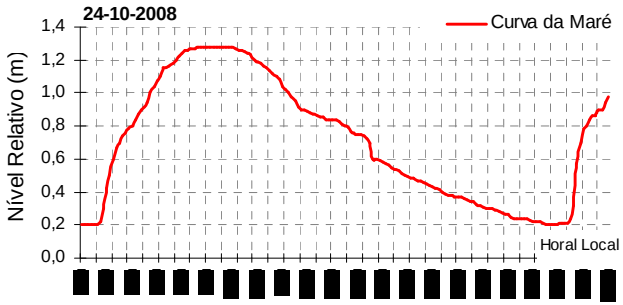


Figura 4.46 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 24-10-08.

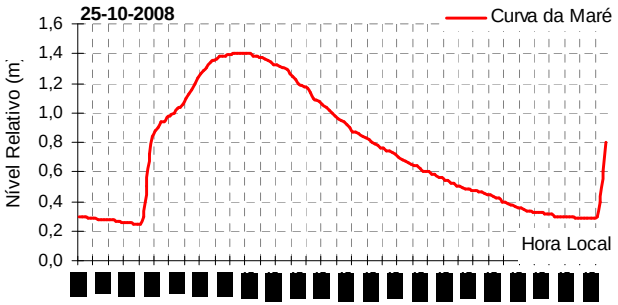


Figura 4.47 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 25-10-08.

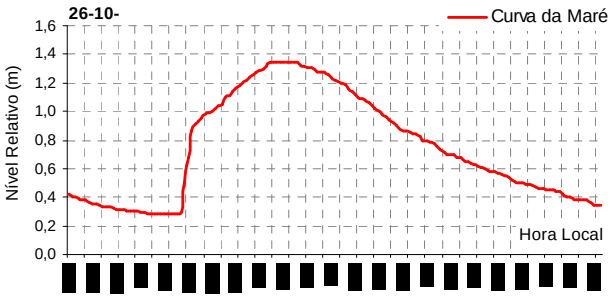


Figura 4.48 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 26-10-08.

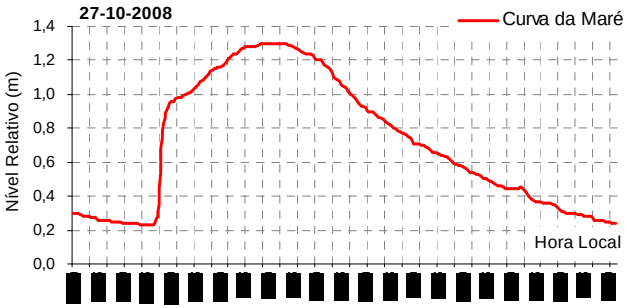


Figura 4.49 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 27-10-08.

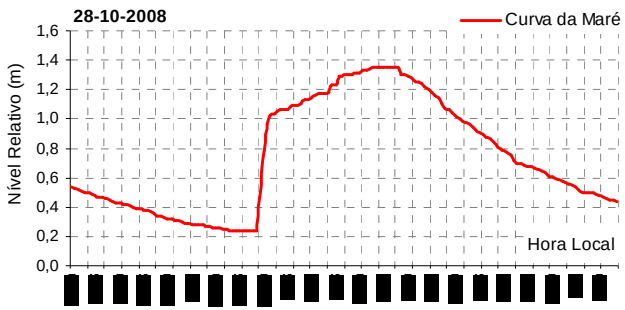


Figura 4. 50 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 28-10-08.

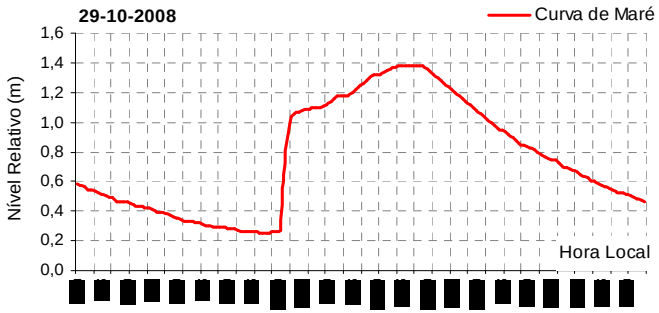


Figura 4.51 – Curva de maré do Igarapé Tabaco dia 29-10-08.

5 ANÁLISE MULTITEMPORAL E MORFODINÂMICA DOS LAGOS E IGARAPÉ TABACO

5.1CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste Capítulo é apresentado um estudo sistemático da aplicação do sensoriamento remoto sobre a evolução multitemporal e do comportamento morfodinâmico dos Lagos e do Igarapé Tabaco entre 1972 a 2008. Associados a este estudo, é apresentado uma análise das modificações morfológicas com base em dados batimétricos da área do Lago Comprido de Baixo por se tratar de ser o principal responsável pela ação de troca de fluxos de águas e sedimentos entre os Lagos e o Rio Araguari, após a ação antrópica, com a retirada da matéria orgânica, que ocasionou a abertura da parte sul deste lago, conectando-o ao igarapé Tabaco, por conseguinte ao rio Araguari, que deságua no Oceano Atlântico.

As técnicas e aplicações do sensoriamento remoto para análises multitemporais têm sido muito usadas para fins científicos. Com o avanço das tecnologias, para a melhoria dos sensores orbitais e construção de múltiplos satélites de observação da Terra, o sensoriamento remoto se tornou desde seu surgimento até o presente, uma ferramenta imprescindível para os estudos das mudanças ambientais.

Deste o lançamento do primeiro satélite de recursos terrestres, o Landsat, em 1972, grandes progressos e várias pesquisas foram feitas na área do meio ambiente fazendo uso de imagens de satélites. Após o advento destes satélites os estudos ambientais deram um salto enorme em termos de qualidade, agilidade e número de informações. Com a periodicidade diária dos satélites imageando a Terra, tem-se um monitoramento das mudanças ambientais com maior precisão atualmente.

Associado as tecnologias dos satélites mustiespectrais e multitemporais, o desenvolvimento de software específico para o tratamento dessas imagens, também se tornou essencial. Com isso, hoje é possível tratar uma imagem com diferentes composições de bandas espectrais, a fim de realçar, diversificar os contrastes e extrair uma gama de informações obtidas pelo sensor, e gerar mapas multitemporais de períodos distintos.

5.2 BALANÇO DE ÁREAS NO PERÍODO DE 1972 A 2008

Com base nas análises e interpretação das imagens em ambiente de SIG, foi possível gerar por meio das ferramentas do software ArcGis, polígonos com cálculo de áreas em m², representados nos mapas por áreas sedimentadass, áreas de ganho, áreas erodidas, áreas assoreadas e áreas estáveis. A técnica foi feita usando o método de cruzamento entre os diferentes anos com atributos de valores associados às alterações para cada período.

O balanço de áreas dos lagos e igarapé, dos últimos 36 anos, envolvem uma série de fatores, entre os quais, alterações do comportamento hidrodinâmico dos lagos, com redução do volume de água, pouca profundidade e aumento da eutrofização pela proliferação das macrófitas aquáticas conforme é observado na Figura 5.1 que mostra o avanço das macrófitas aquáticas dentro dos lagos, indicadas pelas setas na cor vermelha.

> Entende-se por eutrofização de lagos o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água (Thomann *et al.*, 1987; Von Sperling, 1996). O estágio eutrófico se dá pelo aumento de nutrientes, associados às baixas velocidades e profundidades, permitindo a proliferação de matéria orgânica (Fragoso Júnior *et al.*, 2007).

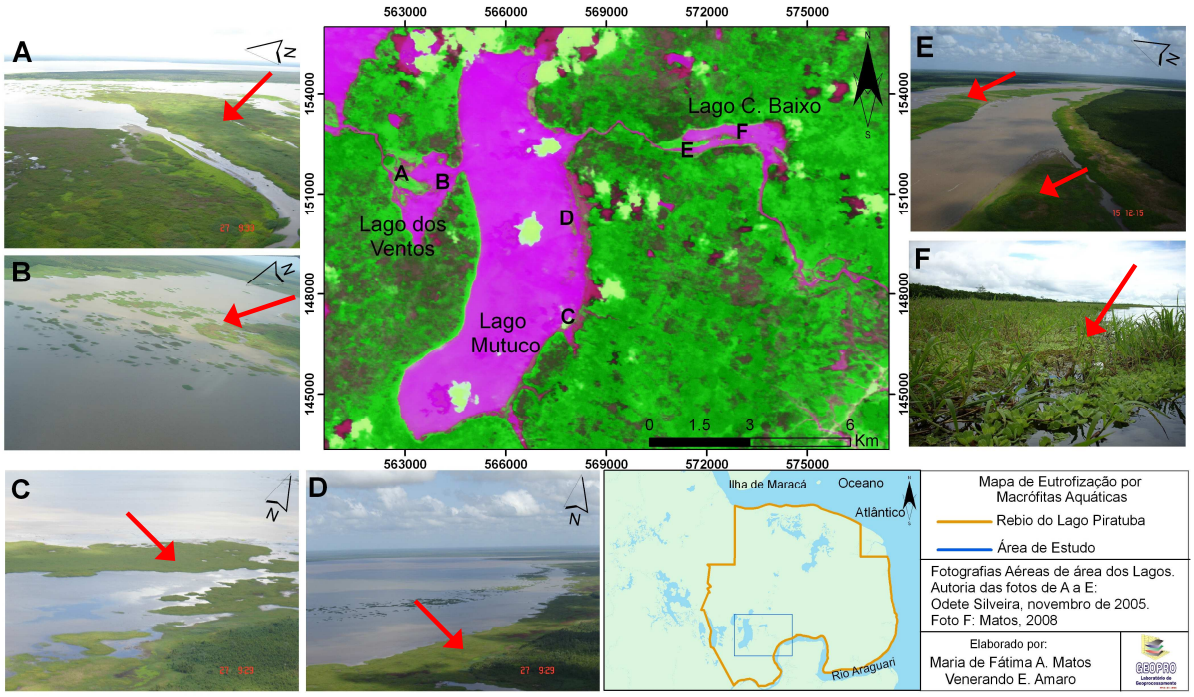


Figura 5.1 – Proliferação das macrófitas aquáticas no Lago dos Ventos, Mutuco e Comprido de Baixo. **Foto**: Odete Silveira, 2005. Imagem de satélite CBERS2-2005. **A)** e **B)** mostram a proliferação de macrófitas aquáticas do Lago dos Ventos; **C)** e **D)** mostram as macrófitas aquáticas do Lago Mutuco; **E)** e **F)** mostram as macrófitas aquáticas do Lago Comprido de Baixo. Fotos: **A**, B, C, D e E (Odete Silveira, 2005); F (Maria de Fátima Alves de Matos, 2008).

Associados a eutrofização, o processo de colmatação é marcante na região, caracterizado pela baixa profundidade e grau de assoreamento. Na área do Igarapé Tabaco, além do processo de colmatação, está associado aos processos de erosão e deposição das margens.

A rapidez com que esses processos foram se sucedendo ao longo desse período, envolve grandes áreas que foram eutrofizadas e/ou colmatadas, erodidas e sedimentadas, tanto dos lagos quanto do igarapé, comprometendo a funcionalidade hidrodinâmica do sistema lacustre de modo geral. Pois, com o aumento excessivo de matéria orgânica acumulada, os lagos se tornam cada vez mais rasos, até chegar ao desaparecimento. Para Von Sperling (1996), essa tendência de desaparecimento de lagos, é irreversível, porém, usualmente lenta, caso não haja controle na fonte e/ou dragagem do material sedimentado.

Os lagos do Cinturão Meridional mostram essa tendência, principalmente os lagos dos Ventos e Comprido de Baixo, como pode ser observado pelas figuras (5.2 até 5.8) da evolução multitemporal entre os anos de 1972 a 2008, por análises de aspectos como o balanço de áreas (km² e m²), decréscimo e acréscimo e a relação percentual (%) desse balanço de áreas que foram eutrofizadas, áreas de ganho e áreas estáveis.

No Igarapé Tabaco, em alguns trechos de seu baixo curso são evidenciados aumento de largura e profundidades. Na região do médio curso, o assoreamento das margens é marcante.

Lago dos Ventos

Pela análise das Figuras 5.2 e 5.3, observa-se que o Lago dos Ventos, de 1972 até 2000 teve uma significativa redução de área. A redução foi de aproximadamente 500.000 m² de área em 18 anos. No decorrer dos anos seguintes, entre 2000 a 2008, o processo de redução se acentuou, e em 8 anos, a área foi reduzida em mais de 2,1 km². De 1972 com uma área total de 4,1 km², em 2008 o Lago dos Ventos possui apenas 1,5 km² de área de corpo d'água útil. Em percentuais, são aproximadamente 50% de área já sedimentadas e ocupadas pelas macrófitas aquáticas.

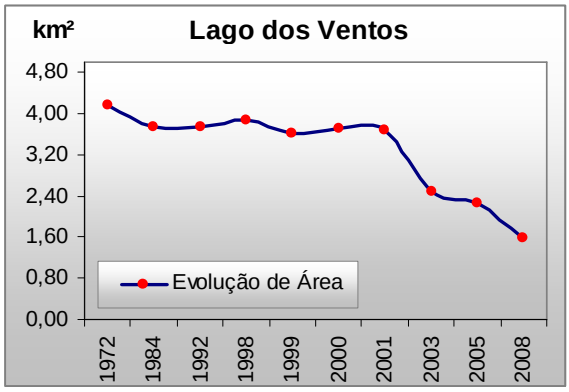


Figura 5.2 – Evolução de área estável do Lagos dos Ventos entre 1972 a 2008.

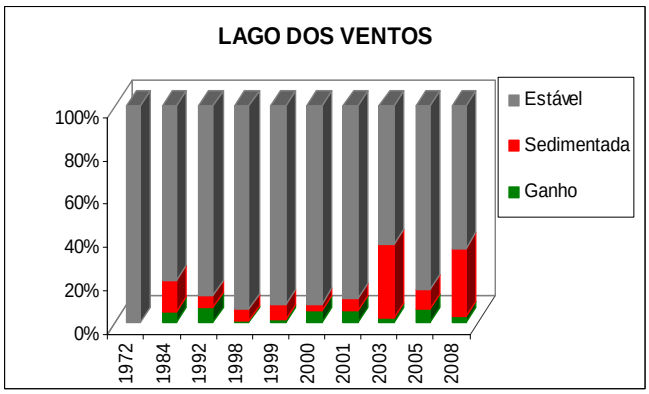


Figura 5.3 – Percentual do balanço de áreas: estável, sedimentada e ganho do Lago dos Ventos.

Lago Mutuco

O Lago Mutuco, é o mais estável dos lagos estudados. Na Figuras 5.4 e 5.5 que mostra a evolução da área estável, houve dois momentos que mostram as maiores alterações do balanço de área: entre 1972 a 1984, e posteriormente entre 2003 e 2005. Em 1972 a área total do lago equivalia a 36,8 km², para 1984, houve uma redução de quase 1 km². Por ser o maior entre os demais lagos estudados, para sua área esse valor de redução não apresenta grande alterações, essa quantidade se comparada a área do Lago dos Ventos e Comprido de Baixo, na certa é muito perda de área, em função de serem menores. Entre 1984 a 2001, o lago manteve-se mais estável. Para 2003 a 2005, o lago tendeu a reduziu em 3,8 km² de áreas foram sedimentadas. Atualmente a área é de 32,8 km², no geral entre 1972 a 2008, foram apenas 3,9 km² de área sedimentada. As alterações não são aceleradas quando comparada ao outros lagos e ao igarapé Tabaco.

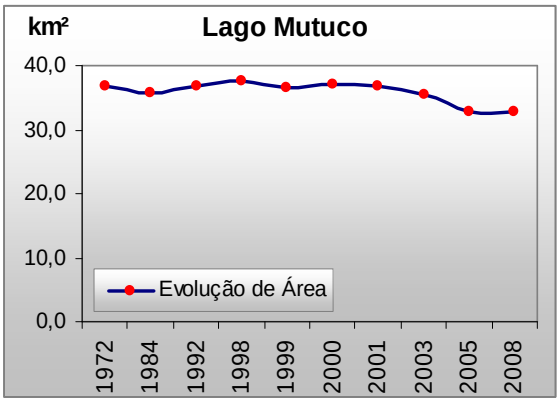


Figura 5.4 – Evolução de área estável do Lago Mutuco entre 1972 a 2008.

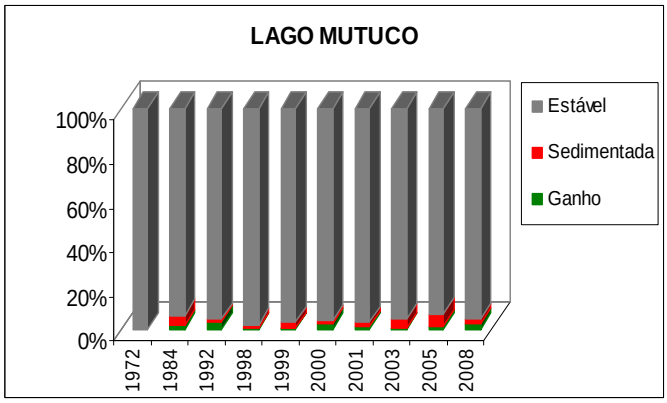


Figura 5.5 - Percentual do balanço de áreas: estável, sedimentada e ganho do Lago Mutuco.

Lago Comprido de Baixo

O Lago Comprido de Baixo mostra uma estabilidade no balanço de área até o ano de 1998, a partir desse ano para 1999 houve um ganho considerável de área, com a abertura da parte sul do Lago, registrando um ganho de 572.787,59 m² de área. Mas a partir de 2001, houve uma rápida redução e sedimentação com crescimento excessivo de macrófitas aquáticas. A área do Lago que em 1972 era de 2,6 km², em 2008 reduziu para 1,2 km², ou seja, mais de 50% de sua área já se encontra eutrofizada, permanecendo um canal na parte sul do lago (Figuras 5.6 e 5.7).

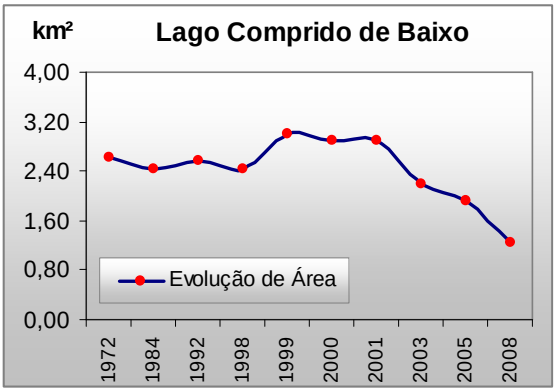


Figura 5.6 - Evolução de área estável do Lago Comprido de Baixo entre 1972 a 2008.

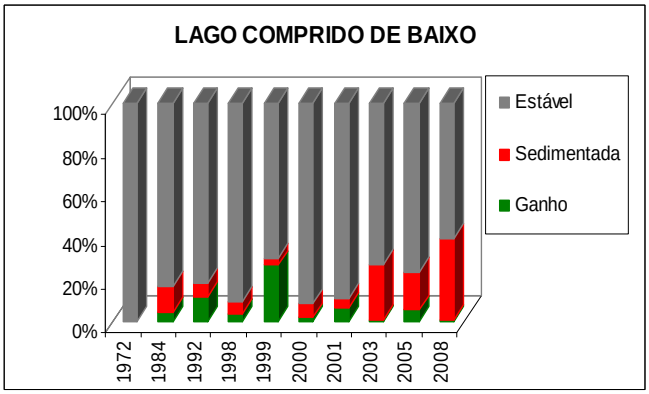


Figura 5.7 - Percentual do balanço de áreas: estável, sedimentada e ganho do Lago Comprido de Baixo.

Igarapé Tabaco

O balanço de área do Igarapé Tabaco está diretamente ligada à sua evolução. Nesse balanço de áreas (Figuras 5.8 e 5.9), além da sedimentação de alguns trechos, o igarapé está sujeito a outros processos, como por exemplo, a erosão e deposição de margens. Num balanço de áreas, houve maior ganho em função de sua evolução, nesse balanço de áreas, associa-se aumento do curso, da profundidade e largura, e outras pequenas drenagens que se organizaram ao longo de sua evolução, sendo mapeados a partir de 1984 (Figura 5.10). Entre 1972, onde se registrava uma área de 25.134,94 m², para 1984, o ganho foi significativo, o igarapé aumentou para 139.386,17 m². Em 1999 há uma redução de área, em função de alguns trechos do médio curso ter sido assoreado. Nesse período, o curso do igarapé Tabaco ainda não possui uma conexão livre com o Lago Comprido de Baixo, contudo, a partir de 2000 o igarapé passa a ter acesso e

conexão com o lago, a partir de 2000, seu curso estabiliza ao que se encontra atualmente. Porém, o aumento de área está nos curtos afluentes que surgem pelas margens.

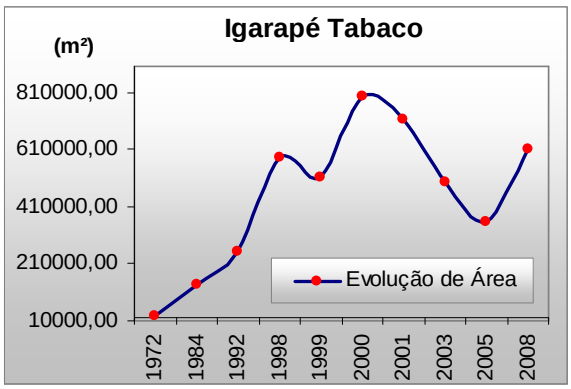


Figura 5.8 – Evolução de área estável do Igarapé Tabaco entre 1972 a 2008.

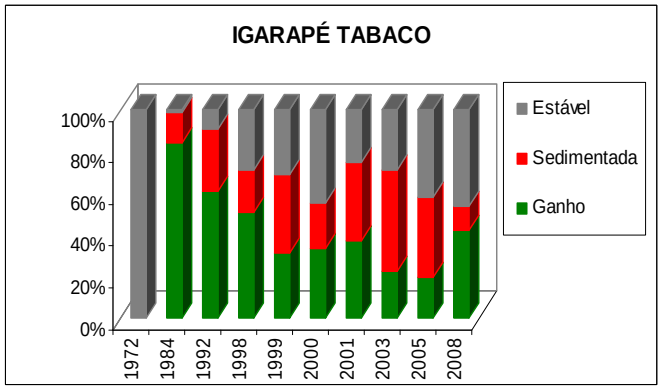


Figura 5.9 - Percentual do balanço de áreas: estável, sedimentada e ganho do Igarapé Tabaco.

5.3 ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EVOLUÇÃO DOS LAGOS E IGARAPÉ TABACO

É importante ressaltar que para essas análises da evolução multitemporal das mudanças ambientais dos lagos e igarapé foi considerada a sazonalidade, uma vez que é fator determinante para a seleção de boas imagens, assim como para a caracterização hidrodinâmica do ambiente. Para a área de estudo várias imagens encontram-se afetadas pela presença de nuvens, as quais interferiram sobretudo na interpretação dos limites das drenagens, sendo solucionado conforme descrito no Capítulo 2 com a aplicação das técnicas de tratamento de imagens.

A importância desses fatores que podem influenciar na condição dos limites reais dos lagos, canais e igarapés foi cuidadosa principalmente por considerar biótipos de macrófitas aquáticas. Conforme Esteves (1988) as macrófitas se agrupam em cinco principais tipos: *macrófitas aquáticas emersas, macrófitas aquáticas com folhas flutuantes, macrófitas aquáticas submersas enraizadas, macrófitas aquáticas submersas livres* e *macrófitas aquáticas flutuantes*. Considerando que alguns desses grupos de macrófitas circulam livremente pelos lagos, devido às turbulências e ação dos ventos,

podem causar uma resposta espectral do tipo "*pseudo-margem*" temporária. Diante dessa condição climática a que os lagos se submetem, deu-se preferência em usar as imagens do período seco e assim, definir com maior precisão as áreas onde a eutrofização está ocorrendo, das áreas de ganho e das áreas que se mantém estáveis. As análises responderam a um forte e dinâmico balanço de áreas descrito anteriormente, com valores alarmantes de áreas eutrofizadas para o Lago dos Ventos e Lago Comprido de Baixo, e também para o Igarapé Tabaco. Valores estes que comprometem a condição de existências desses lagos.

Silveira & Santos (2006), através dos levantamentos do meio físico realizado juntamente com o IBAMA, já indicavam os lagos do Cinturão Meridional como sendo os de maior fragilidade perante a ação antropogênica, e que por isso, merecem atenção no sentido de frear os efeitos causados pela ação antrópica. Contudo, os números apresentados anteriormente e de forma geral para os lagos e igarapé para cada ano, como mostra a tabela 5.1, associados às taxas de vazão e as velocidades do fluxo em direção ao Igarapé Tabaco, onde os valores reduzem significativamente no período seco, é preocupante e merecem atenção redobrada, caso contrário, os lagos tendem ao desaparecimento, como será mostrado a seguir pela análise da evolução multitemporal, que tem como momento mais crítico o período de 1998 a 1999.

Tabela 5.1 – Evolução de áreas (km²) dos Lagos e Igarapé Tabaco entre 1972 a 2008.

ANO	Lago dos Ventos	Lago Mutuco	Lago Comprido de Baixo	Igarapé Tabaco
1972	4.154.568,94 m²	36.805.985,39 m²	2.634.011,83 m²	25.134,94 m²
1984	3.733.226,61 m²	35.827.263,03 m²	2.428.922,28 m²	13.938,17 m²
1992	3.753.757,14 m²	36.798.017,95 m²	2.475.132,43 m²	251.252,42 m²
1998	3.570.738,08 m²	36.359.346,39 m²	2.426.737,15 m²	529.924,87 m²
1999	3.624.167,83 m²	36.637.924,14 m²	2.999.524,74 m²	514.116,84 m²
2000	3.704.459,92 m²	37.106.503,18 m²	2.895.504 m²	794.515,72 m²
2001	3.668.071,55 m²	36.679.872,89 m²	2.938.645,05 m²	715.777,68 m²
2003	2.485.032,26 m²	35.395.924,52 m²	2.196.883,42 m²	497.149,78 m²
2005	2.264.299,41 m²	32.795.844,79 m²	1.929.474,61 m²	358.922,36 m²
2008	1.585.572,53 m²	32.849.111,37 m²	1.225.492,04 m²	609.856,29 m²

Entre os anos de 1972 e 1984, têm-se mudanças na área em geral, são 12 anos de intervalo, as mudanças ocorridas no contexto político-social que irão promover significativas mudanças no contexto ambiental da área que envolve principalmente, os três Cinturões Lacustres do domínio sul da planície costeira do Amapá. Nesse período (em 1980) foi criada a Reserva Biológica do Lago Piratuba, onde o Cinturão Lacustre Meridional encontra-se dentro dos seus limites.

A partir da criação da Reserva como Unidade de Conservação e de Proteção Integral, altera não somente a ocupação dessa região, como também, a forma de uso dos lagos, pois diante do Decreto de criação, as unidades de conservação de proteção integral, são áreas cujo objetivo principal é a conservação da biodiversidade, sendo apenas o uso indireto dos recursos naturais permitido, ou seja, sem a interferência humana (Brasil, 2000). Com a criação desta lei e não considerando as famílias residentes na região desde séculos anteriores, conforme documentos históricos (IBGE, 1953), alguns conflitos passam a existir, como a pesca clandestina, além dos problemas com o gado bubalino, nas fazendas existentes na região antes da criação da Reserva, e as constantes queimadas. No decorrer das décadas seguintes à criação da Reserva, algumas alterações ambientais na área ocorreram, de modo que passaram a comprometer a própria funcionalidade dos lagos.

A Figura 5.10 mostra que houve poucas variações no balanço de área dentro dos lagos, a mais significativa ocorrida foi entre os lagos dos Ventos e Mutuco, com a abertura e expansão da barreira de matéria orgânica, existente entre os dois lagos, indicada pela seta de cor preta.

Outra área de maior alteração é no próprio Igarapé Tabaco, a migração do e prolongamento de seu curso; como se observa pela imagem de 1972 (Figura 5.10), este igarapé possuía aproximadamente 2 km de extensão, contudo, há restrições na resolução da imagem e as condições de escaneamento a que foi submetida. É possível que pela estreita largura do igarapé nesse período, não sendo a resolução da imagem o suficiente para mapeá-lo, tenha maior extensão. Entretanto, como se pode observar na imagem (1972) há várias drenagens, seja em forma de pequenos lagos ou em forma de igarapés, soltos na área entre o Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco, que foram alteradas.

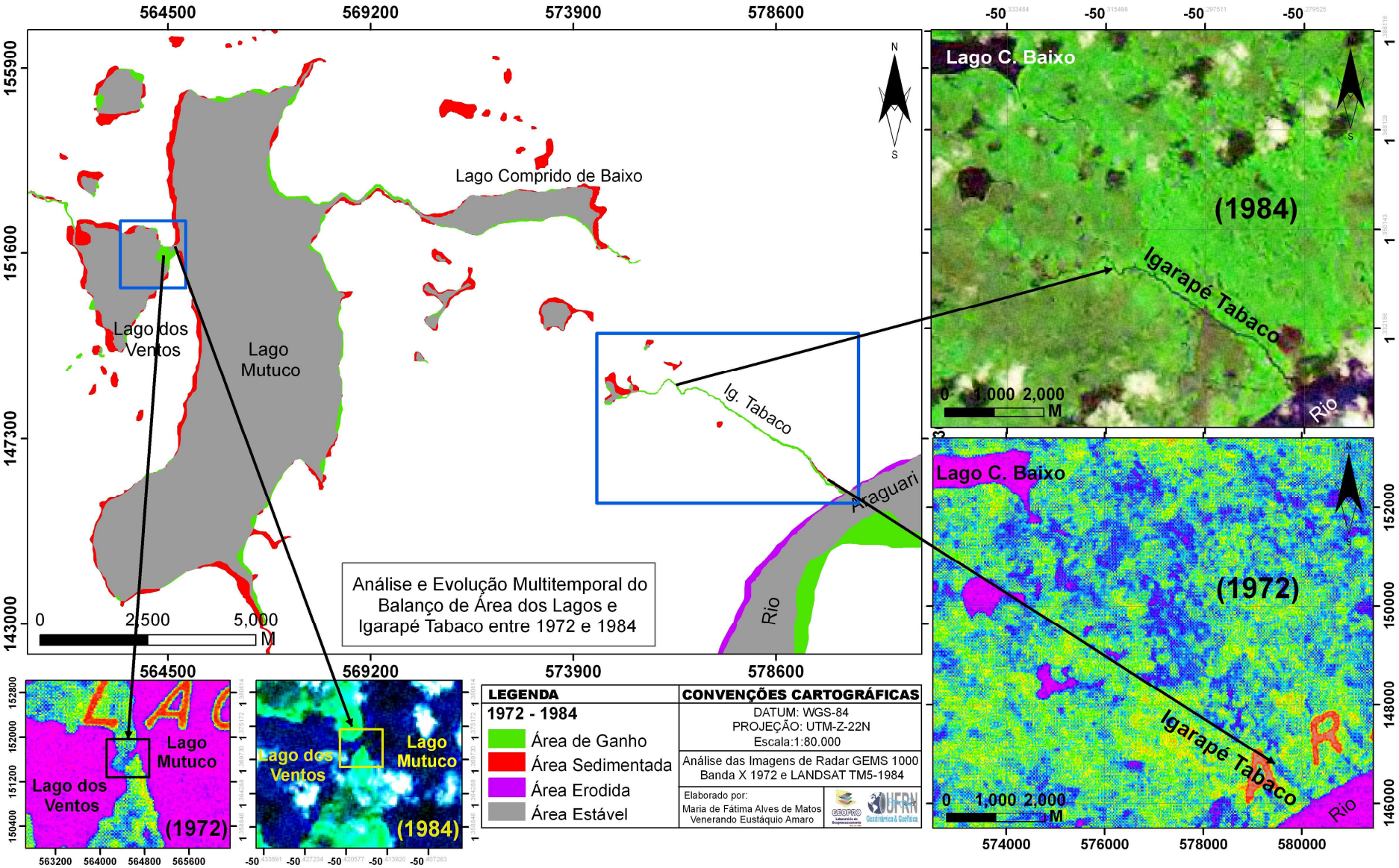


Figura 5.10 – Análise multitemporal do balanço de áreas entre 1972 a 1984.

A Figura 5.11 retrata o cenário entre 1998 a 1999 dos Lagos e Igarapé Tabaco, as maiores alterações estão entre o Lago Comprido de Baixo e o Tabaco, com a retirada da barreira de matéria orgânica na parte sul deste lago por ação antrópica, ocasionando aumento significativo de área nesta parte, e por isso, o considerando o período mais crítico das análises multitemporais. Além, dessa alteração, o Tabaco está praticamente conectado ao Lago, o que pela análise anterior, ainda não se delineava tal conexão.

O Igarapé Tabaco se apresenta com proporções maiores em inclusive em largura, e processos de erosão e deposição das margens são evidenciados. Algumas drenagens mais isoladas próximas ao igarapé foram colmatadas.

Como já mencionado anteriormente, após a criação da Reserva Biológica, alguns conflitos iniciaram e as mudanças tornaram-se mais evidentes na área, eis que a retirada da barreira de matéria orgânica, alvo de uma ação antrópica temporária se fez valer no ambiente de alta fragilidade.

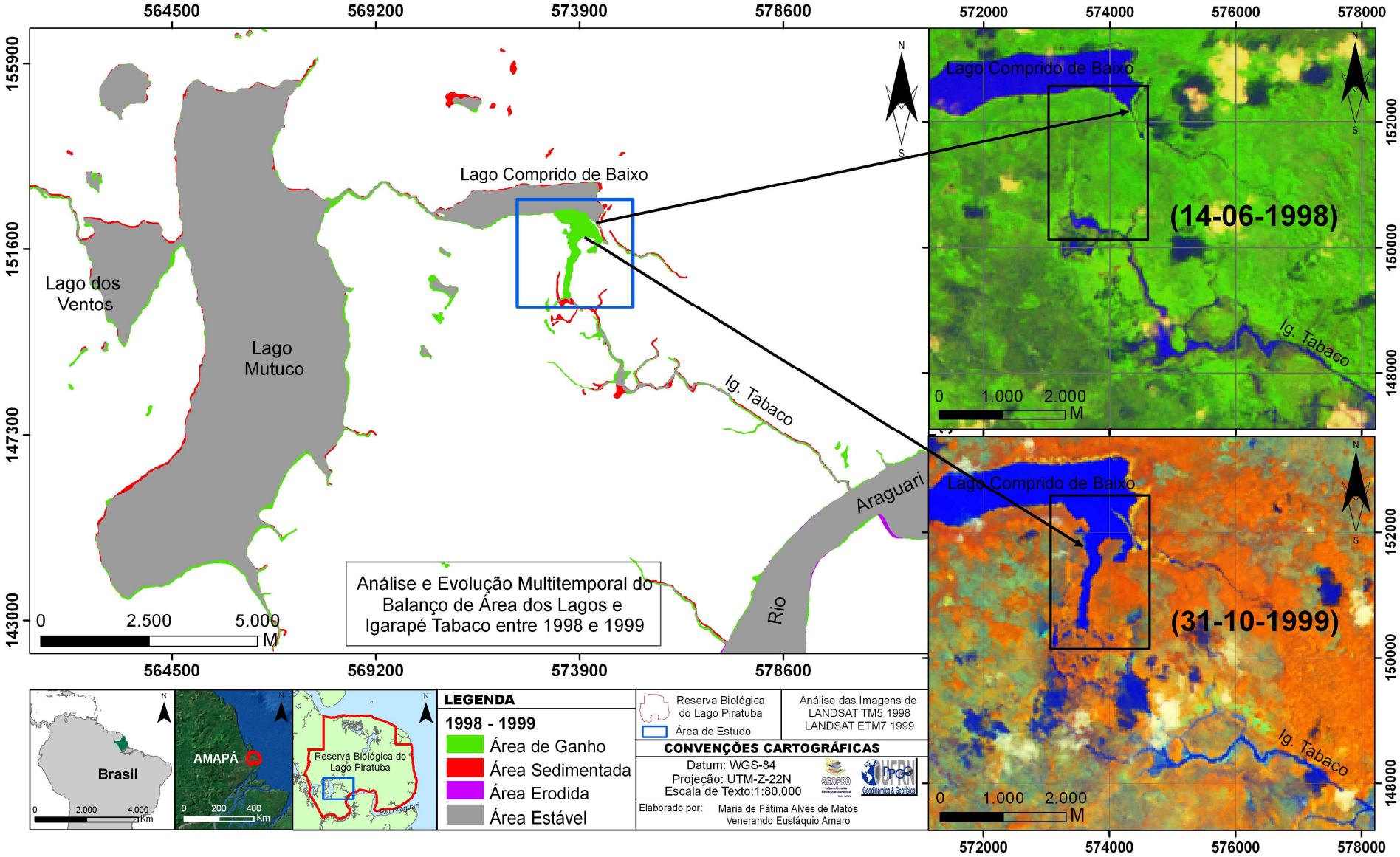


Figura 5.11 – Análise multitemporal do balanço de áreas entre 1998 a 1999.

Nos anos seguintes (Figura 5.12), entre os anos de 2000 a 2008, após a abertura da barreira de matéria orgânica, na parte sul do Lago Comprido de Baixo, têm-se outro cenário ambiental, a hidrodinâmica se modifica e os lagos se tornam mais favoráveis ao escoamento superficial a jusante.

Com aumento da vazão dos lagos, somados a ação dos ventos atuantes na região, e a ação das marés de enchente com o transporte de sedimentos para dentro do sistema, principalmente durante as marés de sizígia, há o favorecimento da sedimentaçãoe eutrofização pela proliferação excessiva de macrófitas aquáticas observadas nos três lagos estudados, onde tal abundância de matéria orgânica encontra nos sedimentos fonte inesgotável de nutrientes para se fixarem e proliferarem, como descrito no Capítulo 4. Segundo Esteves (1988), a interação do vento e turbidez da água, favorecem o crescimento heterogêneo dos diferentes grupos ecológicos, permitindo assim a formações de regiões litorâneas diversas.

No período chuvoso há um considerável aporte de sedimentos que entra no sistema, com picos de vazão de 297 m^3/s na entrada do Lago Comprido de Baixo e 289 m^3/s na entrada do Lago Mutuco, com velocidades de fluxo acima de 1,600 m/s e 1,100 m/s respectivamente. A conseqüência da associação desses fatores é caracterizada pelo estágio de sedimentação em que os lagos se encontravam em 2008. Os valores das vazões nos Lagos, nos dois períodos foi observado que parte de toda descarga sólida que entra durante a maré de enchente, é depositada no Lago Comprido de Baixo, sendo reduzida sua carga para o Lago Mutuco.

No Lago dos Ventos e Lago Comprido de Baixo, o avanço das macrófitas aquáticas se dá conforme a morfologia dos lagos e tende a se proliferar de oeste para leste. É possível perceber pela orientação do avanço das macrófitas a atuação dos ventos contribuindo na mobilização, deslocamento e fixação das macrófitas nas margens e áreas centrais dos Lagos.

O Lago Mutuco, possui características diferentes dos outros dois lagos, seu tamanho e forma permite uma acumulação de matéria orgânica na margem leste do lago. A profundidade nesta área do lago é 1,5 metros de lâmina d'água durante o período chuvoso, e reduz abaixo de 1 metro de profundidade no período seco, conforme batimetria realizada em 2005 (Martins *et al*., 2006).

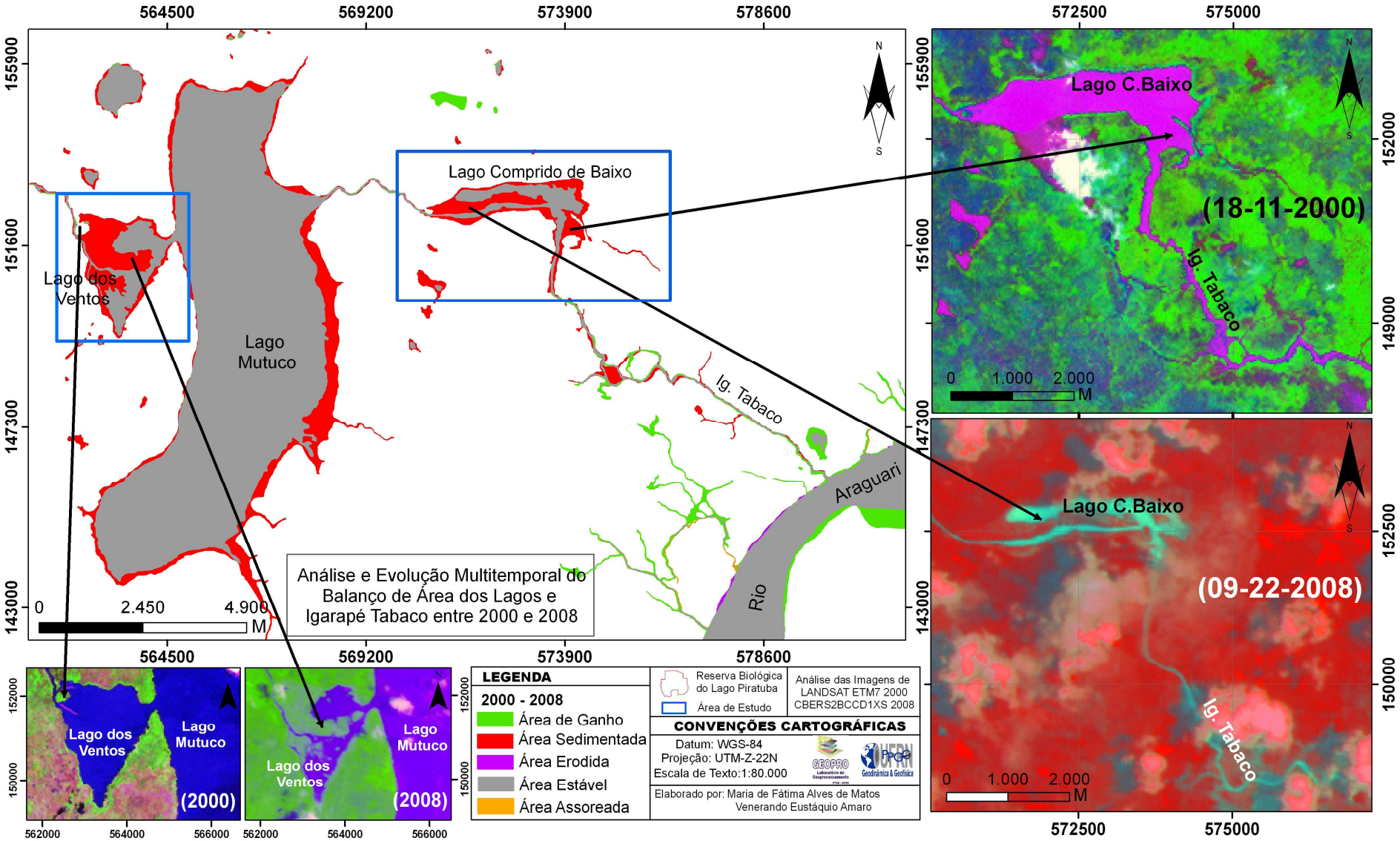


Figura 5.12 – Análise multitemporal do balanço de áreas entre 2000 a 2008.

5.3.1 Abertura do Lago Comprido de Baixo e Conexão com o Igarapé Tabaco

O Lago Comprido de Baixo e o Igarapé Tabaco têm sido alvo de grandes alterações em seus cursos naturais, nos últimos 15 anos, que culminaram com a mudança em todo sistema do Cinturão Lacustre Meridional. Essas alterações são fortemente marcadas por dois cenários distintos: anterior a 1999, e os eventos que se sucedem posterior há este ano.

Reportando-se aos fatos históricos descrito por Silveira (2006b), em 1997 conforme solicitação do Prefeito da cidade de Tartarugalzinho-AP (município mais próximo do Cinturão Lacustre Meridional, localizado as margens do rio homônimo) a abertura de um canal de ligação entre o Lago Comprido de Baixo e o Igarapé Tabaco, para tornar possível ao acesso de pequenas embarcações entre o município de Tartarugalzinho-AP e o Rio Araguari. Com o objetivo de reduzir o tempo de viagem entre as áreas, conforme a Figura 5.13, que mostra o trecho de navegação proposto pelo então prefeito, incluindo a entrada por dentro dos limites da Reserva Biológica do Lago Piratuba.

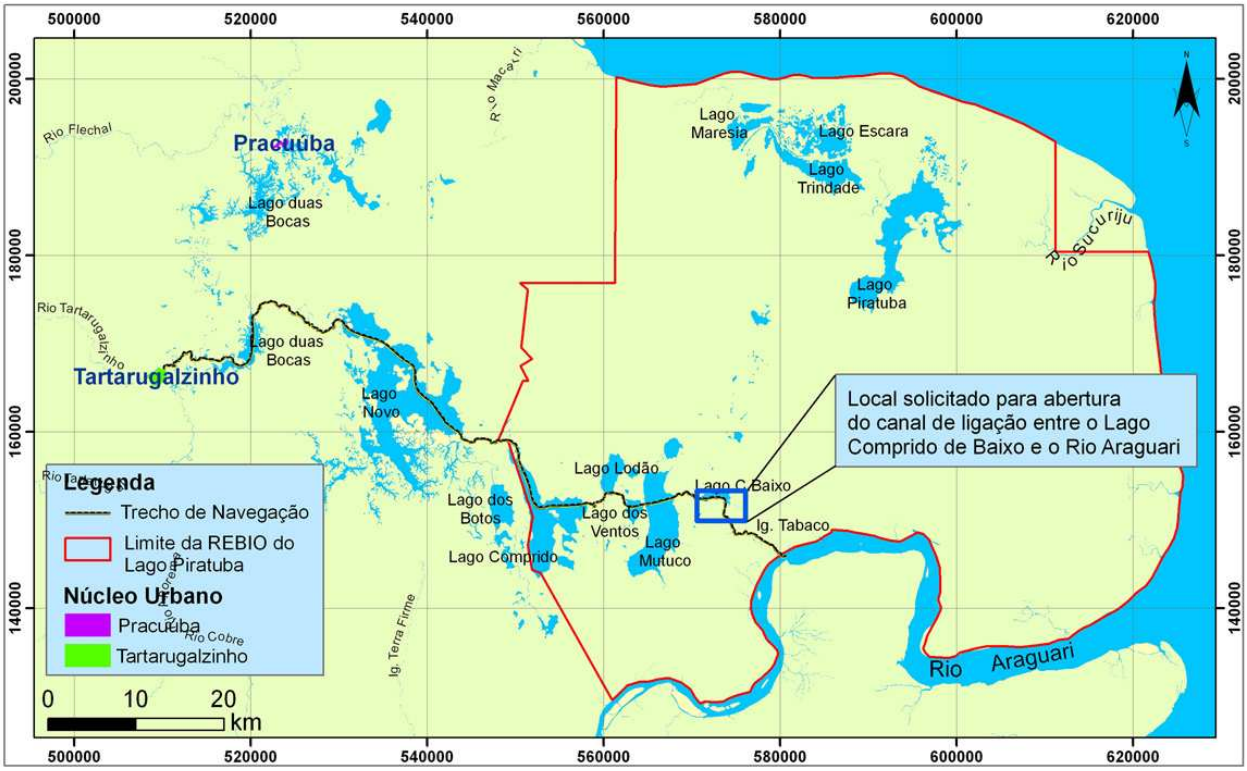


Figura 5.13 – Mapa com trecho para reduzir tempo de viagem entre até o Rio Araguari proposto pelo Prefeito do município de Tartarugalzinho.

A ação antrópica temporária, sobre um ambiente de alta fragilidade, pôde contribuir para alterações e acelerar significativas mudanças do ponto de vista morfodinâmico e hidrodinâmico.

Mesmo tendo o evento ocorrido em 1997, os efeitos só foram possíveis de serem mapeados em 1999. A questão levantada sobre os efeitos serem observados dois anos após, sugere que o Lago Comprido de Baixo sustentou o máximo possível a condição do ambiente no inverno de 1998; entretanto, as fortes chuvas registrada na região em 1999, que estiveram sob a influência de *La Niña* (observar capítulo 1, figura 1.15).

Pela análise das imagens de radar e sensores ópticos de 1972 até 1984 (Figura 5.14), têm-se um ambiente tipicamente associado à atuação de processos morfológicos relacionado a evolução da Planície Costeira, ocorridos posteriormente a deposição do Grupo Barreiras e possivelmente ainda atuantes (Silveira,1998). As áreas do lago Comprido de Baixo e outras pequenas drenagens isoladas foram pouco afetadas pelos processos de colmatação ou colmatação. A atuação dos processos se mostram em relação a própria evolução do Igarapé Tabaco.

Como pode ser observado no balanço de áreas (ganho, sedimentada e estável), até 1998 (Figuras 5.14 a 5.16), o Lago Comprido de Baixo manteve-se mais estável. Em 1972 o Lago Comprido de Baixo tinha uma área total de 2.634.011,8 m²; em 1984 a área estável foi reduzida à 2.428.922,3 m². Em 12 anos a parte leste do Lago foi à área cujo processo de sedimentação foi mais evidenciado, com 364.949,5 m² de área sedimentada, e obteve na parte sul um ganho de 120.793,3 m² de área.

Na parte zona central da área, entre o Lago e o Igarapé Tabaco, um pequeno lago isolado (indicado pela seta preta) que em 1972 tinha uma área de 487.228 m², para 1984 reduziu sua área estável para 316.134,2 m².

O Igarapé Tabaco, em 12 anos de análise alterou seu curso significativamente como é mostrado na Figura 5.14. Os processos físicos atuantes nesse trecho da área permitiram a evolução do Igarapé Tabaco o aproximada do Lago Comprido de Baixo. Em 1972 sua área total mapeada foi de 27.984,2 m² e sua extensão equivalia à aproximadamente 2 km. Para 1984 o Igarapé aumentou de área e extensão em: 273.124 m² e 7 km, respectivamente.

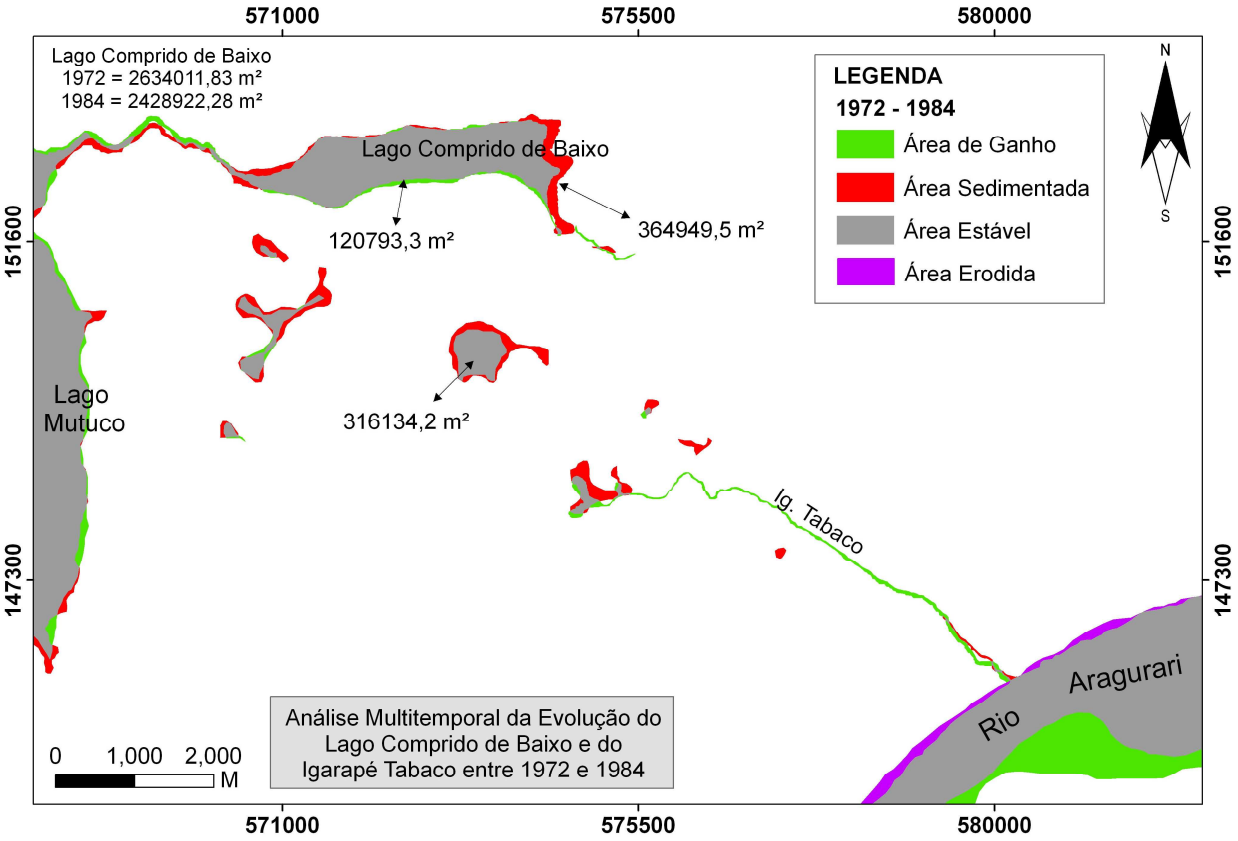


Figura 5.14 – Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1972 a 1984.

Entre os anos de 1984 a 1992 (Figura 5.15) houve poucas alterações nos cursos d'água, a área do Lago Comprido de Baixo manteve-se mais estável, obtendo um ganho de 46.210,1 m² na parte norte, e na parte sul e leste, houve sedimentação, totalizando sua área para 2.475.132,4 m² em 1992.

O lago isolado na parte central manteve-se estável, com pouco de redução.

O Igarapé Tabaco manteve sua extensão estável, porém, como se observa em alguns trechos a margem direita mostrou a atuação do processo de sedimentação, equivalendo a uma área de 130.414,2 m² e a margem esquerda obteve áreas de ganho, 197.188,9 m² a mais.

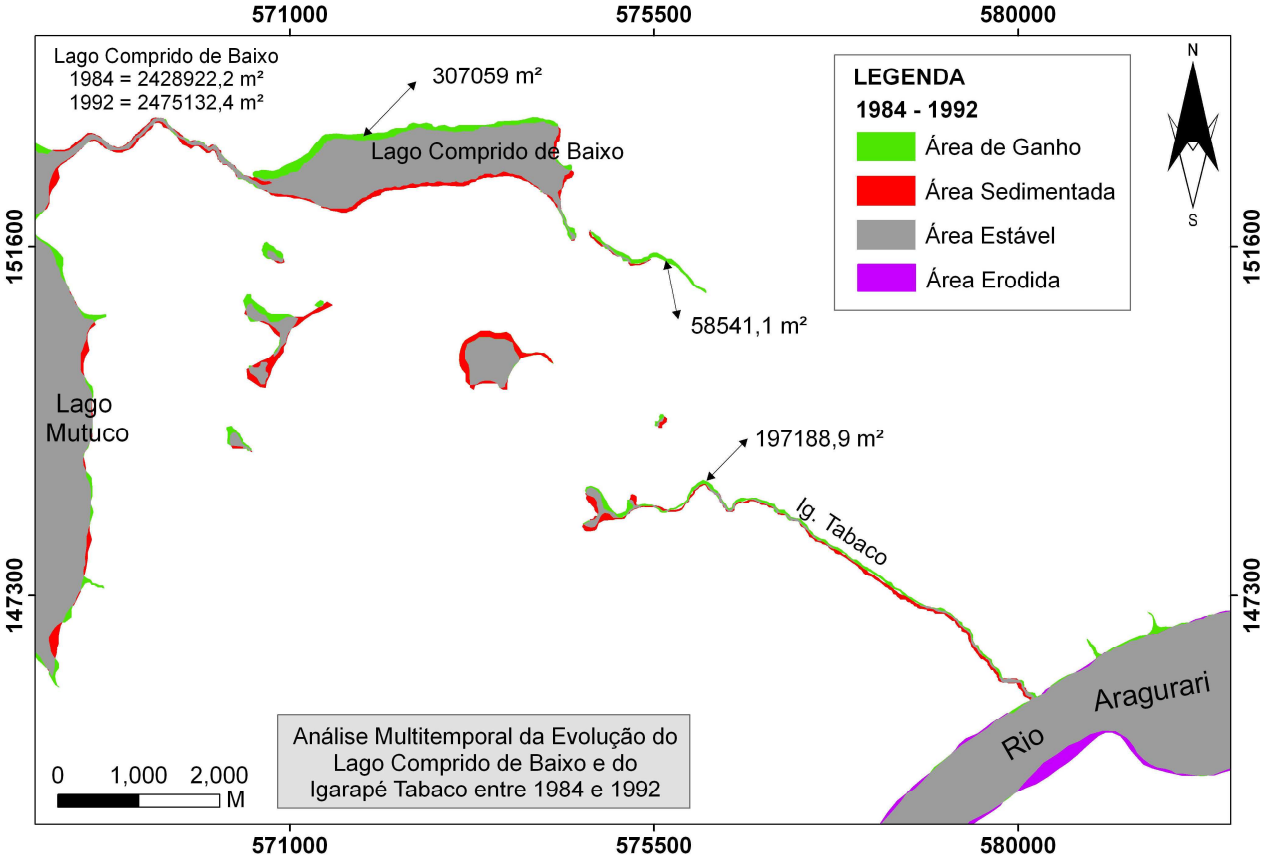


Figura 5.15 - Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1984 a 1992.

Entre as análises do período de 1992 a 1998, o balanço de áreas foi mais significativo, principalmente na área do Igarapé Tabaco como mostra a Figura 5.16.

O Lago Comprido de Baixo, houve ganho de área na parte leste, com 97.907,7 m² e na parte sul houve redução por área sedimentada, que no balanço geral de área estável em comparação com o ano de 1992, reduziu para 2.426.737,1 m².

O Igarapé Tabaco mostrou-se mais dinâmico com as áreas de ganho, sedimentação e estável. Seu curso aumentou e obteve em 1998 10 km de extensão aproximadamente e conectando ao lago isolado na parte central, que nesse período já encontrava-se com sua área sedimentada.

Observa-se a mudança de curso que o Igarapé passa a se orientar. Até 1992 seu curso seguiu para o sentido noroeste-oeste, de 1992 para 1998, mudou para o sentido noroeste-norte.

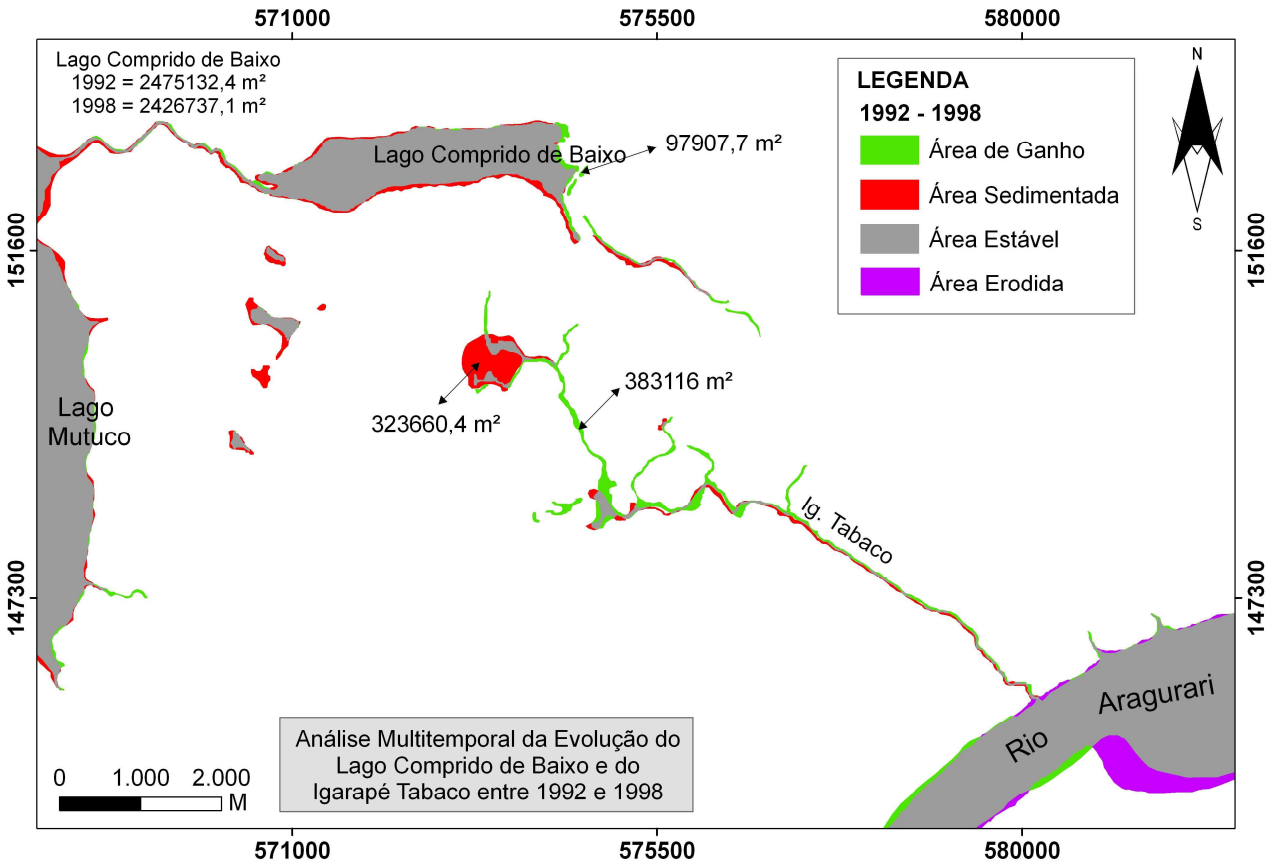


Figura 5.16 – Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1992 a 1998.

Entre o período de 1998 a 1999 (Figura 5.17), é marcado pela maior alteração da área do área do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco. O equilíbrio que o Cinturão Lacustre Meridional até então mantinha enquanto "*sistema fechado*" altera completamente expondo o cinturão lacustre meridional a influência da maré e ao escoamento superficial dos Lagos, circulação de fluxos e possivelmente mudança no comportamento da biota local.

Neste período, a área que rompeu ao sul do Lago, foi de 840.724,7 m², a largura que da área foi de 811,5 m. Com essa abertura, o Lago Comprido de Baixo que possui em 1998 2.426.737,1 m², aumentou para 2.999.524,7 m² em 1999, obtendo um ganho de 572.787,6 m² de área. Com a abertura, mas ao sul o canal abriu e alargou aproximando e conectando o curso com o Igarapé Tabaco.

No Igarapé Tabaco, os afluentes que surgem nas margens se intensificam, influenciando o balanço de áreas de ganho, sedimentada e estável, além dos trechos que apresentam processos de erosão. A área sedimentada foi de 283.580,2 m². A extensão do

Igarapé aumentou para 11 km em 1999, mantendo-se até o ano de 2008com a mesma extensão.

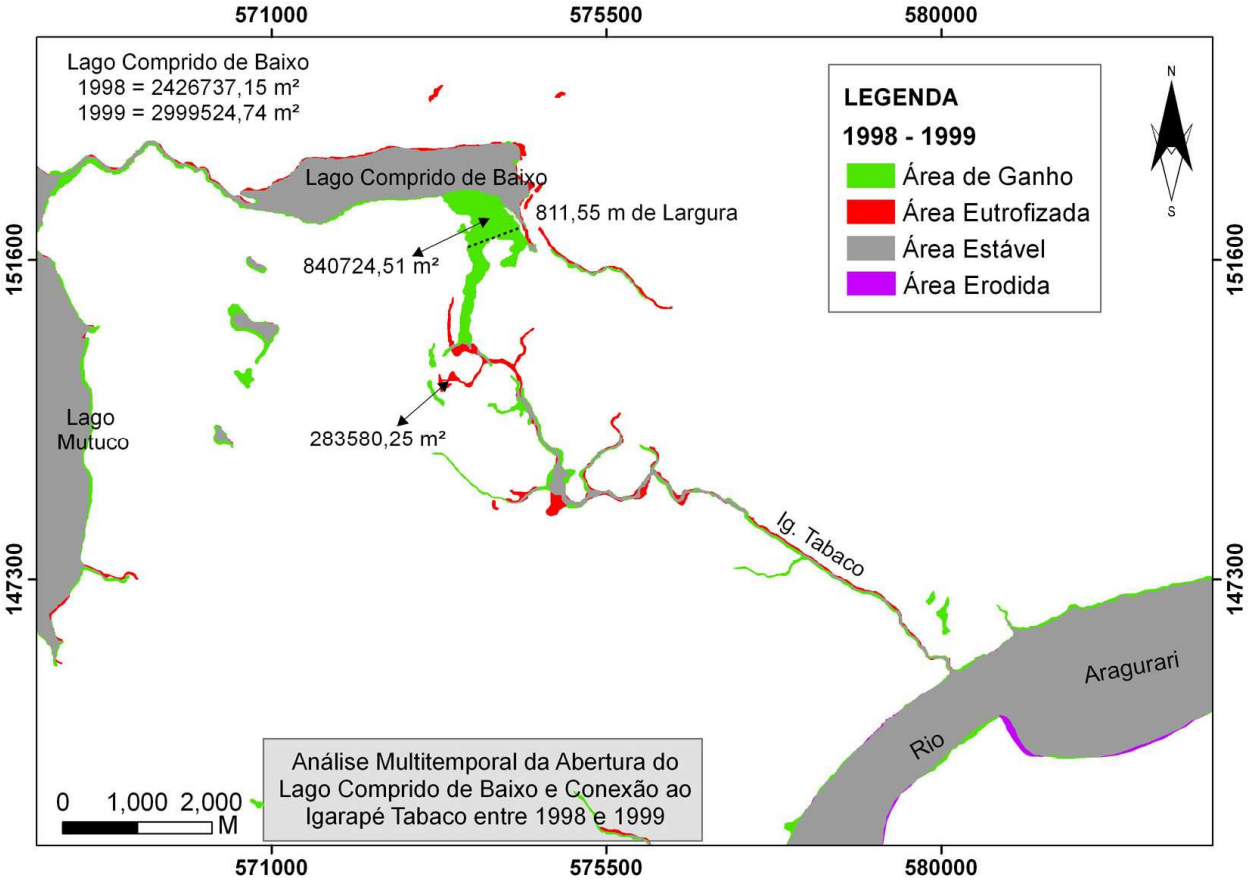


Figura 5.17 – Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1998 a 1999.

Silveira (1998) já indicava como o principal sangradouro da região dos lagos. No mesmo período, esta autora observou um desnível topográfico entre a região dos Lagos e o rio Araguari, sendo confirmando posteriormente, que este desnível se encontra localizado na parte sul do Lago Comprido de Baixo (Figura 5.18), num local definido por ela como "*Cachoeirinha*". Apesar de os lagos estarem em altitude acima da Referência de Nível - RN estabelecido na foz do Igarapé Tabaco em 2005 a partir do nivelamento topográfico por toda extensão da margem esquerda deste igarapé (Martins *et al*., 2006). reconheceu na margem esquerda do Igarapé Tabaco, a presença de desnível topográfico ao longo do curso como se observa na Figura 5.18.

O primeiro ponto, a qual foi estabelecido o RN da área, (foz do Igarapé Tabaco), deste até os 1,1 km de trecho, o ambiente dominante é de campo de várzea, com presença de valas artificiais criadas pela presença do gado bubalino que ainda se encontram dentro

da área, das antigas fazendas existentes na área antes da criação da Reserva Biológica do Lago Piratuba.

O segundo ponto de topográfico, entre os mais significativos, é a maior altitude de toda a extensão do Igarapé Tabaco, com 1,83 cm de altitude, localizado no ambiente de domínio de várzea, com vegetação de maior porte se misturando com tipos de palmeiras, as margens do igarapé Tabaco é protegido por uma mata mais densa.

Posteriormente, no ponto central do Igarapé Tabaco, há a menor altitude de toda a extensão do perfil, com -0,17 cm em relação ao RN, isso quer dizer que está abaixo do nível. Esse ponto coincide com uma área de campo, onde nas margens se presencia processos erosivos e assoreamento, e pelas análises das imagens, este trecho até 1992 tendia a seguir seu curso para oeste, porém, diante do cenário dinâmico da região, a partir de 1998 seu curso inflete bruscamente para noroeste, onde irá se conectar posteriormente ao Lago Comprido de Baixo.

Esta mesma área é conhecida como a região do "*Ceboleira*", justamente por apresentar uma complexa evolução ao longo dos 36 anos do Igarapé Tabaco. Em determinado momento (observar a Figura 5.14), 1972, havia a existência de um pequeno lago, que com a evolução do igarapé, parte de sua área foi colmatada ou sedimentada, deixando apenas a permanência de um curso de água, posteriormente.

O último ponto selecionado é próximo a entrada do Lago Comprido de Baixo, onde a altitude apresentada é de 0,74 cm em relação ao RN, ou seja, está acima do nível da foz do Igarapé Tabaco. Pelo perfil topográfico, é possível perceber um leve escalonamento morfo-sedimentar, desde o Lago Comprido de Baixo até o rio Araguari.

Durante o período seco a "*Cachoeirinha*" fica exposta, assim com também outras feições morfológicas do Lago Comprido de Baixo com pode ser observado na Figura 5.19, feições estas identificadas por Silveira (1998). Esta mesma autora advoga que todo Cinturão Lacustre Meridional está submetido a uma colmatação progressiva, com alto teor de concentração de depósitos de matéria orgânica no Lago Comprido de Baixo.

Para os anos posterior a 1999, os processos de redução da área útil, redução do volume de águas, redução da profundidade, e conseqüentemente a eutrofização no Lago Comprido de Baixo tornou-se mais acelerado.

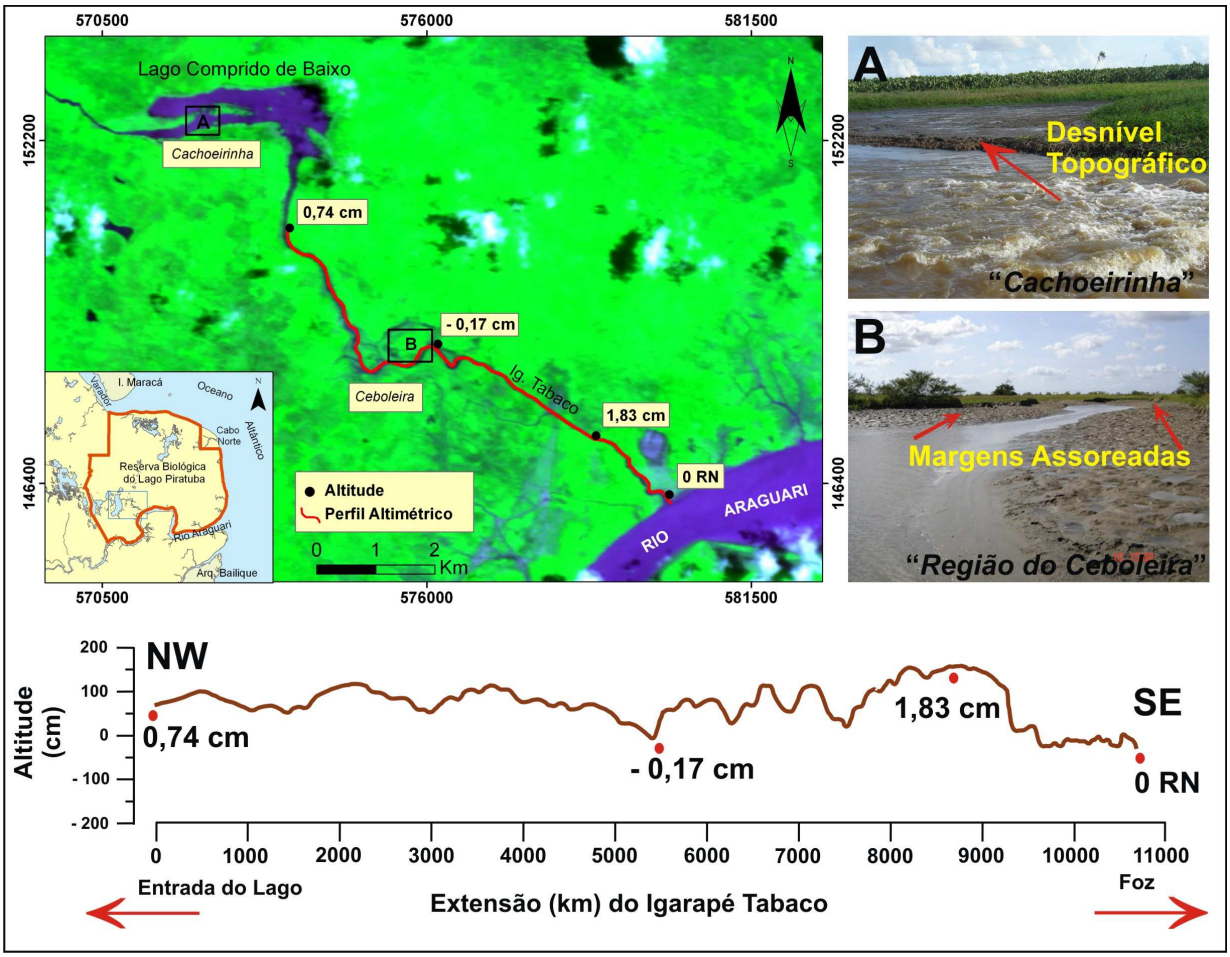


Figura 5.18 - Perfil topográfico da margem esquerda do Igarapé Tabaco com evidências de desníveis topográficos. **a**) Foto do local conhecido como "*Cachoeirinha*", evidenciando o primeiro desnível topográfico dos lagos; **b**) local central do igarapé Tabaco, área de campo, mostrado ser o ponto mais inferior ao RN. **Fotos**: **a)** Odete Silveira (2005) e **b)** Acervo CPAQ/IBAMA (2005). **Acervo da Imagem**: (www.dgi.inpe.br/CDSR).

No período seco, com a redução do nível de água, assim como os demais lagos, extensas feições morfológicas são expostas a superfície (Figura 5.19), sendo que boa parte já se encontram vegetada por macrófitas aquáticas, como indicado nas setas de cor vermelha (B, C, D e E). São feições morfológicas semelhantes a um escalonamento de seqüência paralela a forma do Lago, de noroeste para sudeste. Na foto aérea, percebe-se a permanência de canal (indicado pela seta da cor azul e tracejado amarelo) de escoamento na parte S do Lago, contornando a margem direita. Canal este, com profundidade superior de até 6 metros conforme Martins *et al.* (2006).

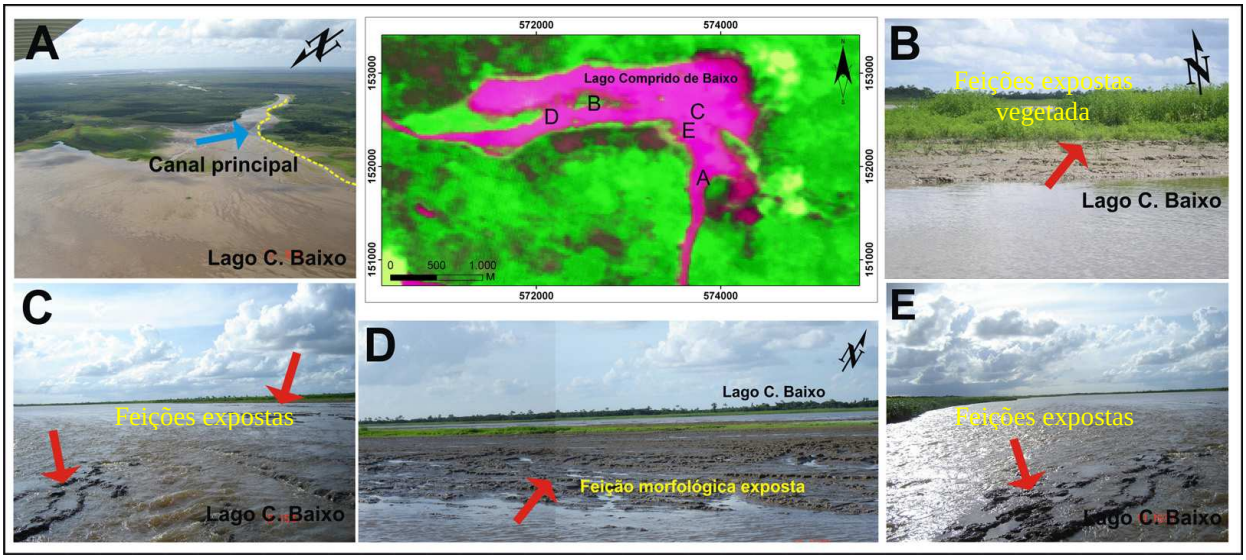


Figura 5.19 – Feições morfológicas do Lago Comprido de Baixo, durante o período seco: **A)** Foto aérea mostrando a as feições da parte sul do Lago em outubro de 2005 (Autor da Foto: Odete Silveira); **B)** Foto evidenciando a feição morfológica vegetada do Lago, exposta durante o período seco, foto registrada em novembro de 2005 (Autor da Foto: Maxley Dias); **C)** e **E)** Foto mostrando a extensa feição morfológica e corrente no sentido S do Lago Comprido de Baixo, em novembro de 2005 (Autor da Foto: Odete Silveira); **D)** Mosaico de fotos mostrando a feição morfológica exposta vegetada por macrófitas aquáticas no centro do Lago, com avanço de W para E.

Entre os anos de 1999 e 2000 (Figura 5.20) é o período após o rompimento da barreira de matéria orgânica e abertura do Lago Comprido de Baixo, o lago e o igarapé Tabaco mantiveram-se com suas áreas mais estáveis. Para o Lago Comprido de Baixo a redução de área é pouca, restringindo-se a pequenos trechos das margens, a diferença entre esses dois anos de redução foi de apenas 104.020,74 m², alterações estas evidenciadas mais na área do canal que abriu. Vale sempre ressaltar que diante da questão sazonal, que determina e influencia a mobilização, deslocamento e fixação das macrófitas aquáticas as margens, foram realizados diversos tipos de tratamentos nas imagens.

O Igarapé Tabaco manteve sua área mais estável e as maiores alterações foram evidenciadas na parte central, área esta onde o processo de assoreamento é mais atuantes e crítico.

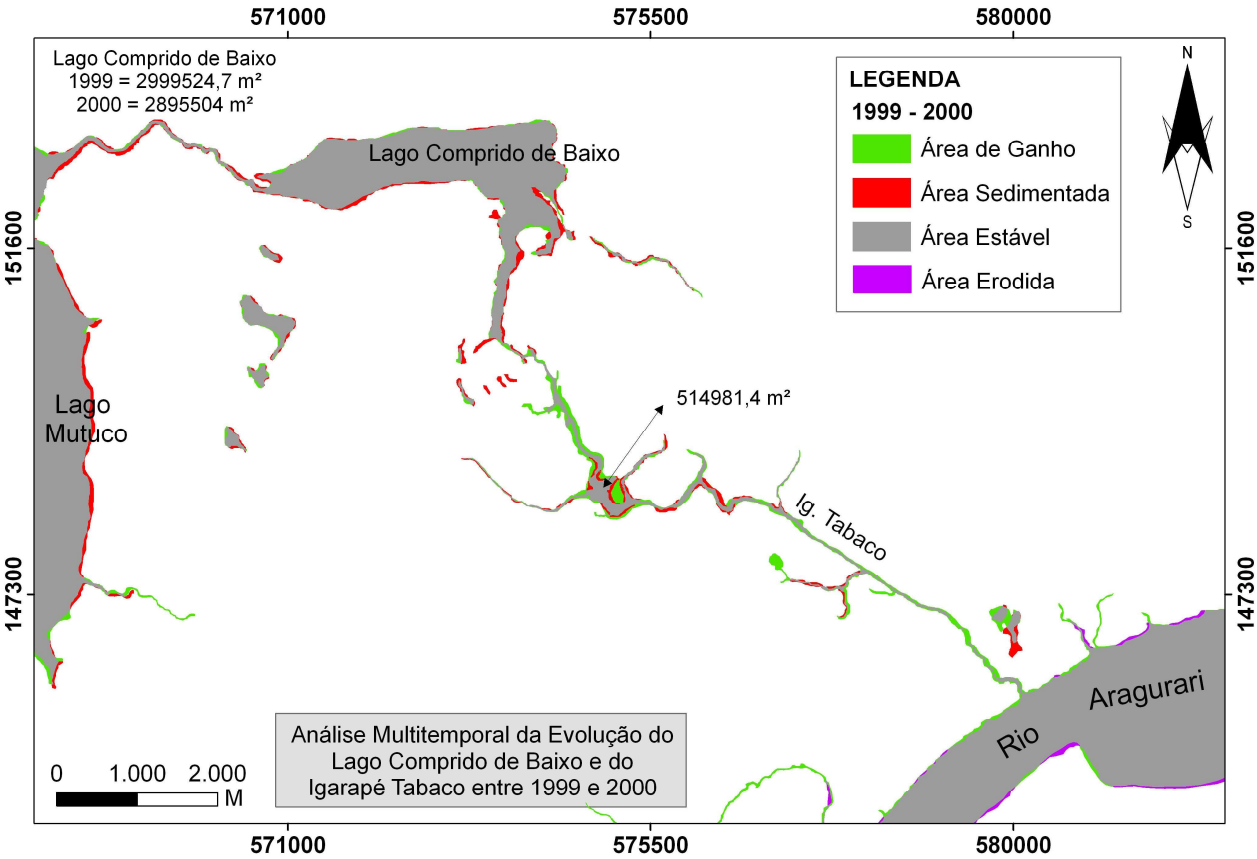


Figura 5.20 – Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1999 a 2000.

No período seguinte 2000 a 2003 (Figura 5.21), baseado pelas análises das imagens de satélites, as mudanças já se mostram evidente quanto à redução de área útil de água do Lago Comprido de Baixo, ocasionada pelo processo de sedimentação e ocupação por macrófitas aquáticas da parte oeste para o centro do lago. Em termos de área reduzida foram 753.458 m² de 2000 para 2003, permanecendo a área estável com 2.199.115,4 m².

No Igarapé Tabaco, algumas pequenas drenagens da área central deste igarapé registradas em 2000 foram alteradas por processos de sedimentação e assoreamento. A área sedimentada foi de 449.719,2 m².

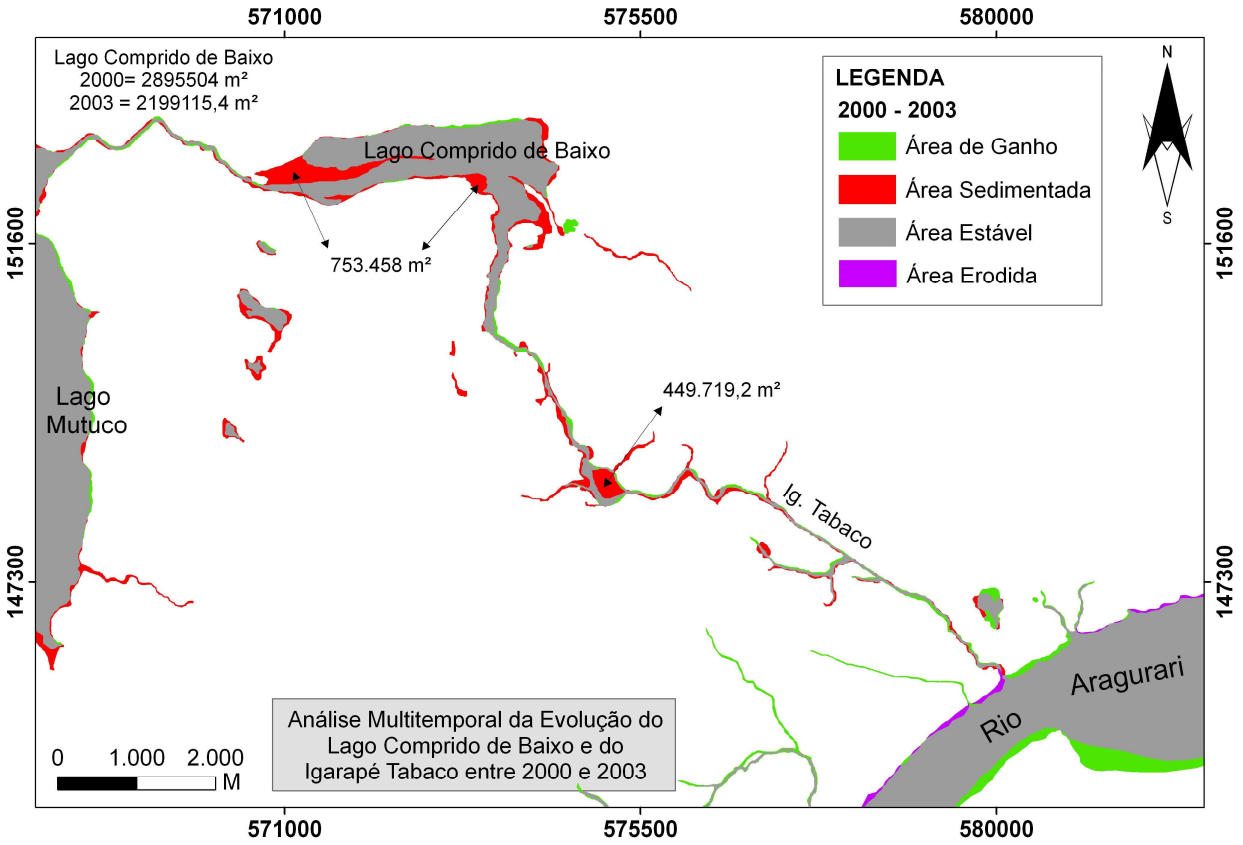


Figura 5.21 - Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 2000 a 2003.

Na análise do período entre 2003 a 2005 conforme Figura 5.22, o Lago Comprido de Baixo continuou a reduzir e a área central sofrendo com o avanço das macrófitas. Houve várias drenagens que surgiram e nesse período, principalmente na área mais próxima ao rio Araguari, outras próximas ao Igarapé Tabaco.

Entre 2003 e 2005 o volume reduzido foi de 269644,85 m² e a área total do Lago Comprido de Baixo já de 1929470,61 m². Pode observar pela análise multitemporal o quanto foi reduzido com a proliferação e avanço das macrófitas. O avanço se dá nas áreas mais rasas do lagos de oeste para leste, na área central do lago. Com esse avanço na parte central, na parte sul do lago, vai se delineando um filete de canal, local onde se pode navegar no período seco.

Nesta parte sul, dados batimétricos (Figuras 5.25 e 5.26) de 2008 mostrou uma profundidade de 10 metros, considerável diante da batimetria de 2005 onde este mesmo setor apresentou uma profundidade de até 6 metros (Martins *et al*., 2006).

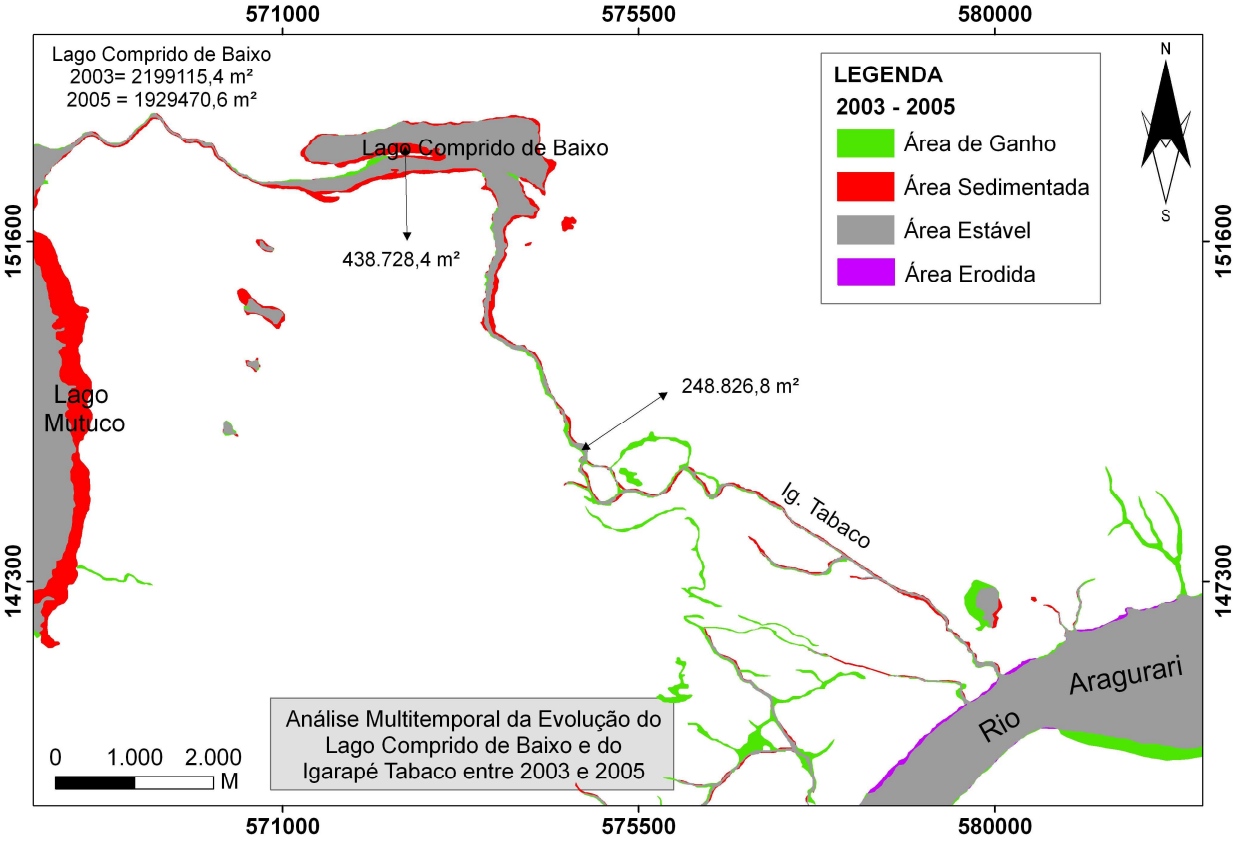


Figura 5.22 - Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 2003 a 2005.

Para o período de 2005 à 2008, o Lago Comprido de Baixo registrou uma perda de área útil de água de 719.788,89 m² e sua área total é de 1.225.492,04 m². Percebe-se pela Figura 5.23 que o avanço progressivo das macrófitas aquáticas se dá em dois níveis, principalmente de oeste para leste, pela área central e de nordeste e sudeste.

A parte sul do Lago Comprido de Baixo onde houve a abertura pelo mapeamento de 1999, em 2008 sua largura foi bastante reduzida.

Conforme orientação pode-se observar a forte atuação dos ventos contribuindo na mobilização e fixação das macrófitas aquáticas. O Igarapé Tabaco, apresenta alterações no médio curso, com os processos de erosão e assoreamento nas duas margens, contudo o canal principal do igarapé manteve uma área estável de 325.673,8 m².

As drenagens que surgiram a partir de 2005 próximas do Rio Araguari também apresentam processos de assoreamento.

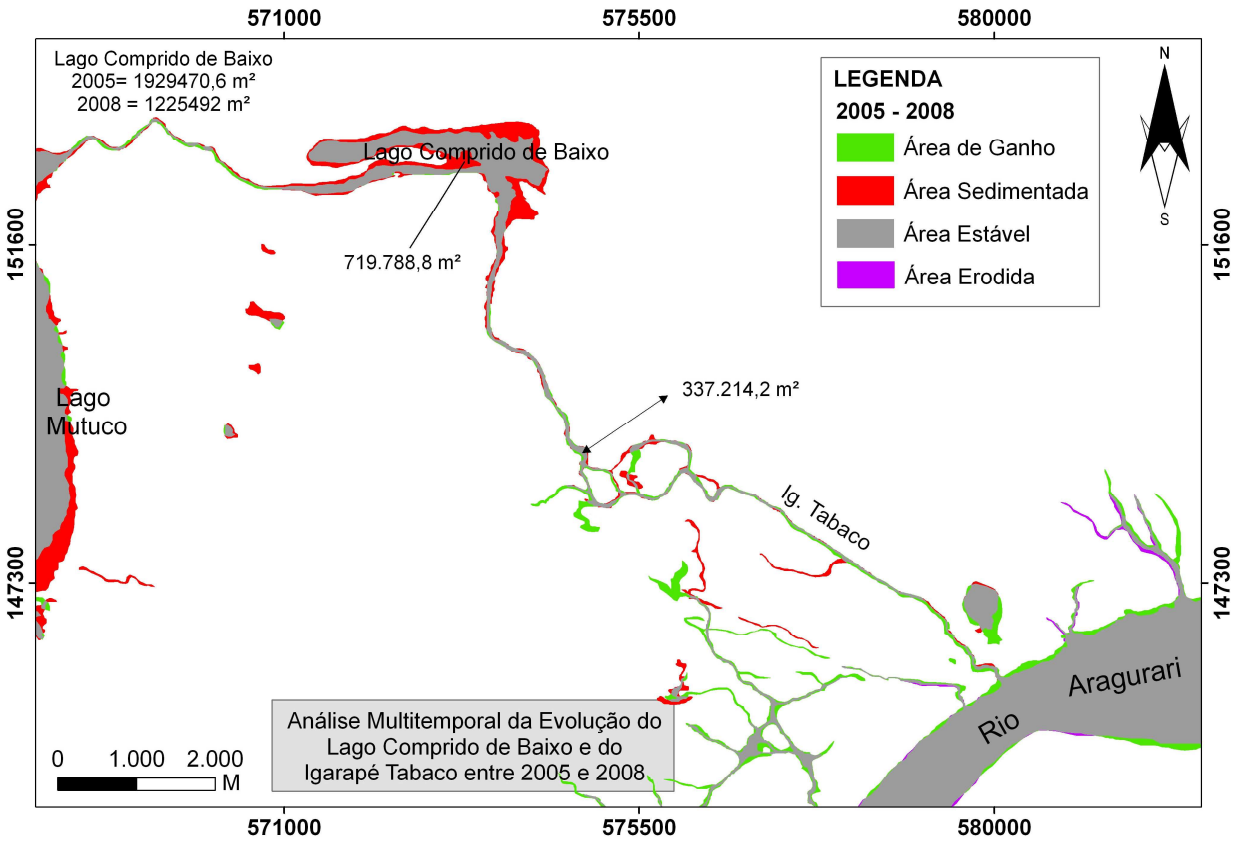


Figura 5.23 - Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 2005 a 2008.

No geral, pela análise da evolução da área entre 1972 a 2008 (Figura 5.24), o Lago Comprido de Baixo, em 36 anos de evolução apresentou significativa redução de área útil, com base nas informações das análises o Lago reduziu em mais de 50% de área, 2.634011,8 m² em 1972, reduziu para 1.225.492 m² para 2008. Porém, em 36 anos este lago apresentou dois momentos importantes na evolução de área, de 1972 até 1999, a tendência do lago foi de ganho de área, como visto anteriormente, nesse período (intervalo de 27 anos) o lago sofreu pouca redução de área, contudo, o ganho de área foi superior quando ocorreu a abertura do canal em 1999.

A partir de 1999, o outro período crítico é entre 2000 a 2008, o lago tende a uma progressiva redução de área útil. Em apenas 8 anos de intervalo de tempo o lago foi reduzido em mais de 50% de sua área estável. O principalmente processo foi a sedimentação do lago pela densa ocupação das macrófitas aquáticas, tanto no Lago Comprido de Baixo, como também no Lago dos Ventos. O alto aporte de sedimentos registrados e estimados pelos dados de descarga líquida em 2008, favoreceu a ocupação da área pelas macrófitas aquáticas.

O Igarapé Tabaco, que em 1972 possuia aproximadamente 1,2 km de extensão, e em 2008 seu curso é de aproximadamente 11 km de extensão desde o Lago até a foz. Sofreu intensos processos ao longo de sua evolução, como erosão, assoreamento e sedimentação.

Os valores de áreas apresentados acima mostram uma preocupação alarmante para a funcionalidade e existência do Lago, e a tendência é a sedimentação, com permanência apenas de um curso de canal na região sul do lago. Esses processos são inerentes a própria evolução da planície costeira, contudo, com a ação antrópica temporária, os processos aceleram em curto prazo de tempo.

A ação antrópica ocorrida em um momento mostrou o alto grau de fragilidade do sistema lacustre meridional da Reserva Biológica do Lago Piratuba, comprometendo sua funcionalidade e existência.

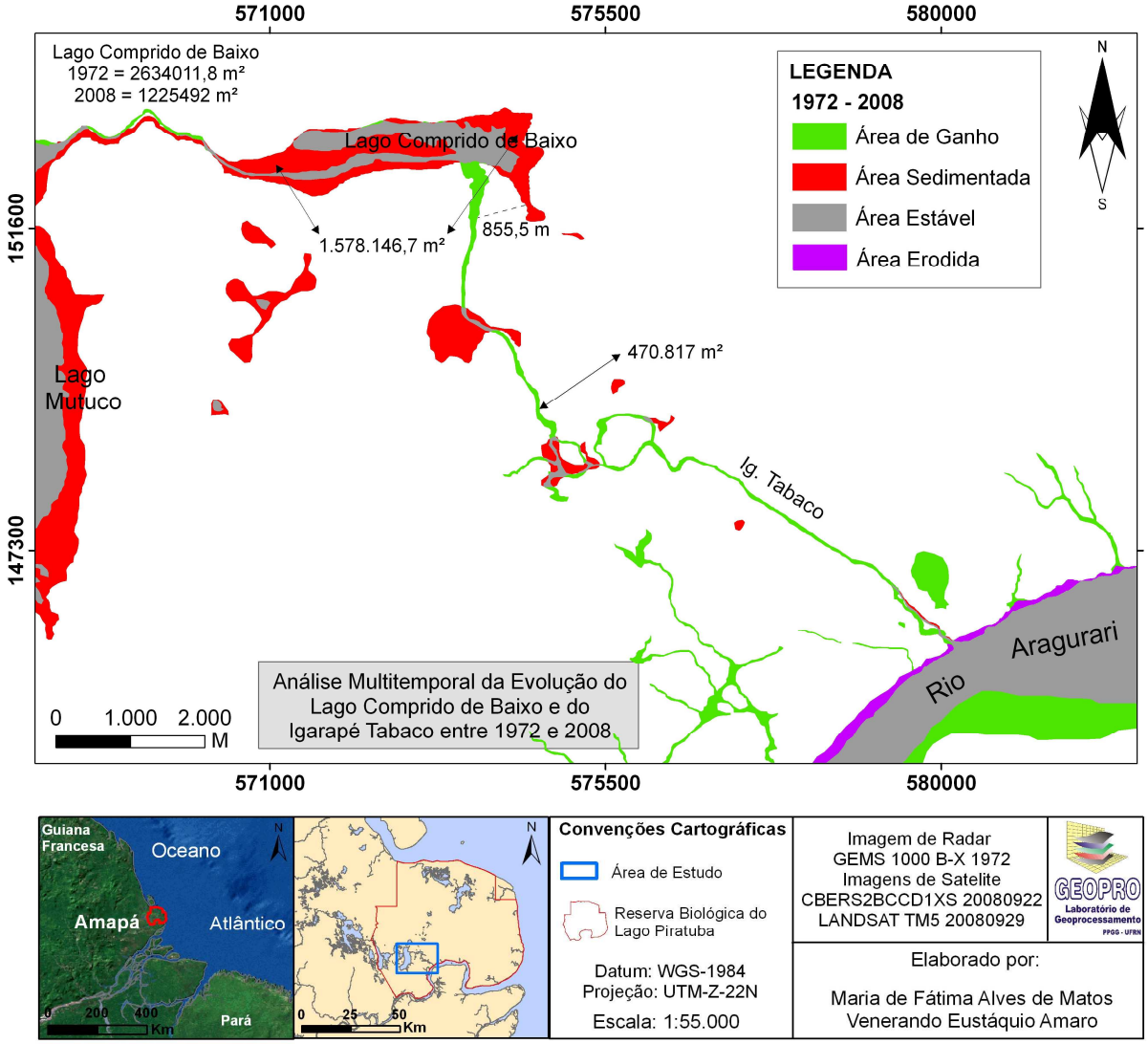


Figura 5.24 – Evolução multitemporal do Lago Comprido de Baixo e Igarapé Tabaco entre 1972 a 2008.

5.4 ANÁLISE DOS DADOS BATIMÉTRICOS DO LAGO COMPRIDO DE BAIXO

Em junho de 2005 (Martins *et al*., 2006) foi realizado o primeiro levantamento batimétrico da região do Cinturão Lacustre Meridional, no trecho compreendido entre o Lago dos Ventos, Mutuco, Comprido de Baixo e toda a extensão do Igarapé Tabaco. Posterior, há esse ano, em maio de 2008, foi realizado novamente o levantamento batimétrico da área, contudo, este levantamento restringiu-se apenas ao Lago Comprido de Baixo.

O processamento dos dados batimétricos cedido por Martins *et al.* (2006) e do levantamento junto a equipe pela campanha de campo de maio de 2008, teve como resultado duas cartas batimétricas de contornos e isóbatas em metros com efeitos de sombreamento.

As Figuras 5.25 e 5.26 mostram as morfologias de fundo do Lago Comprido de Baixo. As análises as seguir foram obtidas a partir dessas cartas, associadas às informações de campo e das considerações já mencionadas nos mapas de análise multitemporal de abertura do Lago Comprido de Baixo e conexão com o Igarapé Tabaco.

As zonas de maiores profundidades encontram-se junto a margem sul do Lago e seguindo o canal de ligação com o Igarapé Tabaco, tanto em 2005 quanto em 2008. na margem norte, há uma pequena zona com profundidade superior a 6 metros, em ambas as cartas batimétricas.

Percebe-se pelas análises comparativas entre 2005 e 2008, nas zonas A e B das Figuras 5.25 e 5.26 que as profundidades aumentaram e houve alargamento do canal principal, e houve um avanço das feições morfológicas emersas em tamanho e direção (W-E). As profundidades, forma e largura do canal, evidenciam diferenças de níveis de mecanismos atuantes no Lago Comprido de Baixo.

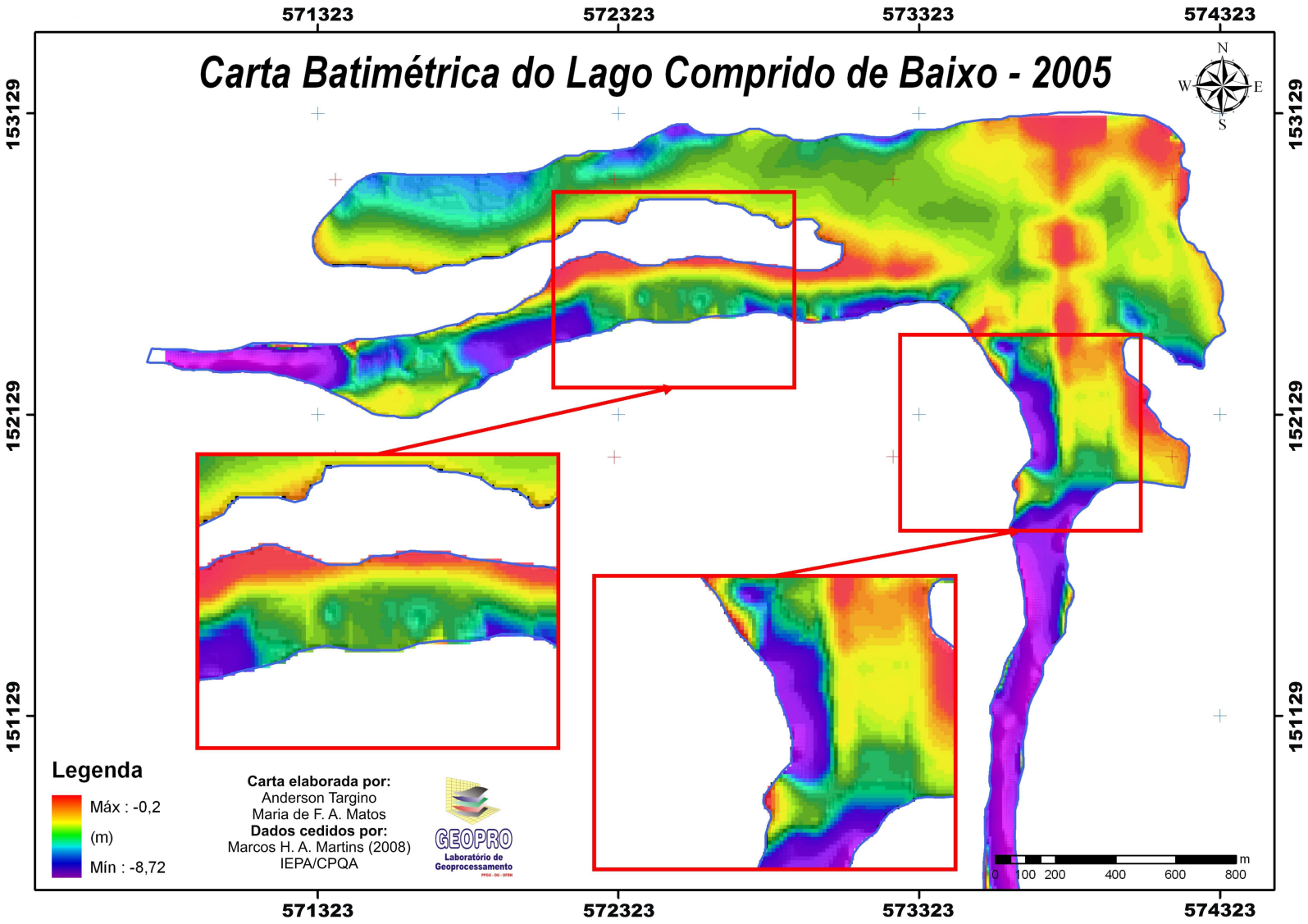


Figura 5.25 – Carta batimétrica do Lago Comprido de Baixo de 2005, mostrando as zonas do canal principal. **Fonte**: Martins *et al*. (2005).

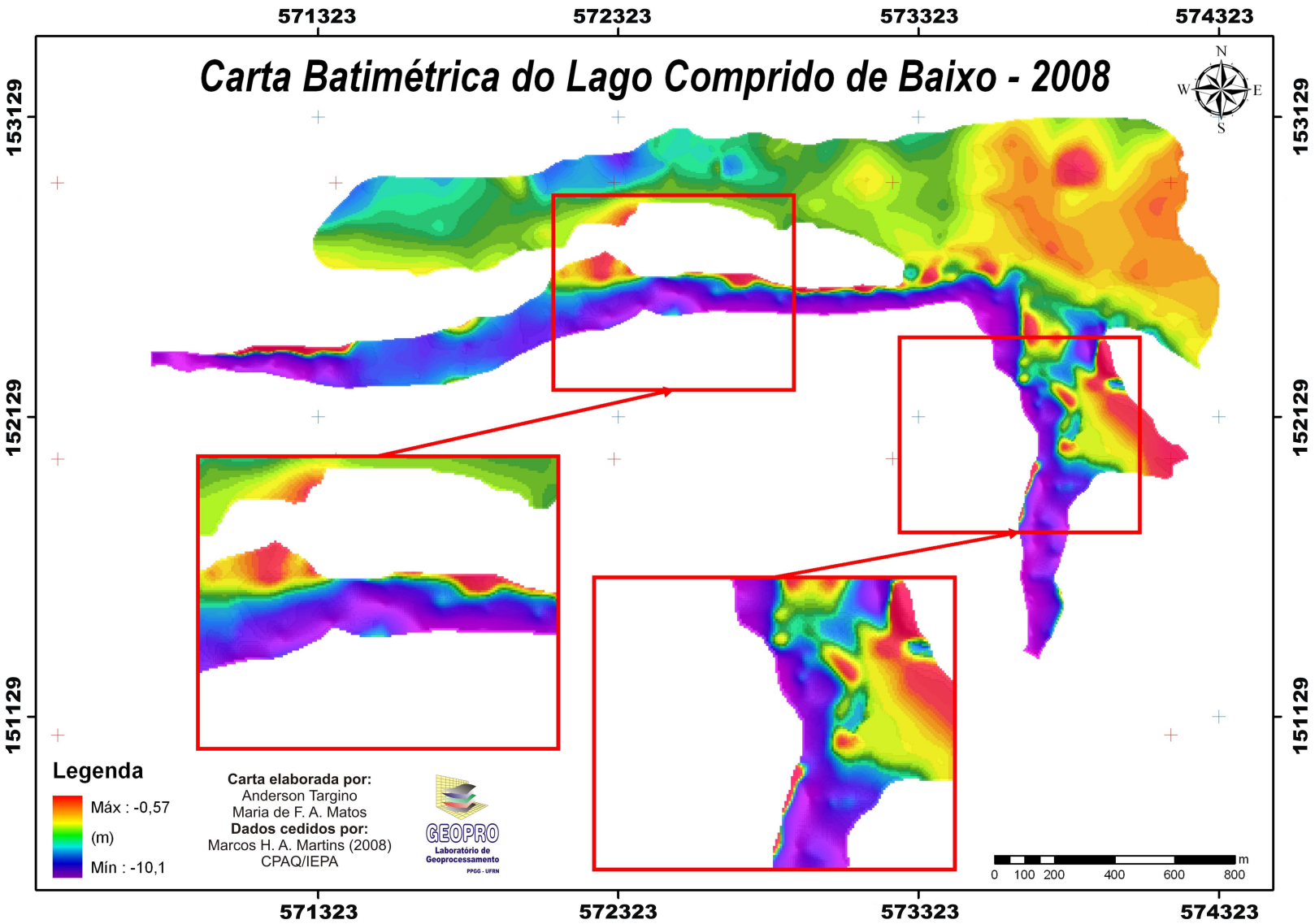


Figura 5.26 – Carta batimétrica do Lago Comprido de Baixo de 2008, mostrando as zonas do canal principal de navegação. **Fonte**: Martins *et al*. (2008).

5.5 APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ÍNDICES PARA ESTIMAVA DE ÁREAS OCUPADAS PELAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Muitos autores têm explorado análises de sistemas lacustres por meio de imagens de satélites dos sensores orbitais. Para a região Amazônica, os sistemas lacustres de planícies inundáveis, nesta última década, têm sido alvo de alguns estudos com aplicabilidade de métodos para obtenção das respostas espectrais dessa região. No Amapá, pouco se tem de informação quanto ao uso do sensoriamento remoto para estudo das características ambientais dos sistemas lacustres, como por exemplo, técnicas e métodos para detecção e delineamento de corpos d'água (Fortin *et al*., 2000).

Com o uso da imagem de satélite do sensor CBERS 2 CCD1XS adquirida para a data de 12 de setembro de 2005, foi aplicado o método do *NDWI* (Índice de Diferença Normalizada da Água), com o objetivo de delinear ambientes de águas abertas, automatizando a determinação do limiar entre a água e a terra (vegetação terrestre e solo), que permite: maximizar a reflectância típica da água usando o comprimento de onda da luz verde, minimizar a baixa reflectância dos corpos de água no infravermelho-próximo e realçar o contraste entre a água e a superfície terrestre proporcionada pela banda infravermelha (Mcfeeters, 1996). O método de *NDVI* (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada), tem o objetivo de contrastar o crescimento e o vigor de vegetação (Ponzoni, 2001), no caso, macrófitas aquáticas emersas e vegetação densa das margens dos lagos (Figura 5.27).

As equações **1)** e **2)**, mostras os cálculos dos métodos:

$$NDWI = \frac{G - 4NIR}{G + 4NIR} \quad 1) \qquad NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad 2)$$

Onde na equação 1) o NDWI produz o valor 1 para corpos d'água e próximo de -1 para as demais feições. Na prática, devido aos baixos valores de brilho registro na imagem NIR, o valor NDWI oscila em torno de zero para corpos d'água e – 1 para outras feições (Polidorio *et al*., 2004).

Na equação 2) é aplicada diretamente sobre cada par de pixel (R, NIR), produzindo um valor pertencente ao intervalo [-1, 1]. Quanto mais próximo de 1, maior é a certeza de estar se tratando de um pixel de vegetação (Jensen, 2000).

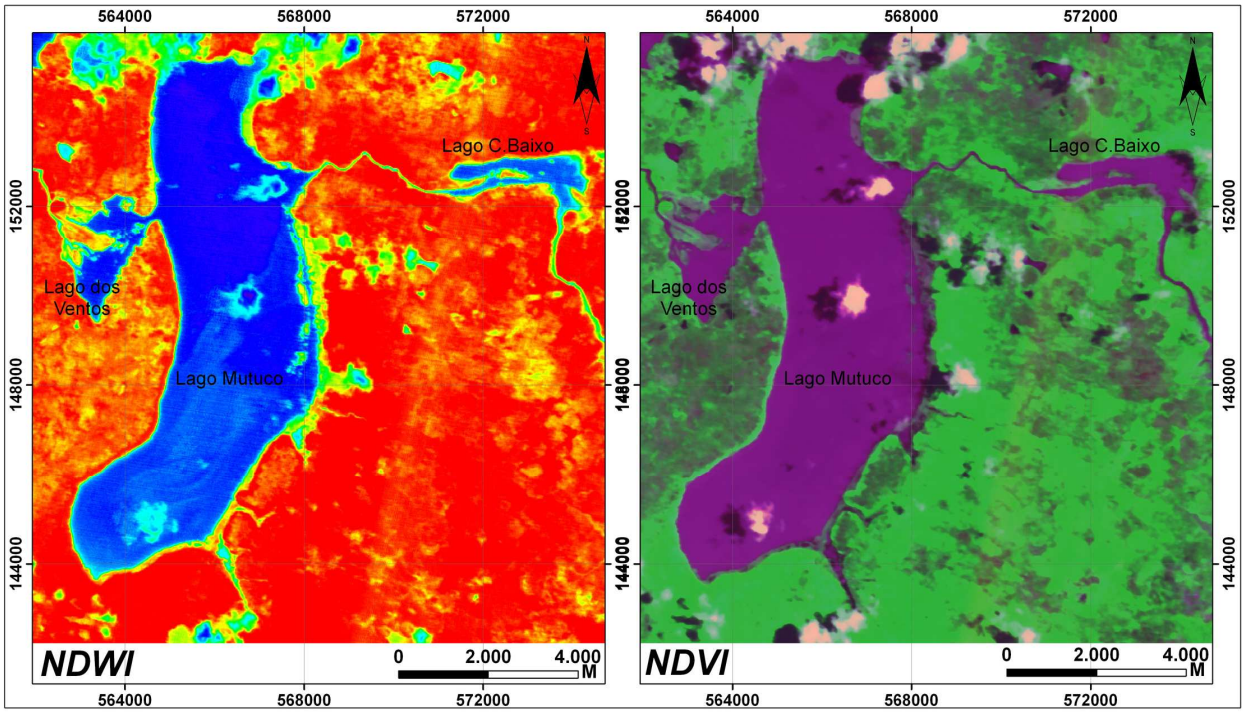


Figura 5.27 – Imagens de satélite Cbers 2 de 2005, com aplicação dos Métodos de índices (*NDWI e NDVI*).

Com base nas análises dos métodos aplicados à morfologia lacustre, foi possível delinear e mensurar a forma dos lagos e estimar em área (km² e m²) ocupada por macrófitas aquáticas (Figura 5.28).

Os dados morfométricos dos lagos foram obtidos pela interpretação e análises da imagem de radar de 1972 e CBERS 2 CCD1XS de 12/09/2005, no período seco.

O primeiro dos lagos, o Lagos dos Ventos, se apresenta com uma forma triangular norte-sul, sua área é de 3,9 km², e seus canais de entrada e saída encontram-se no sentido oeste-leste, e possui ligação direta com o Lago Mutuco, na parte leste.

O Lago Mutuco, é o maior entre todos os lagos estudados com uma área de 37,24 km²; possui uma forma semelhante a um S no sentido norte-sul, com um comprimento na longitudinal de 12,8 km, e sua largura máxima se encontra na parte abaixo dos canais de saída, com 3,3 km de largura.

O Lago Comprido de Baixo é o menor dos lagos, com uma área de 3,07 km² e sua forma se orienta de oeste-leste, com largura máxima na parte leste de 1,4 km. Este último lago tem sua forma infletida para sul onde irá se conectar com o Igarapé Tabaco.

A Figura 5.28, apresenta um cenário da área dos lagos com estimativa da área densamente ocupada pelas macrófitas aquáticas. Observa-se que a área reduz consideravelmente. De uma área total de 44,44 km² (considerando a margem real), a área com a presença dessa vegetação aquática reduz para 36,05 km².

No lago dos Ventos, praticamente 1/3 de sua área é ocupada pelas macrófitas, com 1,9 km². A maioria dessa vegetação desce dos lagos que se encontram mais a oeste deste e também são trazidas pelo fluxo do Lago Mutuco a leste, com a ajuda dos ventos, que contribuem para deslocar para oeste as ilhas emersas de macrófitas.

O Lago Mutuco, devido suas características morfométricas, em largura e extensão, é o lago que menos apresentou ocupação pelas macrófitas, devido a maior área e onde as macrófitas podem movimentar-se com mais facilidade. A presença dessa vegetação é predominante na margem leste, onde a atuação dos ventos é reduzida e menor turbulência da massa líquida, permitindo que a vegetação encontre um gradiente propício a sua fixação a margem, em relação à margem real que é de 37,24 km², com a presença das macrófitas, reduz para 32, 5 km².

Já o Lago Comprido de baixo também apresenta uma variação significativa devido à forte presença das macrófitas aquáticas, sendo sua área reduzida para 1,5 km² de um total de 3,07 km², principalmente na parte centro-oeste do lago, com a deposição do sedimento, este rico em nutrientes favorece a fixação das macrófitas. A deposição do sedimento se dá no sentido oeste-leste, reservando apenas um canal de navegação na parte sul. Tanto o Lago dos Ventos como o Lago Comprido de Baixo, são os mais afetados pela proliferação das macrófitas aquáticas.

A Figura 5.28 mostra os valores estimados de áreas ocupadas pelas macrófitas em 2005. Como pode ser observado, e comparando com os números anteriores, o Lago dos Ventos e Comprido de Baixo já possuem aproximadamente 50% de áreas úteis de água ocupadas por macrófitas. No total somando a área dos três Lagos, são 8,39 km² ocupada por macrófitas. Para o Lago dos Ventos a ocupação por macrófitas, foi estimada

em 1,9 km², o Lago Mutuco em 4,7 km² e o Lago Comprido de Baixo em 1,5 km². Em percentuais às suas áreas representam: 49%, 8% e 48% respectivamente.

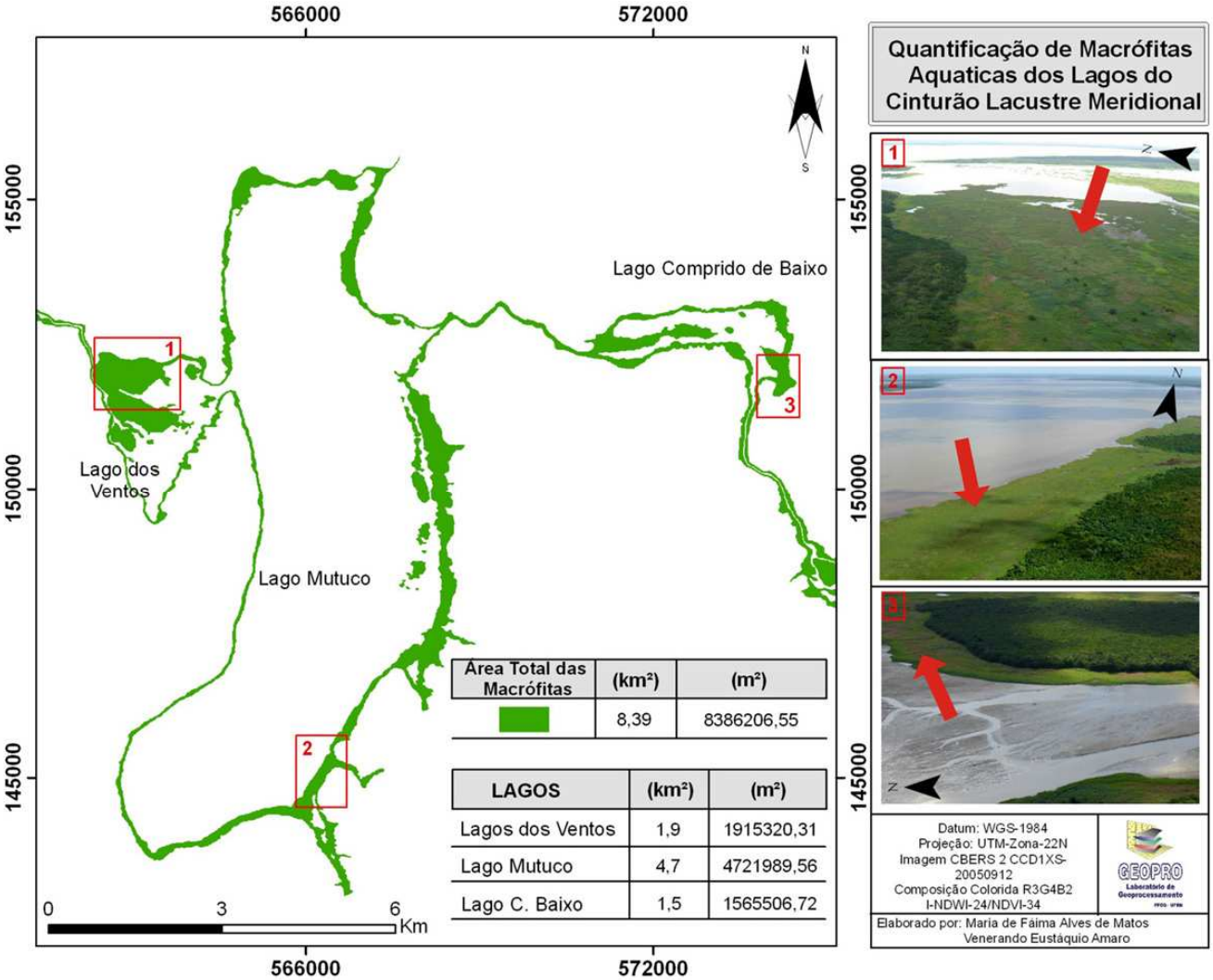


Figura 5.28 – Estimativa da ocupação das margens pelas macrófitas aquáticas na região dos Lagos dos Ventos, Mutuco e Comprido de Baixo. **1)** Lago dos Ventos, parte noroeste do lago com indicação da seta em vermelho da margem ocupada pelas macrófitas; **2)** Lago Mutuco, margem sudeste com indicação da seta em vermelho da margem ocupada pelas macrófitas; **3)** Lago Comprido de Baixo, parte sul do com indicação da seta em vermelho da margem ocupada pelas macrófitas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta dissertação conduziram às conclusões descritas a seguir:

- O método acústico para a medição de descarga líquida dos lagos e igarapés mostrou-se eficiente para a obtenção dos dados de vazões, velocidades do fluxo e direção da corrente. Pelo método acústico com o uso do equipamento ADCP, os dados podem ser obtidos com maior rapidez.
- Pela praticidade que o equipamento oferece, juntamente com a possibilidade de dois equipamentos medindo simultaneamente (jusante e montante), têm-se rica contribuição quanto a caracterização hidrodinâmica da área de estudo. No entanto, pelas condições sazonais, não foi possível obtenção de dados no período seco, em função do baixo nível da lâmina d'água, comprometendo assim a leitura do sensor dentro dos lagos, porém, para o Igarapé Tabaco foi viável as medições no período seco.
- A metodologia empregada para a coleta dos dados de variação das marés na área, ou seja, o emprego da régua de maré em pontos estratégicos, com a leitura do nível da água sendo realizado com intervalos de 5 minutos registrados em planilhas, mostrou-se eficiente, não somente pela falta de equipamentos de maior precisão, e estações maregráficas próximas, mas pela praticidade de deslocamento da régua, necessitando somente o esforço humano nas leituras.
- Todos os métodos e técnicas do sensoriamento remoto aplicado neste trabalho mostraram-se eficientes, desde o simples mapa de localização de área até a confecção dos mapas da evolução multitemporal dos lagos e Igarapé Tabaco; ressalta-se com isso a grande contribuição do sensoriamento remoto.
- O uso dos dados do MDT do SRTM com as informações da base de dados da CPRM, e dados de fontes da literatura regional, mostrou-se muito bem adaptada para a confecção dos mapas de geologia e geomorfologia.

- As combinações coloridas RGB e RGBI, juntamente com os métodos de Índices (NDVI e NDWI), PC's, Razões de Bandas, mostraram-se eficientes para as definições dos limites das drenagens, e para as análises multemporais da área.
- A aplicação dos métodos de índices *NDWI* e *NDVI* mostraram-se eficientes, pois o NDVI permitiu delinear e mensurar a forma dos lagos e estimar em km² e m² as áreas ocupadas por macrófitas aquáticas, e o NDWI, com a análise multiespectral, permitiu contrastar e definir fluxos de águas diferentes no Lago Mutuco, e concluir que lago é segmentado por uma barreira hídrica.
- A sobreposição de imagens de sensores diferentes, contudo, de datas próximas para a geração dos polígonos das drenagens, tendo em vista os efeitos atmosféricos presentes nas imagens, como as nuvens, mostrou-se eficiente para as análises e visibilidade dos contornos das drenagens.
- A retirada da Banda 1 das fusões de bandas do satélite CBERS 2 CCD de 2005 e do sensor CBERS 2B CCD de 2008, foi a estratégia encontrada para a reduzir o ruído do sensor presente nesta banda.
- O SIG permitiu a partir da base de dados do sensoriamento remoto, elaboração e confecção dos mapas multitemporais e análises do balanço de áreas, mudanças e evolução dos Lagos e Igarapé, apresentando valores correspondentes às mudanças obtidas nestas imagens comparativas e realizadas em intervalos de tempo, representados nos mapas por áreas eutrofizadas, áreas de ganho, áreas erodidas, áreas assoreadas e áreas estáveis.
- No geral a descarga líquida da área de trabalho é, via de regra, superior no período chuvoso, e por conseqüência há maior aporte de sedimentos que entra para o sistema, todas as características hidrodinâmicas do sistema mudam diante da variabilidade sazonal.
- As velocidades do fluxo são mais intensas no centro das seções transversais e o sinal de intensidade no fundo das seções transversais.
- A descarga líquida é maior quanto mais à jusante nos canais de drenagens.
- As marés ocorrentes na área, são caracterizadas como semi-diurnas, possuem padrões assimétricos, com o domínio de uma corrente de maré.

- Pôde-se concluir que o tempo de enchente no período seco se prolonga 1 hora a mais que durante o período chuvoso, com duração em média de 3 horas.
- A partir de medições simultâneas dos dados de marés, na foz do Igarapé Tabaco e próximo a entrada do Lago Comprido de Baixo, pôde-se obter o tempo que a mesma maré leva para entrar nos lagos é estimado em 1:05hs, percorrendo numa distância de 9,8 km.
- Os resultados mostram das análises multitemporais e evolução da área de estudo mostra que os três Lagos estudados e o Igarapé Tabaco, estão expostos à dinâmicas diferentes. De 1972 até 1999 (intervalo de 27 anos), os Lagos sofreram poucas variações de áreas eutrofizadas, áreas de ganho e áreas estáveis. Contudo, a partir de 1999 até 2008, a dinâmica muda completamente e os Lagos tendem a reduzir consideravelmente sua área útil. Os lagos dos Ventos e Comprido de Baixo, são os mais afetados pela ocupação das macrófitas aquáticas.
- A partir das análises multitemporais, conclui-se que após 1999 com a abertura da parte sul do Lago Comprido de Baixo os processos de sedimentação é mais acelerado, permitindo a fixação macrófitas aquáticas, reduzindo significativamente a área estável dos lagos dos Ventos e Lago Comprido de Baixo.
- A integração das informações batimétricas nesta dissertação associados às análises de descarga líquida mostrou-se essencial para avaliar as mudanças na morfologia do Lago Comprido de Baixo nos períodos de 2005 a 2008, evidenciando que o Lago Comprido de Baixo está se tornando um canal de escoamento;
- Os valores de redução das áreas apresentados mostram uma preocupação alarmante para a funcionalidade e existência do sistema de lagos com a tendência à eutrofização e permanência apenas de um curso de canal na região sul do Lago Comprido de Baixo. Possivelmente o mesmo poderá ocorrer no Lago dos Ventos. Esses processos são inerentes a própria evolução da planície costeira, contudo, com a ação antrópica, os processos podem ser acelerados. Esta ação mostrou quanto o sistema á de alta fragilidade diante da ação antrópica.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Por meio do banco de dados do INPE foi possível obter inúmeras imagens de satélites de diferentes anos e meses. A partir dessas imagens de sensores remotos, integrados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi possível construir cenários de balanços de áreas e alterações ambientais entre os anos de 1972 a 2008. Contudo, mais de 50 % das imagens levantadas e adquiridas, estavam saturadas pela presença de nuvens. Este fato reduziu significativamente as análises entre os períodos chuvoso e seco, restringindo-se as análises apenas para imagens dos períodos seco. Sugere-se a isso, a aquisição de imagens de diferentes tipos de satélites, como por exemplo, o uso das imagens de radar, para minimizar os problemas com períodos chuvosos e efeitos das nuvens constantes nas imagens dos sensores ópticos.

A importância do sensoriamento remoto foi crucial para este trabalho. A partir das técnicas de tratamentos das imagens, foi possível observar como a região dos lagos e Igarapé Tabaco passa por profundas mudanças relacionadas. Sugere-se a continuação das análises multitemporais com indicação de cálculo de áreas para contribuir ao monitoramento da região dos Lagos do Cinturão Lacustre Meridional e subsidiar a elaboração do Plano de Manejo da Reserva Biológica do Lago Piratuba.

A aquisição dos dados hidrodinâmicos, foram essenciais para mostrar as descargas líquidas dos Lagos e Igarapé, sendo informações importantes para contribuir com as discussões inerentes as mudanças que estão ocorrendo no Cinturão Lacustre Meridional, como a redução do nível de água, deposição de sedimentos, eutrofização por macrófitas aquáticas. Sugere-se assim, a continuação do monitoramento da qualidade de água, e dos parâmetros hidrodinâmicos (descarga líquida, medição de maré) para avaliar as mudanças no comportamento morfológico e limnológico dos Lagos.

Sugere-se junto às alterações morfológicas dos Lagos, o monitoramento no campo da biologia, ressaltando readaptações de grupos ecológicos em relação à fauna e flora local. Vale ressaltar, que alguns estudos nos campos da geologia, biologia já estão sendo feitos, contudo, ainda são esporádicos em temporalidade.

A continuação dos levantamentos batimétricos da área são imprescindíveis para avaliar as mudanças do comportamento morfológicos dos lagos e igarapé.

O uso das técnicas do sensoriamento remoto no tratamento das imagens, como por exemplo, o uso de filtros direcionais foi possível observar algumas feições topográficas contínuas na superfície da área dos Lagos e Igarapé Tabaco, relacionando como os mesmos se orientam em relação às feições topográficas, contudo, o objetivo foi apenas de mapear e indicar essas feições topográficas. Sugere-se a realização de estudos na área da geofísica, assim, como a continuação do monitoramento topográfico das margens do Igarapé Tabaco.

Outra sugestão que se faz é em relação à continuação dos estudos dos Sistemas Lacustres, com acompanhamento sistemático do monitoramento da qualidade de água por satélite, com aplicação de medidas *in situ* para a avaliação do comportamento espectral. Sugere-se o estudo e mapeamento de plantas aquáticas, estimativas de biomassa, poluição da água e eutrofização, estimativas de concentração de clorofila e estimativa de transparência da água. Esses estudos são importantes quanto as tomadas de decisão de gestão dos Lagos.

Sugere-se finalmente aos órgãos responsáveis para gerência da Unidade de Conservação e atendendo aos requisitos expostos na Lei N° 9.985, de 18 de Julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, viabilizar os estudos necessários e o monitoramento contínuo da área da Reserva e áreas adjacentes, uma vez que é importante observar os problemas a partir de um cenário regional, para as tomadas de decisões de gestão adequada da região.

REFERÊNCIAS

Ackermann, F.V. 1966. Notas sobre a geologia e formação da costa do extremo norte do Brasil. Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geografia: IBGE, n.2, p. 99 – 111.

Allen, P.A.; Collinson, J.D. Lakes. 1986. *In*: Reading, H.G. (Ed.). Sedimentary Environments and Facies. Oxford Blackwell, p. 63-94.

Allison, M.A.; Nittrouer, C.A.; Kineke, G.C. 1995. Seasonal sediment storage of mudflats adjacent to the Amazon River. *Marine Geology*, 125: 303-328.

Alves, T.M.; Carvalho, T.M. 2007. Técnicas de sensoriamento remoto para classificação e quantificação do sistema lacustre do Rio Araguaia entre barra do garças e foz do Rio Cirstalino. *Rev.Geogr. Acadêmica* **1(1)**: 79-94.

Amaro, V.E. 1998. Análise conjunta de dados geológico, geofísicos e de sensoriamento remoto do setor extremo nordeste da província Borborema, Nordeste do Brasil, com ênfase nas zonas de cisalhamento dúcteis neoproterozóicas. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 440p.

Ana. Agência Nacional de Águas. Dados pluviométricos [Mensagem Pessoal]. Mensagem recebida por <fatimaalves@geologia.ufrn.br> em 19 maio 2008.

Bertrand, G. 1972. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. São Paulo. *Caderno de Ciências da Terra.* Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, **13:** p389-398.

Boaventura, F.M.C.; Narita, C. 1974. Geomorfologia da Folha NA/NB-22-Macapá. *In*:_____. Uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. (Levantamento dos Recursos Naturais, 6).

Brasil. Lei 9.985, de 18 de junho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III, e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, 18 jun. 2000.

Carvalho, T.M. 2008. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. *Revista Brasileira de Geografia Física*. **1(1)**:73-85.

Chavez, P.S.JR. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multi-spectral data. *Remote Sensing of Environment*, **24**:459-479.

Cprm. 2008. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. In:_____. GEOBANK. Disponível em: www.geobank.sa.cprm.gov.br. Acessado em nov. 2008.

Costa, L.T.R. 1997. Evidências estratigráficas de variações do nível do mar na planície costeira do Amapá, setor do estuário do rio Araguari. *In*: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e Reunião Sobre Quaternário da América do Sul. Curitiba-PR, 6, Resumos expandidos, 3p.

Costa, L.T.R.; Silveira, O.F.M. 1998. The Araguary Estuary: an examply of tidal dominated estuary. *In*: Anais da Academia Brasileira de Ciências, **70 (2):**201-211.

Costa, W.J.P. 1997. Sedimentação recente e condições físico-químicas das águas do Lago Novo – Cabo Norte/AP. Dissertação do Mestrado, Universidade Federal do Pará, 74p.

Costa Neto, S.V.; Senna, C.S.F.; Coutinho, R.S. 2006. Vegetação das áreas Sucuriju e Região dos Lagos, no Amapá. *In*: Inventário biológico das áreas do Sucuriju e Região dos Lagos no Estado do Amapá.MMA/PROBIO, Macapá, p.41-79.

Costa Neto, S.V.; Senna, C.S.F.; Tostes, L.C.L.; Silva, S.R.M. 2007. Macrófitas aquáticas das regiões dos lagos do Amapá, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, **5**, supl. 2:618-620.

Davies, J.H. 1964. A morphogenic approach of World Shorelines. Z. *Geomorphology*, **8**: 127-142.

Dias, M.B. 2007. Composição e abundância do fitoplâncton do sudeste da Reserva Biológica do Lago Piratuba (Amapá, Brasil). Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 72p.

Dias, T.C.A.C. 2003. Gestão participativa: uma alternativa de ecodesenvolvimento para a Reserva Biológica do Lago Piratuba/AP. 135f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 155p.

Esteves, F.A. 1988. Fundamentos de limnologia. 2ª ed. Interciência, Rio de Janeiro, 602p.

Fantin-Cruz, I.; Loverde-Oliveira, S.; Girrard, P. 2008. Caracterização morfométrica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Maringá. **30 (2)**:133-140.

Filizola, N. 1999. O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Bacia Amazônica brasileira. ANEEL, Brasília, 63 p.

Filizola, N.; Silva, A.V.; Santos, A.M.C.; Oliveira, M.A. 2006. Cheias e secas da Amazônia: breve abordagem de um contraste na maior Bacia Hidrográfica do Globo. *T&C Amazônia*, **4(9)**:42-49.

Fortin, M.J.; Olson, R.J.; Ferson, S.; Iverson, L.; Hunsaker, C.; Edwards, G.; Levine, D.; Butera, K.; Klemas, V. 2000. Issues related to the detection of boundaries. *Landscape Ecology*, **15**: 453-466.

Fragoso JR, C.R.; Tucci, C.E.M.; Collischonn, W.; Motta Marques, D.M.L. 2007. Simulação de Eutrofização em Lagos Rasos: I - Modelo e Precisão Numérica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, **12**:23-35.

Frazão, E.P. 2003. Caracterização hidrodinâmica e morfo-sedimentar do estuário Potengi e áreas adjacentes: subsídio para controle e recuperação ambiental no caso de derrames de hidrocarbonetos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Geologia.

Guerra, A.C. 1954. Estudos Geográficos do Território Federal do Amapá. Rio de Janeiro, IBGE- Conselho Nac. de Geografia. Biblioteca Geográfica Brasileira. 366p

Gordon, R.L. (1989). Acoustic measurement of river discharge, *J. Hydraulic Eng*., **(115)**, 925-936.

IAG. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Departamento de Ciências Atmosféricas. Zona de convergência intertropical. 2008.

Inmet. Instituto Nacional de Meteorologia. 2008.

Jensen, J. R. 2000. Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective. Prentice Hall, New Jersey, 2000. 544p.

Kottek, M.; Griescer, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. 2006. World map of Köppen-Geiger climate classification. *Meteorol. Z.*, **15**:259-263.

Kosuth, P.; Filizola, N.P. 1998. Efeitos da maré sobre a evolução dos níveis e vazões do rio Amazonas à jusante de Óbidos de 05 a 10/10/1998. (Relatório técnico).

Leite, P.F; Veloso, H.P.; Góes Filho, L. 1974. Vegetação da Folha NA/NB-22-Macapá. *In*:_____.Uso potencial da terra. DNPM, Rio de Janeiro. (Levantamento dos Recursos Naturais, 6).

Lima, M.I.C.; Bezerra, P.E.L.; Araújo, H.J.T. 1991. Sistematização da geologia do estado do Amapá. *In*: Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Belém, SBG - Núcleo Norte, *Anais*, p. 322-335.

Lima, M.I.C.; Montalvão, Issler, R.S.; Oliveira, A.S.; Basei, M.A.S.; Araújo, J.F.V.; Silva, G.G. 1974. Geologia da Folha NA/NB-22-Macapá. *In*: _____. Uso potencial da terra. DNPM, Rio de Janeiro. (Levantamento dos Recursos Naturais, 6).

Magnanini, A. 1952. As regiões naturais do Amapá. *Revista Brasileira de Geografia*, IBGE, Rio de Janeiro, **3**:243-304.

Marone, E.; Noemberg, M.; Lautert, L.F.; Santos, I.; Fill, H.D.; Buba, H.; Marenda, A. 2007. Medições de correntes e curva vazão-maré na Baía de Paranaguá, PR. Curitiba, UFPR, *Boletim Paraense de Geociências*. p. 55-64.

Martins, M.H.A.; Matos, M.F.A.; Nazaré, A.S. 2006. Nivelamento topográfico da margem esquerda do igarapé do Tabaco, desde a Foz, no rio Araguari, até o Lago Comprido de Baixo, Reserva Biológica do Lago Piratuba, Amapá. IEPA/IBAMA, Macapá, 19p.

Martins, M. H. A.; Silveira, O. F. M.; Oliveira, D. M.; Santana, L. O.; Pantoja, J.R. S.; Matos, M. F. A; Nazaré, A. S. Levantamento batimétrico do Igarapé do Tabaco e lagos Comprido de Baixo, Grande e dos Ventos e nivelamento topográfico da margem esquerda do Igarapé do Tabaco, da foz ao Lago Comprido de Baixo, Reserva Biológica do Lago, Amapá. Macapá: [S.n.], 2006.

Masselink, G.; Hughes, M. 2003. An introduction to coastal processes and geomorphology. Hodder & Stoughton, London, 354 p.

McFeeters, S.K. 1996. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. Journal of Remote Sensing*, **17(7)**: 1425-1432.

Meirelles, P.R.L.; Mochiutti, S. 2000. Impactos Ambientais da Bubalinocultura nos Campos Inundáveis do Amapá. *In*: V ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos. GEA/IRD/MPEG, Macapá, p. 57-61.

Melchior, C. 2006. Comparativo de resultados de medição de vazão pelos métodos: convencional e acústicos. Trabalho Final de Graduação, União Dinâmica de Faculdades Cataratas Engenharia Civil, Foz do Iguaçu-PR, 72p.

Mendes. A.C. 1994. Estudo sedimentológico e estratigráfico de sedimentos holocênicos da Costa do Amapá. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 269p.

Mendes, A.C. 2005. Geomorfologia e sedimentologia. *In*: Marcus E. B. Fernandes (Org). Os manguezais da Costa Norte Brasileira. MPEG, Belém, p.13-31.

Miranda, L.B.; Castro, B.M.; Kjerfve, B. 2002. Princípio de oceanografia física de estuários. Universidade de São Paulo, São Paulo, 411p.

Mitchell, T.P.; Wallace, J.M. 1992. On the annual cycle in equatorial convection and sea-surface temperature. Journal Climate, **5**, 1140 – 1156.

Moraes, R.P.; Oliveira, L.G.; Latrubesse, E.M; Pinheiro, R.C.D. 2005. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia. *Acta Scientiarum. Biological Sciences. Maringá*, **27(3)**:203-213.

Nittrouer, C. A.; Demaster, D.J. 1996. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, **16(5/6)**: 553-573.

Novo, E.M.L.M. Comportamento espectral da água. *In*: Meneses, P.R.; Madeira Netto, J. S. Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais. UNB, Brasília, p. 63-119.

Owen, R.B.; Crossley, R.; Johnson, T.C.; Tweedle, D.; Kornfield, I.; Davison, S.; Eccles, D.H.; Engstrom, D.E. 1990. Major low levels of lake Malawi and their implications for speciation rates in cichlid fishes. Proceedings of The Royal Society of London B 240. *Biological Science Letters*. **122**:519 – 553.

Petroleum Geoscience Technology. 2008. Formação de rochas geradoras de lacustres: exemplo da Bacia de Camamu, NE do Brasil. Recife, 29p.

Polidorio, A.M.; Imai, N.N.; Tommaselli, A.M.G. 2004. Índice indicador de corpos d'água para imagens multiespectrais. *In*: Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 1,. Recife, *Anais*. (CD-ROM).

Ponzoni, F.J. Comportamento Espectral da Vegetação. 2001. *In*: Meneses, P.R.; Madeira Neto, J.S., (Eds). Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais. UNB/EMBRAPA, Brasília, p.157-199.

Prado, K.L.L.; Oliveira, A. S.; Santos, M.C. 2008. Macrófitas aquáticas. PIATAM/UFAM/INPA, Manaus, 2p.

Radam. 1974. Folha NA/NB.22-Macapá: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso e potencial da terra. DNPM, Rio de Janeiro. (Levantamento dos Recursos Naturais, 6).

Rdi. 2003. WinRiver Quick Start Guide. Estados Unidos, 30p. (Manual de equipamento).

Santos, I.; Fill, H.D.; Sugai, M.R.Von B.; Buba, M.; Kishi, R.T.; Marone, E.; Lautert, L.F.C. 2001. Hidrometria aplicada. LACTE, Curitiba, 372p.

Santos, C.A. 2008. Caracterização morfo-sedimentar do Igarapé do Tabaco, entre o rio Araguari e o lago Comprido de Baixo, Rebio do Lago Piratuba, AP. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém. 76p.

Santos, V.F. 2006. Ambientes costeiros amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 306 p.

Santos, V.F.; Figueiredo JR., A. G.; Silveira, O. F. M.; Polidori, L.; Oliveira, D. M.; Dias, M. B.; Santana, L. O. 2005. Processos Sedimentares em áreas de macro-marés influenciados pela pororoca - estuário do rio Araguari-Amapá-Brasil. *In*: ABEQUA, 10, Guarapari-ES, ABEQUA. (CD-ROM).

Scholz, C.A.; Rosendahl, B.R. 1988. Low lakes stands in Lakes Malawi and Tanganyika, delineated with multifold seismic data. *Science, Wash*. **240**:1645 – 1648.

Scholz, C.A.; Moore, T.C.; Hutchinson, D.R.; Golmshtok, A.J.; Klitgord, K.D.; Kurotchkin, A.G. 1998. Comparative sequence stratigraphy of low-latitude versus high-latitude lacustrine rift basin: seismic data example from the East African Basin and Baikal rift. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **140**:401-420.

Silva, M.S.; Kosuth, P. 2001. Comportamento das vazões do rio Matapi em 27.10.2000. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudo do Quaternário, 8, Imbé-RS, ABEQUA, *Resumo*, p. 594-596.

Silva, M.S.; Silveira, O.F.M.; Martins, M.H.A.. 2002. Relatório Técnico**:** Levantamento de geologia do entorno da REBIO Lago Piratuba. IEPA/IBAMA. Macapá.

Silveira, O.F.M. 1998. A planície costeira do Amapá: dinâmica de ambiente costeiro influenciado por grandes fontes fluviais quaternárias. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, 215 f.

Silveira, O.F.M.; Santos, V.F.; Martins, M.H.A.; Monteiro, C.J.F. 2002. Dinâmica morfológica na foz do rio Amazonas através de análises multitemporais de imagens de Satélite. *In*: Workshop ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos, 6, Belém, MPEG. (CD-ROM).

Silveira, O.F.M.; Silva, M.S.; Martins, M.H.A. 2002. Relatório Técnico: Levantamento de geomorfologia do entorno da REBIO Lago Piratuba. IEPA/IBAMA. Macapá.

Silveira, O.F.M.; Santos, V.F. 2006a. Aspectos geológicos-geomorfológicos da região costeira entre o rio Amapá Grande e a região dos Lagos do Amapá. MMA/PROBIO, Macapá, 30p.

Silveira, O.F.M. 2006b Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira. PROBIO, Macapá. (Relatório Técnico-Científico)

Suguio, K.; Bigarella, J.J.1990. Ambientes fluviais. 2ª ed. UFSC, Paraná, 183p.

Takiyama, L.R.; Dias, M.B.; Azevedo, R.C.J. 2008. Limnologia: qualidade de água e fitoplâncton. IEPA/CPAQ, Macapá, 16p. (Relatório Técnico).

Takiyama, L.R.; Pantoja, J.R.S.; Martins, M.H.A.; Matos, M.F.A. 2005. Medição de vazão do Igarapé Tabaco e Rio Araguari. Macapá: CPAQ/IEPA, 2005. 10p. (Relatório de Campo).

Trindade, M. 1984. Lagos: origem, classificação e distribuição geográfica. Tese de Doutorado, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, 274 p.

Von Sperling, M. 1996. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA-UFGM, Belo Horizonte, 13p.

Zee. 2006. Macrodiagnóstico do Estado do Amapá: primeira aproximação do ZEE/Equipe Técnica do ZEE-AP. 2ª ed.IEPA-ZEE, Macapá, 140 p.

Wetzel, R. G.; Likens, G. E.1991. Limnological Analyses. 2 ed. Springer-Verlag, New York. 391 p.

Wetzel, R.G. 1983. Opening remarks. *In*: Wetzel, R.G. (Ed.). Periphyton of freshwater ecosystems. The Hague: W. Junk publishers, Estados Unidos, p.3-4 (Developments in hydrobiology, 17).

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo