



AUTORES AUTHORS	PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS		AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY
	SENSORIAMENTO REMOTO		 Ralf Gielow Pres. Cons. P. Graduação
	MONITORAMENTO FLUVIAL		
	ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA		
		SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	

AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR	DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION	REVISADA POR / REVISED BY
 Wagner Santos de Almeida	<input type="checkbox"/> INTERNA / INTERNAL <input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA / EXTERNAL <input type="checkbox"/> RESTRITA / RESTRICTED	 Tania Maria Sausen

CDU/UDC	DATA / DATE
528.711.7:556.53	Agosto 1989

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO	ORIGEM ORIGIN	
	INPE-4863-TDL/374	PG/DPA	
AUTORES/AUTHORSHIP	METODOLOGIA DE SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO DE MODIFICAÇÕES NO CANAL FLUVIAL E ATUALIZAÇÃO DE CARTAS NÁUTICAS	PROJETO PROJECT	
		FRH/SER	
		Nº DE PAG. NO OF PAGES	ULTIMA PAG. LAST PAGE
		197	174
	Wagner Santos de Almeida	VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS
			04

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

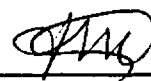
Este trabalho tem como finalidade propor metodologia de Sensoriamento Remoto para monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial de um trecho do rio Solimões, como subsídio para atualização cartográfica de cartas náuticas. No desenvolvimento da metodologia foram usados produtos de sensores remotos (imagens MSS e TM da série LANDSAT e fotografias aéreas da região), documentos cartográficos (mapas batimétricos e topográficos), técnicas de processamento de imagens e de computação aplicada nos ambientes do Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM-150) e do Sistema de Informações Geográficas (SIG), ambos pertencentes ao Instituto de Pesquisas Espaciais. Os resultados alcançados permitiram detectar deposições de sedimentos e erosões ocorridas no trecho do canal fluvial estudado. Estas modificações justificaram a confecção de uma restituição cartográfica, que foi gerada a partir de uma imagem CCT/TM registrada com uma base cartográfica UTM, com pontos de controle obtidos durante o trabalho de campo. Essa restituição permitiu a atualização dos contornos das partes emersas de um trecho da carta náutica da região, sendo obtida uma precisão cartográfica compatível com as cartas planimétricas, em termos de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), classe A, na escala de 1:100.000.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 11 de maio de 1989.

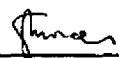
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr^a Tânia Maria Sausen



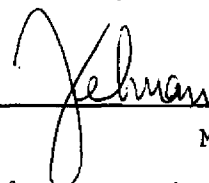
Orientadora/Presidente

Dr^a Evlyn Márcia L. de Moraes Novo



Orientadora

Dr. Jerson Kelman



Membro da Banca
-Convidado-

Dr. Nelson Delfino d'Ávila Mascarenhas



Membro da Banca

Dr. Juércio Tavares de Mattos



Membro da Banca

Candidato: Wagner Santos de Almeida

São José dos Campos, 10 de maio de 1989

Água que nasce da fonte serena do mundo
e que abre profundo grotão;
água que faz inocente riacho
e desagua na corrente do ribeirão;
águas escuras do rio
que levam a fertilidade ao sertão;
águas que banham aldeias
e matam a sede da população;
águas que caem das pedras,
no véu das cascatas, ronco do trovão
e depois dormem tranquilas
no leito dos lagos, no leito dos lagos;
águas dos igarapés, onde Iara mãe d'água
é misteriosa canção.
Água que o sol evapora
pro céu vai embora
virar nuvem de algodão.
Gotas de água da chuva
alegre arco íris sobre a plantação,
gotas de água da chuva tão tristes,
são lágrimas da inundação.
Águas que movem moinhos são
as mesmas águas que encharcam o chão
e sempre voltam humildes,
pro fundo da terra, pro fundo da terra,
Terra, planeta Água, Terra, planeta Água.

Guilherme Arantes.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Cristina, companheira e amiga, cujo apoio constante tornou possível a sua conclusão. Dedico-o também às minhas filhas Natascha e Tatiana. Peço perdão, como espôso e pai, pelas ausências frequentes em virtude da aplicação ao curso de Mestrado.

Dedico ao professor, amigo e parceiro de trabalhos científicos, José Eduardo Rodrigues, que deixou como legado a Saudade nos amigos que o conheceram.

AGRADECIMENTOS

São citados a seguir aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para realização deste trabalho.

Ao Ministério da Marinha, particularmente à Diretoria de Hidrografia e Navegação, nas pessoas de seu Exm^o. Sr. Diretor, Contra-Almirante Paulo César de Aguiar Adrião, do Sr. Vice-Diretor, Capitão-de-Mar-e-Guerra Frederico Corner Montenegro Bentes e do Sr. Chefe do Departamento de Hidrografia, Capitão-de-Mar-e-Guerra Marcus Vinícius Canto Bittencourt, Capitão-de-Mar-e-Guerra Paulo Roberto da Silveira Fetal, pela oportunidade oferecida para a realização de meu curso de Mestrado em Sensoriamento Remoto e no apoio recebido para a execução desta Dissertação.

Ao Comando do Quarto Distrito Naval, extensivo à Capitania dos Portos dos Estados do Amazonas, Acre e Territórios e ao Esquadrão de Helicópteros da Amazônia, pelo apoio recebido durante o trabalho de campo.

Ao Escritório Técnico de Construção Naval em São Paulo, na pessoa do Sr. Encarregado, Capitão-de-Mar-e-Guerra Adherbal Caminada Netto, e demais oficiais e praças desta Organização Militar, pelo suporte logístico durante todo o curso de Mestrado.

À Comissão de Levantamentos da Amazônia, em especial ao Aviso Hidrográfico "Rio Branco", na pessoa de seu Comandante, o Sr. Capitão-de-Corveta Ricardo Costa Pina e demais membros de sua tripulação, pelo apoio na execução de todas as tarefas do trabalho de campo.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais, pelo oferecimento do curso de Mestrado em Sensoriamento Remoto, bem como pela utilização de seus Sistemas no desenvolvimento desta Dissertação.

Ao Dr. Demétrio de Bastos Netto, pelo apoio e incentivo durante as fases difíceis do curso de Mestrado.

À Dra. Tania Maria Sausen, pela orientação prestada durante todo o curso de Mestrado e no preparo desta Dissertação.

À Dra. Evelyn Márcia Leão Moraes Novo, ao Capitão-de-Mar-e-Guerra José Eugênio Neiva, pelas sugestões apresentadas no desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador Carlos Alberto Felgueiras, pelo desenvolvimento dos programas computacionais que permitiram a criação e manipulação dos modelos digitais de batimetria, pela primeira vez, dentro do ambiente do Sistema de Informações Geográficas do INPE.

Ao pesquisador Guaracy José Erthal, pela orientação, desenvolvimento e aplicação dos programas do Sistema de Informações Geográficas, durante a elaboração desta Dissertação.

Ao pesquisador Júlio Cesar Lima D'Alge pelo auxílio na análise cartográfica da restituição obtida e pelo desenvolvimento do programa de transformação de datum dentro do Sistema de Informações Geográficas.

Aos pesquisadores do Departamento de Processamento de Imagens: Dr. Luis Alberto Vieira Dias, João

Argemiro de Carvalho Paiva, Sérgio Rosim, Diógenes Salas Alves e Eni Alvim de Oliveira, pela contribuição oferecida durante à execução de alguns dos programas computacionais empregados nesta Dissertação.

Aos pesquisadores: Fernando Augusto Mitsuo Ii, Sílvia Shizue Ii, Sueli Pissara Castellari e Virgínia Ragoni de Moraes Correa, pela adaptação do programa Registro, que permitiu a utilização dos pontos de controle obtidos no campo.

Ao Dr. Gerald Jean Francis Banon, pelas sugestões oferecidas durante a fase de pré-processamento da imagem registrada.

Ao Sr. Encarregado da Divisão de Levantamentos da Diretoria de Hidrografia e Navegação, Capitão-de-Corveta Walbert Tavares de Almeida, pelo fornecimento dos dados batimétricos e no auxílio da elaboração das instruções do trabalho de campo.

Às bibliotecárias Suelena Costa Braga Coelho e Maria Aparecida Marcos, pela atenção e dedicação na pesquisa das referências bibliográficas desta Dissertação.

À Engenheira Eliana Maria Kalil de Melo, do Laboratório de Processamento Cartográfico do INPE, pelo empréstimo dos mapas topográficos da área de estudo.

Ao Operador de Sistema de Tratamento de Imagens I-100 do INPE, Sr. Gilberto Rodrigues Júnior, pelo espírito de colaboração durante as fases de seleção dos módulos de estudo nas imagens LANDSAT.

Aos Analistas de Sistemas, Srs. Moacir Godóy Júnior e José Carlos Moreira, pelo auxílio na operação do Sistema de Tratamento de Imagens SITIM-150.

Aos Desenhistas, Srs. Joaquim Godoi Filho e Sílvio Pereira Coimbra, pelo desenho dos gráficos constantes desta Dissertação.

ABSTRACT

This work has the finality to propose methodology of Remote Sensing for monitoring the fluvial morphology of a section's Solimões river (Brazil), as support for cartographic updating of nautical charts. In developing of the methodology, the following material was used: LANDSAT MSS and TM images, aerial photographs, cartographic documents (bathymetric and topographic maps), image processing techniques and data base technologies for mapping applications in a Geographical Information System. Among the results obtained it should be emphasized that deposition and erosion of sediments were detected which have caused changes at the section of the river channel under study. Due to these changes, a cartographic restitution was made, using a TM-LANDSAT image registered with an UTM cartographic grid. The control points were obtained during the field work. This restitution allowed the up-to dating of the contour-line of a part of the nautical chart. The cartographic precision obtained is compatible with planimetric charts, in terms of Cartographic Accuracy Standard (PEC) class A, scale 1:100.000.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABELAS	xxi
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Objetivo da pesquisa	2
1.2 - Área de estudo.....	3
<u>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u>	7
2.1 - Introdução	7
2.2 - Conceitos de interesse sobre geomorfologia fluvial.....	7
2.3 - Produtos de sensores remotos usados em estudos fluviais e na atualização cartográfica.....	10
2.4 - Imagem TM/LANDSAT com correções geométricas.....	12
2.5 - Sistema de Informações Geográficas (SIG).....	13
2.6 - Detecção de bordas em uma imagem digital	17
2.7 - Delimitação de regiões e cálculo de área.....	19
2.8 - Programa registro	20
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</u>	25
3.1 - Materiais utilizados	25
3.1.1 - Material cartográfico.....	25
3.1.2 - Dados de vazão e precipitação.....	27
3.1.3 - Produtos de sensores remotos.....	28
3.1.4 - Materiais utilizados em tarefas de campo.....	30
3.2 - Metodologia.....	31
3.2.1 - Monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo.....	31
3.2.1.1 - Tarefas executadas no trabalho de campo.....	34
3.2.1.2 - Utilização de dados cartográficos.....	40
3.2.1.3 - Utilização dos produtos de sensores remotos	53
3.2.1.4 - Utilização dos dados de vazão e precipitação	59
3.2.2 - Atualização de um trecho do contorno das partes emersas da carta náutica da área de estudo.....	60

	<u>Pág.</u>
3.2.2.1 - Determinação das coordenadas dos pontos de controle no campo	63
3.2.2.2 - Seleção da imagem TM com correção geométrica	64
3.2.2.3 - Registro da imagem TM com a base cartográfica UTM.....	66
3.2.2.4 - Verificação da qualidade geométrica das imagens registradas.....	67
3.2.2.5 - Pré-processamento da imagem registrada.....	68
3.2.2.6 - Transformação da imagem registrada em uma imagem temática.....	70
3.2.2.7 - Transformação "raster"/vetor da imagem temática.....	70
3.2.2.8 - Desenho de feições.....	71
3.2.2.9 - Análise da exatidão cartográfica da restituição.....	72
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS ALCANÇADOS.....</u>	<u>75</u>
4.1 - Resultados alcançados com o monitoramento das modificações ocorridas no canal fluvial da área de estudo.....	75
4.1.1 - Utilizando os dados cartográficos.....	75
4.1.1.1 - Cálculo de áreas e perímetros das ilhas fluviais nas edições da carta náutica e dos mapas da DSG e do Banco da Conceição nas folhas de bordo.....	75
4.1.1.2 - Modelos digitais de batimetria.....	79
4.1.2 - Utilizando os produtos de sensores remotos e os dados de vazão.....	118
4.1.2.1 - Cálculo de áreas das ilhas fluviais/relação entre os dados de áreas de ilhas x vazão/inspeção visual no Banco da Conceição.....	118
4.1.2.2 - Registro de imagens.....	126
4.2 - Resultados alcançados com a atualização cartográfica do contorno das partes emersas de um trecho da carta náutica DHN-4107A.....	136
4.2.1 - Registro do módulo da imagem TM com a base cartográfica UTM.....	136
4.2.2 - Pré-processamento da imagem registrada.....	142
4.2.3 - Transformação da imagem registrada em imagem temática.....	142

	<u>Pág.</u>
4.2.4 - Vetorização da imagem temática.....	145
4.2.5 - Desenho manual de feições sobre a restituição.	145
4.2.6 - Análise da exatidão cartográfica.....	149
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</u>	153
5.1 - Conclusões sobre o monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo.....	153
5.2 - Conclusões sobre a atualização cartográfica de um trecho da carta náutica DHN-4107A.....	
5.3 - Sugestões.....	157
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
BIBLIOGRAFIA	171

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Área de estudo: Rio Solimões, da costa oeste da ilha do Careiro até as proximidades da ilha do Barroso.....	4
3.1 - Seqüência de tarefas realizadas no monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo.....	32
3.2 - Esquema dos pontos da poligonal geodésica de terceira ordem obtida no trabalho de campo.....	36
3.3 - Cópia da FB-4107A-001/88 produzida no trabalho de campo.....	39
3.4 - Cópia reduzida da carta náutica DHN-4107A, primeira edição.....	42
3.5 - Seqüência de tarefas realizadas na atualização do contorno das partes emersas de um trecho da carta náutica DHN-4107A.....	61
4.1 - Cópia do contorno da carta náutica DHN-4107A (segunda edição)	78
4.2 - Diagrama de blocos - Ilha do Barroso 1976, Az = 307°.....	80
4.3 - Diagrama de blocos - Ilha do Barroso 1985, Az = 307°.....	80
4.4 - Diagrama de blocos da diferença entre as cotas batimétricas de 1985 e 1982 - Ilha do Barroso - Az = 307°	81
4.5 - Diagrama de blocos - Ilha dos Mouras 1976, Az = 133°.....	82
4.6 - Diagrama de blocos - Ilha dos Mouras 1988, Az = 133°.....	82
4.7 - Diagrama de blocos da diferença entre as cotas batimétricas de 1988 e 1984 - Ilha dos Mouras, Az = 133°.....	84
4.8 - Isobatimétricas - Ilha do Barroso, 1976.....	85
4.9 - Isobatimétricas - Ilha do Barroso, 1985.....	85
4.10 - Isobatimétricas - Ilha dos Mouras, 1976.....	86
4.11 - Isobatimétricas - Ilha dos Mouras, 1988.....	87
4.12 - Perfil transversal nº 1 - Ilha do Barroso.....	89
4.13 - Perfil transversal nº 2 - Ilha do Barroso.....	90

4.14 - Perfil transversal nº 3 - Ilha do Barroso.....	91
4.15 - Perfil transversal nº 4 - Ilha do Barroso.....	92
4.16 - Perfil transversal nº 5 - Ilha do Barroso.....	93
4.17 - Perfil transversal nº 6 - Ilha do Barroso.....	94
4.18 - Perfil transversal nº 1 - Ilha dos Mouras.....	95
4.19 - Perfil transversal nº 2 - Ilha dos Mouras.....	96
4.20 - Perfil transversal nº 3 - Ilha dos Mouras.....	97
4.21 - Perfil transversal nº 4 - Ilha dos Mouras.....	98
4.22 - Perfil transversal nº 5 - Ilha dos Mouras.....	99
4.23 - Perfil transversal nº 6 - Ilha dos Mouras.....	100
4.24 - Banco de areia ao lado da margem direita da ilha dos Mouras - outubro/1988.....	101
4.25 - Batimetria reclassificada - Ilha do Barroso, 1976.....	106
4.26 - Batimetria reclassificada - Ilha do Barroso, 1982.....	106
4.27 - Batimetria reclassificada - Ilha do Barroso, 1985.....	107
4.28 - Batimetria reclassificada - Ilha dos Mouras, 1976.....	112
4.29 - Batimetria reclassificada - Ilha dos Mouras, 1984.....	112
4.30 - Batimetria reclassificada - Ilha dos Mouras, 1988.....	113
4.31 - Banco de areia adjacente à ilha da Xiborena, ou- tubro de 1988.....	115
4.32 - Erosão de um trecho da margem esquerda do rio Solimões, nas proximidades da ilha dos Mouras, outubro de 1988.....	115
4.33 - Módulo III da imagem MSS/LANDSAT de 01/12/81 após a aplicação dos programas Detecção de Bor- das/Delimitação de Regiões.....	119
4.34 - Curvas de vazão/precipitação nos anos de 1973, 1976, 1977 e 1978.....	120
4.35 - Curvas de vazão/precipitação nos anos de 1979, 1981, 1982 e 1983.....	121
4.36 - Curvas de vazão/precipitação nos anos de 1984 e 1987.....	122

4.37 - Imagem registrada do módulo I, cor ciano = MSS 01/12/81, cor vermelha = TM 19/12/87. Ilhas dos Mouras, Xiborena e Marapatá.....	127
4.38 - Imagem registrada do módulo II, cor ciano = MSS 01/12/81, cor vermelha = 19/12/87. Ilhas da Paciência, Jacurutu, Muratu e Maria Antonia.....	129
4.39 - Banco de areia a jusante da ilha da Maria Antonia - outubro de 1988.....	131
4.40 - Imagem registrada do módulo III, cor ciano = MSS 01/12/81, cor vermelha = TM 19/12/87. Ilha do Barroso e banco da Conceição.....	132
4.41 - Banco da Conceição, outubro de 1988.....	133
4.42 - Paisagem desolada, causada por processos erosivos, na margem do rio Negro nas proximidades de Manaus, devido ao desmatamento na região. Outubro de 1988.....	135
4.43 - Ponto de controle RoadWay - Cais do porto de Manaus. Outubro de 1988.....	138
4.44 - Imagens TM/LANDSAT, canal 4, registrada com a base cartográfica UTM utilizando os pontos de controle obtidos no campo.....	141
4.45 - Imagem temática após a aplicação do UNITOT.....	144
4.46 - Restituição após o desenho manual das feições..	147
4.47 - Trecho da carta náutica DHN-4107A.....	148

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Classificação cartográfica quanto à exatidão....	13
3.1 - Folhas de bordo utilizadas na pesquisa.....	26
3.2 - Mapas topográficos da DSG utilizados na pesquisa	27
3.3 - Produtos sensores remotos utilizados na pesquisa	29
3.4 - Coordenadas dos pontos de apoio a sondagem e dos pontos de controle (geográficas e em UTM MC-059°).....	37
3.5 - Modelos digitais de batimetria gerados	43
3.6 - Dados das grades dos modelos digitais de batimetria.....	45
3.7 - Classes de profundidade dos módulos digitais de batimetria.....	52
3.8 - Módulos de estudo selecionados nas imagens LANDSAT.....	56
3.9 - Resoluções espaciais das imagens utilizadas	58
3.10 - Coordenadas geográficas e UTM (MC = 63°W) dos pontos de controle obtidos no campo datum horizontal SAD-69.....	65
4.1 - Área (km ²) das ilhas fluviais utilizando as cartas náuticas e os mapas da DSG.....	76
4.2 - Perímetros (km) das ilhas fluviais nas duas edições da carta DHN-P4107A.....	77
4.3 - Valores de área e perímetro do banco da Conceição.....	78
4.4 - Volumes (km ³) dos modelos digitais de batimetria nas proximidades da ilha do Barroso.....	102
4.5 - Volumes (km ³) dos modelos digitais de batimetria nas proximidades da ilha dos Mouras.....	104
4.6 - Áreas (km ²) das classes de batimetria - ilha do Barroso.....	109
4.7 - Áreas das classes de batimetria - ilha dos Mouras.....	116
4.8 - Áreas (km ²) das ilhas fluviais nas datas que foram obtidas as imagens dos sensores remotos.....	123
4.9 - Evolução em km ² da feição das proximidades da ilha da Paciência.....	132

	<u>Pág.</u>
4.10 - Precisão do registro utilizando os pontos de controle oriundos dos mapas da DSG e os obtidos no campo.....	138
4.11 - Dados sobre as classes da imagem temática após aplicação do fatiamento dos níveis de cinza....	143

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A região amazônica brasileira, com sua imensa gama de fenômenos e recursos naturais, tem sido tema de pesquisa dentro dos vários ramos do conhecimento humano. Entretanto, muitos desses fenômenos e recursos ainda estão em fase de descoberta e estudos, enquanto outros são totalmente desconhecidos.

Hans Blutschli (1921) definiu de um modo poético o ciclo de vida presente na região: "... vento e planície, floresta e água interagem intimamente, percebendo-se que toda e qualquer coisa na Amazônia, do mais íntimo ser vivo à ação dos homens, deve ficar sob a influência deles", e mais adiante: "A circulação da água do mar pelos ares, por cima da terra coberta de floresta, e desta através da planície fluvial novamente para o eterno mar, é o grande quadro da Amazônia, o fator que controla a sua vida e sua essência. Nada há na Amazônia, seja inerte ou vivo, que não dê testemunho desse fato".

A importância da hidrografia fluvial, no espaço geográfico amazônico, é devida principalmente à navegabilidade de seus rios. Sua imensa bacia fluvial conta com uma extensão navegável estimada em 20 mil quilômetros, dos quais cerca de 10 mil quilômetros são francamente navegáveis (Soares, 1977). Os rios Amazonas e Solimões, drenando uma área de 6.300.000 km², apresentam nas suas vazões cerca de 18% do volume de água descarregado nos oceanos pelo conjunto de todos os rios existentes no planeta.

A carga detrítica transportada pelos rios amazônicos, segundo Gibbs (1967), em épocas de cheia e

de vazante fica em torno de 123 g/m^3 e 22 g/m^3 , respectivamente. Esta elevada concentração de sedimentos transportados pelos rios, associados a diversos outros fenômenos, tais como: elevados índices de precipitação, imensos volumes de água em suas vazões e os parâmetros ligados à sua geomorfologia fluvial (deposição de sedimentos e erosão, força de cisalhamento de suas águas, etc...), tem contribuído para que ocorram modificações significativas na forma dos canais fluviais.

Tais modificações, dependendo de sua magnitude, assumem importância fundamental para a navegação local, principal meio de transporte da região. Surge daí a necessidade de se dimensionar e monitorar a dinâmica dos canais fluviais, identificando e quantificando as alterações ocorridas nos mesmos.

Naturalmente para realizar um monitoramento dessa dinâmica, o caráter temporal dos dados disponíveis é de importância fundamental. Apenas numa perspectiva temporal é que se pode avaliar a evolução dos diversos fenômenos envolvidos, e esta avaliação está contida nesse trabalho.

A seguir serão descritos o objetivo da pesquisa, área de estudo e as razões que levaram à sua escolha.

1.1 - OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo da pesquisa é propor uma metodologia de Sensoriamento Remoto que permita o monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial, dando subsídios para a atualização do contorno das partes emersas de um trecho da carta náutica da área de estudo.

1.2 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida é o trecho do Rio Solimões, que vai da costa ocidental da Ilha do Careiro até as proximidades da Ilha do Barroso. Este trecho possui cerca de 70 km de comprimento ao longo do rio, e está localizado nas proximidades da cidade de Manaus entre as coordenadas de 059°54' e 060°30' de longitude oeste e 03°05' e 03°22' de latitude sul.

A área de estudo está representada na carta náutica 4107-A da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Marinha, e nos mapas topográficos números: MI-578/1, MI-578/2, MI-578/3, MI-578/4, MI-579/1 e MI-579/3 da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) do Ministério do Exército. A Figura 1.1 é uma cópia reduzida dessa carta náutica (sem os dados batimétricos), localizando a área de estudo, onde pode-se observar a toponímia das ilhas fluviais, citada durante todo este trabalho.

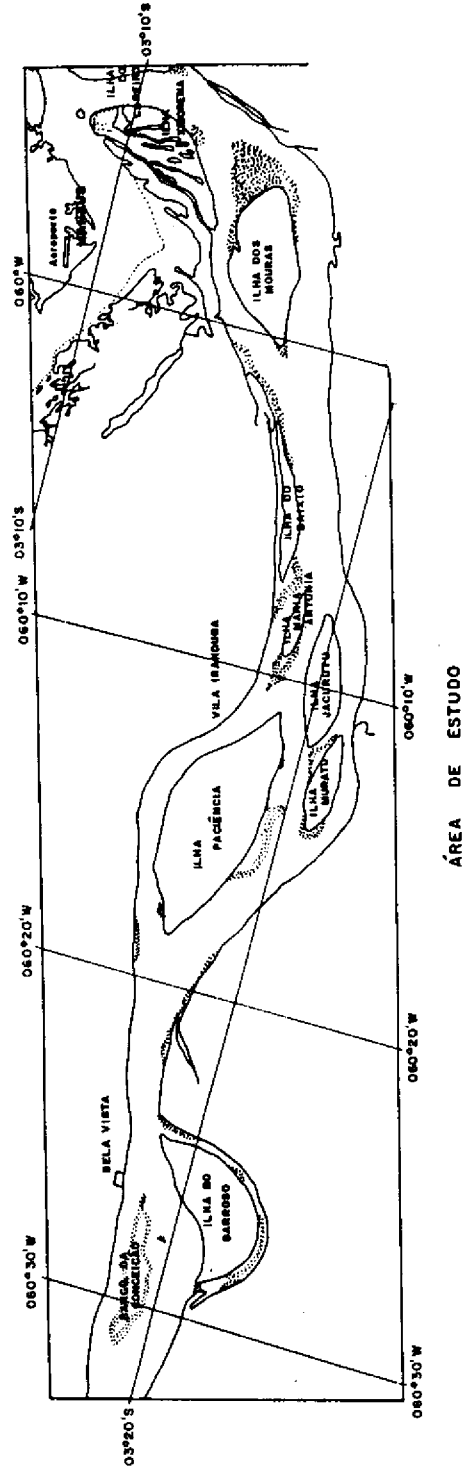


Fig. 1.1 - Área de estudo: Rio Solimões, da costa oeste da ilha do Careiro até as proximidades da ilha do Barroso.
 FONTE: Adaptada de DHN (1979).

A escolha da área de estudo baseou-se nos seguintes fatores:

- a) Constatação do crescimento da Ilha dos Mouras (conhecidas também como Ilha da Manchataria), por Niero et al. (1984), que segundo os autores, possuía uma área de 26,076 km² em 1976 e em 1981 passou a ocupar uma área de 31,362 km²;
- b) constatação da existência de outras prováveis modificações no trecho do rio do Rio Solimões, dentro da mesma cena LANDSAT (185 x 185 km) utilizada por Niero et al. (1984). Essas modificações foram detectadas nas mesmas imagens estudadas por esses autores, através de uma inspeção visual na tela do I-100. Foi feita uma composição colorida com os canais 5, 6 e 7 nas imagens MSS/LANDSAT de 09/12/76 e 01/12/81, na órbita 346 ponto 14. Observou-se que essas diferenças estavam localizadas no contorno, principalmente, das seguintes ilhas: Mouras, Paciência, Jacurutu, Muratu e Barroso. Estendeu-se, então, a área de estudo, de Manaus até as proximidades da Ilha do Barroso;
- c) proximidades do porto de Manaus, de importância sócio-econômica fundamental para o desenvolvimento da região amazônica. A segurança da navegação é um fator primordial para a operação do porto;
- d) o fato de a região já ser cartografada batimetricamente com tecnologia atualizada, executada pela Comissão de Levantamentos da Amazônia (COLAM), do Ministério da Marinha, que foi indispensável para a realização da pesquisa.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - INTRODUÇÃO

Para atingir a proposta da pesquisa, torna-se fundamental o conhecimento de alguns fenômenos geomorfológicos envolvidos e de seus impactos sobre a navegação fluvial. Além disso, também se deve conhecer algumas noções teóricas sobre atributos de sensores remotos e de correções geométricas em imagens digitais TM/LANDSAT.

Por sua vez, as técnicas utilizadas tanto no monitoramento de formas fluviais como na atualização cartográfica, envolvem conhecimento sobre o funcionamento de certos algoritmos de processamento de imagens e de computação aplicada, inseridos nos ambientes do SITIM-150/INPE e do SIG/INPE.

Essas noções fundamentais são abordadas neste capítulo.

2.2 - CONCEITOS DE INTERESSE SOBRE GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

Nos períodos de vazante, os rios em geral, voltam ao seu leito normal, a drenagem torna-se bem definida e os lagos de várzea passam a ocupar as depressões do terreno. Esses períodos são os melhores para obtenção de informações sobre a forma de um canal com relação às suas ilhas, bancos de areia, margens e identificação dos fenômenos de deposição de sedimentos/erosão ocorridos.

Segundo dados levantados por Soares (1977), período de 71 anos (de 1902 a 1973), as vazantes dos rios

Amazonas/Solimões têm início, via de regra, na segunda quinzena de junho, atingindo-se cotas mínimas em outubro e novembro (cerca de 87% das observações), havendo ocasiões em que elas ocorrem em dezembro (cerca de 10% das ocorrências) e setembro (cerca de 3%).

A carga detrítica transportada atinge o seu máximo durante os períodos de cheia, conferindo ao rio maior poder de abrasão, sendo nesses períodos que ocorre a ajustagem do canal fluvial (Christofoletti, 1983). Essa ajustagem é feita tanto pelo fornecimento e transporte de sedimentos como pela velocidade dos fluxos das águas. Esses parâmetros, por sua vez, são dependentes da intensidade, duração e distribuição das chuvas sobre a bacia de drenagem. Assim, quanto maior for a precipitação sobre um determinado trecho de uma bacia fluvial, maiores serão os seus regimes de cheias e a energia envolvida nas erosões e deposições de sedimentos.

Um rio aluvial, geralmente está continuamente mudando sua posição e forma, conseqüência de forças hidráulicas atuando em seu leito e bancos (Simons e Sentürk, 1976). Quando ocorrem descontinuidades no transporte de sedimentos, estas podem acarretar em um mesmo perfil transversal do canal fluvial, deposição de sedimentos e erosão simultâneas.

Por sua vez, a deposição dos sedimentos transportados, que forma bancos aluviais alterando gradativamente a profundidade local, é função dos seguintes parâmetros: declividade e profundidade do canal fluvial, velocidade do fluxo de suas águas e granulometria desses sedimentos.

Richey et al. (1986) durante a realização de um projeto executado de 1982 a 1984 nos rios Solimões e Ama-

zonas, coletaram dados que permitiram estabelecer uma correlação entre o padrão sazonal de armazenagem e remobilização de sedimentos suspensos com a inclinação desses rios, em larga escala. Esses dados confirmaram a existência de uma preponderância dos sedimentos nos troncos principais oriunda dos Andes. Meade et al. (1985) concluíram também que as partículas suspensas nas águas fluviais são grãos-finos de origem marinha, fragmentos de rochas vulcânicas, silte, argila e matéria orgânica das planícies de inundação. Esses materiais, durante os períodos de cheias, são erodidos da terra, transportados e depositados no leito do canal fluvial ou na própria planície de inundação.

A deposição de sedimentos pode acarretar um processo de crescimento desses bancos em sua parte a jusante e margens. Esse crescimento é denunciado pela vegetação, que se estabelece inicialmente a montante e gradativamente vai ocupando outras partes. À medida que o banco cresce, ele irá afetar a largura do rio, tornando instáveis os seus canais laterais. Ocorre, então, um alargamento pelo entalhamento do leito ou pela erosão de suas margens.

Com o aprofundamento ou alargamento do canal, diminui o nível de água e o banco emerge como uma ilha, a qual, pouco a pouco, é fixada pela vegetação. Essa vegetação pode contribuir para amenizar a erosão, e por uma ação de anteparo permitir a deposição de sedimentos, aumentando ainda mais o tamanho da nova ilha (Christofolletti, 1983).

Segundo Mertes (1985), num estudo sobre a geomorfologia fluvial do rio Solimões, a partir da cidade de Manacapuru foi observado um crescimento nas áreas das ilhas que está relacionado com a largura do canal fluvial. Por outro lado, o aumento da largura do canal é diretamente proporcional ao aumento de sua vazão. A autora afirma também

que, os sedimentos são depositados no meio do canal fluvial quando diminui a força de cisalhamento causada pelas águas do rio. Em canais largos, como o do rio Solimões, grandes ilhas podem sofrer deposições de sedimentos antes da obstrução do canal ou da ocorrência de quaisquer processos erosivos.

Com a posse de dados de profundidade e largura do canal, é possível se estabelecer modelos que quantifiquem a erosão e/ou a deposição de sedimentos ocorridas num canal fluvial.

2.3 - PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS USADOS EM ESTUDOS FLUVIAIS E NA ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

A importância da utilização de produtos de sensores remotos em estudos fluviais pode ser exemplificada citandô-se alguns autores, tais como: Hallburg e Hayer (1973), Morrison e Copley (1973), Baker et al. (1974), Niero et al. (1984) e Pinto et al. (1985), que efetuaram as seguintes aplicações:

- mapeamento de áreas de difícil acesso para verificação de fenômenos fluviais;
- monitoramento multitemporal que registrou importantes modificações em sistemas fluviais (erosão, enchentes, variações e classificação de lâminas d'água);
- determinação de parâmetros de geomorfologia fluvial (razão de bifurcação, transporte de sedimentos, etc.).

Em particular, os dados orrbitais MSS/TM/LAND-SAT mostraram-se eficientes nessas aplicações. Entretanto,

no uso destes produtos para estudos dessa natureza, dois atributos devem ser levados em consideração :

- a) **Resolução espacial:** Quanto melhor for essa resolução, ou seja, quanto menor for o elemento de resolução no terreno correspondente a um pixel da imagem digital, melhor será a detecção das características fluviais (como pequenos cursos d'água e igarapés, por exemplo). Por outro lado, a resolução espacial está diretamente relacionada à capacidade desses produtos serem utilizados na atualização cartográfica. Welch (1987) conclui que as imagens TM/LANDSAT possuem excelente geometria interna e que a resolução espacial do pixel é o principal fator da retificação na imagem, permitindo a atualização de mapas em escalas iguais ou menores que 1:100.000;
- b) **Resolução espectral:** As bandas do azul e do verde, normalmente utilizadas no estudo de características subsuperficiais de corpos d'água, têm eficiência quase nula no caso de rios com uma alta taxa de sedimentos em suspensão, como o da área de estudo. Por outro lado, a banda do infravermelho próximo (740 nm a 900 nm) é a que melhor delimita a fronteira da interface água/terra. A banda do infravermelho médio (900 nm a 2500 nm), segundo Colvocoress (1986), tende a confundir os limites de solos úmidos com os limites de corpos d'água. Assim, os canais 4 do TM e 7 do MSS são os mais indicados para estudar as feições fluviais emersas.

2.4 - IMAGEM TM/LANDSAT COM CORREÇÕES GEOMÉTRICAS

Uma imagem digital geometricamente corrigida é uma matriz onde cada elemento está relacionado com um ponto da superfície terrestre imageada, tal que existe uma relação linear conhecida entre a posição do elemento na matriz (linha/coluna) e as coordenadas do ponto numa dada projeção cartográfica (Serra, 1987). Esta relação é definida por uma translação/rotação/mudança de escala.

$$U = \cos \alpha \cdot \Delta p(j - j_0) + \sin \alpha \cdot \Delta p(i - i_0) + x_0 \quad (2.1)$$

$$V = \cos \alpha \cdot \Delta p(j - j_0) - \sin \alpha \cdot \Delta p(i - i_0) + y_0$$

onde:

(U,V) : coordenadas de projeção do ponto imageado;

(i,j) : linha e coluna do elemento na matriz de imagem;

Δp : tamanho do elemento de área representado por um ponto na imagem;

(x_0,y_0) : coordenadas de projeção de um ponto;

(i_0,j_0) : localização na matriz da imagem do elemento correspondente ao ponto de coordenadas (U,V) ;

α : ângulo de orientação da imagem em relação a um sistema de coordenadas de projeção.

Serra (1987) descreve como é produzida a imagem TM com correção geométrica, na projeção cartográfica UTM, pelo Departamento de Geração de Imagens (DGI) do INPE. Esse autor na avaliação que fez deste produto, obteve resultados preliminares que acusou um erro intrínseco, inter-

namente em torno de 45 metros e com um deslocamento no posicionamento da imagem da ordem de 1 km, que pode tornar o produto compatível com a planimetria de cartas topográfica classe B, em termos de padrão de exatidão cartográfica (PEC), nas escalas iguais ou menores que 1:100.000 (vide Tabela 2.1 adaptada de Brito, 1987), desde que se atenuie esse erro.

TABELA 2.1

CLASSIFICAÇÃO CARTOGRÁFICA QUANTO À EXATIDÃO

PEC					
ESCALA	CLASSE	PLANIMÉTRICO		ALTIMÉTRICO	
		CARTA TERRENO (mm)	(m)	CARTA TERRENO (mm)	(m)
100.000	A	0,5	50	1/2	25
	B	0,8	80	3/5	30
	C	1,0	100	3/4	37,5

FONTE: Adaptada de Brito (1987).

2.5 - SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Durante a pesquisa houve a necessidade de se fazer um gerenciamento de todas as informações disponíveis, tanto em imagens de satélites como em documentos cartográficos, o que foi feito com o Sistema de Informações Geográficas do Instituto de Pesquisas Espaciais (SIG/INPE).

Percebe-se, gradualmente, que o imageamento por Sensoriamento Remoto só tem um valor cartográfico se for relacionado às características reais do terreno, asso-

ciadas a certas tarefas realizadas no campo para fornecer a adequada interpretabilidade. Um Sistema de Informações Geográficas permite um casamento entre imagens de sensores remotos e determinadas grades geodésicas, indispensáveis para associar-se a informação a um local definido.

O SIG permite a integração de dados espaciais, derivados de uma variedade de fontes, possibilitando o armazenamento, recuperação, manipulação análise e visualização de acordo com especificações fornecidas pelo usuário (Marble et al., 1983). O sistema permite a manipulação de diversos dados recuperáveis, como por exemplo: cálculo de áreas e/ou perímetros de qualquer polígono digitalizado, cálculo do comprimento de uma determinada característica linear (como as linhas das margens de certos rios), geração de modelos digitais de terreno e suas variantes (modelos de declinação, curvas de isovalores, etc...), sobreposição de dois ou mais conjuntos de dados (inclusive imagens de sensores orbitais com modelos digitais de terreno).

Como os dados no SIG podem ser acessados, transformados e manipulados interativamente, eles podem servir para análise de processos dinâmicos ambientais. Burrough (1986) descreve todos os módulos existentes num SIG bem como os seus componentes básicos de "hardware". Felgueiras (1987) fornece uma descrição detalhada do sistema de informações geográficas existentes no INPE.

Os dados introduzidos e manipulados num SIG são, segundo Burrough (1986), de dois formatos: "raster" (varredura) e vetorial. Este autor cita as vantagens e desvantagens de cada uma destas representações. Os dados de sensores orbitais são armazenados em formato "raster", propício para manipulação em sistemas computacionais de tra-

tamento de imagens. Os processos de classificação necessitam que na imagem exista uma estrutura "raster" onde uma determinada posição (x,y) representa a posição de pixel dentro do sistema.

Os mapas cartográficos poligonais são obtidos através de periféricos que normalmente processam apenas dados armazenados no formato vetorial. Neste formato as classes são representadas por suas fronteiras, isto é, através de uma lista de pontos (pares x, y) que delimitam o seu contorno.

A conversão de formato vetorial para "raster", segundo Burrough (1986), é uma operação simples e existem diversos algoritmos conhecidos que executam essa operação. Inclusive em algumas telas de monitores de microcomputadores, ela é feita automaticamente.

Os "scanners" (varredores) são equipamentos óticos/vídeo, normalmente equipados com detetores CCD (Charge Couple Device), que efetuam "rasterizações" instantâneas a partir de documentos cartográficos e imagens não digitais (fotografias aéreas impressas em papel fotográfico, por exemplo). No entanto, a conversão de formato "raster" para vetorial é complexa, pois envolve a necessidade de redução do número de coordenadas nas linhas resultantes (Burrough, 1986). Qualquer imagem digital utilizada em formato "raster", precisa sofrer um processo de vetorização para que possa ser manipulada por uma mesa traçadora.

Os princípios básicos de uma operação de conversão de formato "raster"/vetor podem ser encontrados em Graça (1987), Araújo (1987) e Erthal (1988).

a) Cálculo de áreas de polígonos em um Sistema de tema de Informações Geográficas

Através de uma mesa digitalizadora calibrada (a calibração envolve a eliminação de distorções internas do documento a ser digitalizado, usando pontos de controles com coordenadas conhecidas) do SIG/INPE, todos os polígonos existentes em um mapa são inseridos no Sistema. O manual do SIG/INPE (Engespaço, 1987) fornece os passos envolvidos na digitalização de polígonos.

Os planos de informação formados a partir dos polígonos digitalizados sofrem uma transformação vetor/"raster", sendo obtidas imagens com tamanho e resolução fornecidos pelo usuário.

b) Modelos numéricos digitais em um Sistema de Informações Geográficas

Segundo Felqueiras (1987), um modelo digital é gerado a partir de um conjunto de pontos $(x_i, y_i, z_i - i = 1, 2, \dots)$ amostrados da superfície real, sendo que as coordenadas x e y dos pontos estão relacionadas às posições de amostragem na superfície e a coordenada z está relacionada à característica da superfície que se quer modelar.

Os modelos matemáticos, de ajustagem de uma superfície, proporcionam funções contínuas em terceira dimensão, que permitem a representação de formas complexas com um alto grau de suavidade. Pettinatti (1983) descreve as etapas envolvidas no processo de modelamento matemático de uma superfície.

c) Informações derivadas de um modelo numérico digital

Os produtos que podem ser derivados de um modelo numérico de terreno, no ambiente do SIG/INPE, e utilizados em estudos geomorfológicos fluviais, são citados a seguir:

- modelos em terceira dimensão (diagrama de blocos);
- mapas de contornos ou mapas de isolinhas formados por um conjunto de polígonos em rede e fechados;
- geração de perfis;
- estimativa de volume do modelo numérico do terreno através de integração numérica;
- reclassificação de imagens de modelos digitais e cálculo das classes temáticas dessas imagens.

Quanto maior o número de amostras digitalizadas em um modelo numérico digital, melhor será a representação da superfície original. No caso de modelos digitais batimétricos, podem ser obtidas informações sobre os seguintes fenômenos geomorfológicos fluviais: erosão e deposição de sedimentos, delimitação de bacias de drenagem, modificações ocorridas em corpos d'água, etc... (Stow e Ester, 1981; Deimel Jr. et al., 1982; Burrough, 1986).

2.6 - DETECÇÃO DE BORDAS EM UMA IMAGEM DIGITAL

A seguir serão abordados os conceitos teóricos envolvidos nos algoritmos de processamento de imagens digitais utilizados na pesquisa, dentro do ambiente do SITIM-150/INPE.

Ao se trabalhar com imagens digitais de sensores remotos em estudos fluviais, necessita-se definir os limites da interface água/terra existentes na imagem. Uma das maneiras de se obter essa definição é através da aplicação de um algoritmo de detecção de bordas, que binariza a imagem (níveis de cinza presentes assumem os valores de 0 e 255), tornando nítidas as fronteiras dessa interface.

A detecção de borda pode ser feita através de um processo de limiarização, um tipo de manipulação de contraste, que segmenta a imagem em duas classes definidas por um limiar de nível de cinza. A seleção deste limiar pode ser uma tarefa complexa, com diversos compromissos associados a um conhecimento à priori sobre a cena. Schowengerdt (1983) diz que o realçamento de contraste por limiar, na banda do infravermelho próximo, é útil para separar a fronteira água/terra, pois a água tem reflectância aproximadamente igual a zero nessa banda espectral, sendo facilmente separada da terra e/ou vegetação.

A detecção de mudanças repentinas nos níveis de cinza nas imagens digitais é um problema clássico no processamento de imagens digitais. Essas mudanças normalmente indicam uma fronteira (borda) entre duas regiões distintas na imagem. Segundo Richards (1986), ela se baseia numa filtragem espacial do tipo passa-alto, seguida de um processo de "limiarização" (determinação dos limites dos níveis de cinza), a borda somente será detectada se a saída do filtro ultrapassar o limiar.

Essa detecção é feita através de uma filtragem em duas direções ortogonais (vertical e horizontal), combinando os resultados em cálculo vetorial. Estes resultados constituirão as componentes de um vetor gradiente, cuja magnitude é fornecida pelo comprimento do vetor composto, e a

direção é fornecida pelo ângulo entre o vetor resultante e o eixo de coordenadas. Schowengerdt (1983) e Richards (1986) descrevem o filtro gradiente e alguns de seus operadores (de Roberts e o de Sobel) principais.

No compromisso da escolha de um determinado limiar, Schowengerdt (1983) diz que, caso ele possua valores baixos, pode vir a identificar pixels isolados como bordas, tornando-as espessas e mal definidas, e o contrário (limiar alto) pode resultar em bordas "quebradas".

2.7 - DELIMITAÇÃO DE REGIÕES E CÁLCULO DE ÁREA

Uma imagem binarizada com bordas detectadas, pode ser submetida a uma ampliação na tela do monitor da UVI do SITIM-150 (usando a função zoom). Caso a imagem não seja binarizada, ao ser feita essa ampliação, ocorreria uma perda intensa de contraste, dificultando a delimitação da interface água/terra.

Qualquer região de interesse nessa imagem binarizada e ampliada, pode ser selecionada usando o programa "Delimitação de Regiões - TRAÇO", existente no SITIM-150. A seleção da região é feita com o cursor usando as funções do programa (m-move, t-traça, r-reset, v-vôo, z-zoom, pn-passo²ⁿ⁻¹, f-fim). Isso permite, por exemplo, a delimitação das fronteiras de uma ilha fluvial, considerando-a como uma classe independente.

A cada classe delimitada, o programa fornece uma cor com seu respectivo rótulo, oferecendo a opção de preenchimento do polígono nessa cor escolhida. Em seguida, na opção do relatório, é apresentado o número de pontos (NP). De posse desse número de pontos (NP) é possível o cálculo de área de cada classe na imagem, usando a relação abaixo,

obtida do programa cálculo de área do I-100 (sistema de tratamento de imagens do INPE):

$$\text{Área} = \text{NP} \times \frac{\Delta x + 1}{512} \times \frac{\Delta y + 1}{512} \times R; \quad (2.2)$$

onde:

NP = número de pontos;

$\Delta x = X_{\max} - X_{\min}$ (coordenadas em X da imagem);

$\Delta y = Y_{\max} - Y_{\min}$ (coordenadas em Y da imagem);

R = Resolução do pixel.

2.8 - PROGRAMA REGISTRO

O registro de duas imagens distintas, obtidas da mesma cena-objeto, pode ser entendido como a operação que faz com que uma imagem se sobreponha perfeitamente à outra, de modo que cada par de pontos obtidos das imagens assim sobrepostas, corresponda ao mesmo ponto-objeto originalmente imageado.

Pode-se também registrar uma imagem para um sistema de coordenadas de um mapa e ter seus pixels endereçados numa referida projeção cartográfica.

Pinto et al. (1985) utilizando o sistema Registro do I-100, realizou uma análise multitemporal com imagens MSS/LANDSAT, para detectar a variação da lâmina d'água entre situações de cheia e vazante de um trecho do Rio Paraná, e Niero et al. (1984) usando o mesmo programa,

com imagens MSS em situações de vazante do rio Solimões, detectou o crescimento da Ilha dos Mouras. O sistema registro permite a realização de composições coloridas multitemporais, de imagens com a mesma banda espectral, para detecção de mudanças ambientais.

O princípio de funcionamento de um programa de registro de imagens digitais e/ou imagem digital com um mapa, pode ser encontrado em Bernstein (1983), Schowengerdt (1983), Erthal (1985), Richards (1986) e Banon (1987).

O registro de imagens é dividido em duas partes: correção geométrica e interpolação de níveis de cinza.

a) Correção geométrica

Envolve o levantamento de uma função matemática que permite mapear a geometria de uma imagem (imagem de entrada) para uma nova geometria (imagem de referência).

O programa registro implementado no SITIM-150/INPE, utiliza o método polinomial para executar as diversas transformações geométricas para sobreposição de imagens digitais; detalhes do princípio de funcionamento deste método podem ser encontrados em Wolf (1983).

A imagem de referência (ou um mapa) será a imagem que terá a sua geometria mantida na imagem de saída, e a imagem de entrada terá seus pixels reamostrados na mesma imagem.

O método polinomial utiliza equações da forma (Erthal, 1985):

$$U = F(x,y) = \sum_{i=0}^K \sum_{j=0}^{K-1} a^{ij} x^i y^j \quad (2.3)$$

$$V = f(x,y) = \sum_{i=0}^K \sum_{j=0}^{K-1} b^{ij} x^i y^j$$

onde:

(x,y) : sistema de coordenadas da imagem de referência;

(U,V) : sistema de coordenadas da imagem de saída;

a^{ij}, b^{ij} : coeficientes de transformação;

K : grau do polinômio.

O conhecimento das funções (U,V) permite a localização de um ponto na imagem de saída conhecendo a sua posição na imagem de referência (ou num mapa). O grau de transformação polinomial (K) a ser utilizado é função do nível de distorção existente entre as imagens a serem registradas. Um polinômio do primeiro grau, do tipo:

$$U = a_0 + a_1 y + a_2 x \quad (2.4)$$

$$V = b_0 + b_1 y + b_2 x ;$$

permite as seguintes correções na imagem a ser registrada: deslocamento (registro translacional), mudança de escala, rotação e inclinação.

Os coeficientes a_{ij} e b_{ij} para serem calculados necessitam da identificação de um conjunto de características perfeitamente identificáveis nas duas imagens (a de entrada e a de referência), ou entre a imagem de entrada e o mapa, caso se registre imagem com mapa. A localização dessas características, conhecidas como pontos de controle, deve ser extremamente cuidadosa, em igual quantidade e bem distribuídas sobre a imagem. O número mínimo de pontos de controle utilizado é função do grau do polinômio, pois quanto maior for esse grau maior será esse número. Um polinômio de primeiro grau necessita de, no mínimo, três pontos de controle, mas na prática, um número maior desses pontos é escolhido e os coeficientes são obtidos empregando o método de ajuste dos mínimos quadrados (Wolf, 1983). Assim, qualquer ponto de controle que contenha um erro de posição significativa, seja no mapa ou nas imagens, terá sua influência atenuada no cálculo dos coeficientes polinomiais. Richards (1986) acentua a importância de usar um polinômio de menor grau possível, pois os polinômios de graus elevados são precisos nas vizinhanças dos próprios pontos de controle, mas não o são nas regiões externas a esses pontos, gerando erros significativos e acentuadas distorções nas imagens a serem registradas.

b) Interpolação dos níveis de cinza

Após o ajuste da geometria da imagem, os níveis de cinza da imagem de entrada sofrem um processo de interpolação, para serem localizados em suas novas posições na imagem de saída.

O sistema Registro implementado no SITIM-150 permite a utilização dos métodos bilinear ou convolução cúbica para interpolação dos níveis de cinza. Maiores detalhes sobre estes métodos podem ser encontrados em Bernstein (1983), Schowengerdt (1983), Richards (1986) e Banon (1987).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - MATERIAIS UTILIZADOS

Neste ítem serão descritos os materiais utilizados na pesquisa.

3.1.1 - MATERIAL CARTOGRÁFICO

O material cartográfico utilizado compreendeu cartas náuticas, folhas de bordo e mapas topográficos.

A Carta Náutica DHN-4107A, que cobre a área em pauta, possui uma escala verdadeira de 1:99874 na latitude de 03°20'00"S, em projeção de Mercator. Tem duas edições: a primeira de 02/06/1969 e a segunda de 30/06/1979, com sondagens batimétricas atualizadas até 30/09/1987. O contorno das partes emersas, na edição atual, foi obtido através de imagens do projeto RADAM/1970 com complementos da carta de praticagem da edição anterior. Durante as comissões hidrográficas na região esse contorno é verificado, principalmente utilizando os radares de navegação dos navios que participam das sondagens batimétricas. As informações batimétricas, obtidas em levantamentos hidrográficos constantes da carta náutica, são selecionadas das folhas de bordo.

As folhas de bordo são os documentos cartográficos resultantes de uma comissão de levantamento hidrográfico, normalmente confeccionadas a bordo dos navios, nas projeções de Mercator e UTM. Sua escala é o dobro da escala da carta náutica da mesma região, e nelas estão registradas as informações batimétricas. Meireles (1980) faz uma descrição sucinta de como são realizadas as sondagens batimétricas numa comissão hidrográfica.

A Tabela 3.1 relaciona as folhas de bordo que foram utilizadas na pesquisa, com respectivas ilhas abrangidas na área de estudo, e os anos em que foram obtidas.

TABELA 3.1

FOLHAS DE BORDO UTILIZADAS NA PESQUISA

DOCUMENTO	PROJEÇÃO	ANO	ESCALA	ILHAS
FB-4107 A - 001/76	UTM	1976	1:50.000	Mouras/Xiborena (parte)/M ^a Antonia/Jacurutu/Muratu/Paciência (parte)
FB-4107 A - 002/76	UTM	1976	1:50.000	Paciência (parte)/Barroso/Banco da Conceição
FB-4107 A - 001/82	Mercator	1982	1:50.000	Barroso/Banco da Conceição
FB 4107 A - 001/84	Mercator	1984	1:50.000	Mouras/Xiborena (parte)
FB 4107 A - 001/85	Mercator	1985	1:50.000	Barroso/Banco da Conceição
FB 4107 A - 001/88*	UTM	1988	1:50.000	Mouras/Xiborena

* Produzida durante o trabalho de campo.

Cabe ressaltar que todos os dados batimétricos constantes das folhas de bordo já sofreram correções, de tal forma que a profundidade representada corresponde à menor altura de lâmina d'água existente no local sondado, independente de qualquer variação sazonal.

A Tabela 3.2 relaciona os mapas topográficos da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG), que foram utilizados na pesquisa.

TABELA 3.2

MAPAS TOPOGRÁFICOS DA DSG UTILIZADOS NA PESQUISA

DOCUMENTO	PROJEÇÃO	ANO	ESCALA	ILHAS
MI-578/1	UTM	1980	1:50.000	-
MI-578/2	UTM	1980	1:50.000	-
MI-578/3	UTM	1980	1:50.000	Paciência (parte)/Barroso
MI-578/4	UTM	1980	1:50.000	Paciência (parte)/Mouras (parte)/M ^a Antonia (J. Venâncio)/Muratu/Jacurutu
MI-579/1	UTM	1980	1:50.000	Marapatá/Xiborena/Mouras (parte)
MI-579/2	UTM	1980	1:50.000	Mouras (parte)

3.1.2 - DADOS DE VAZÃO E PRECIPITAÇÃO

Foram utilizados os dados de vazão da estação fluviométrica de Manacapuru localizada a cerca de 10 km a montante da Ilha do Barroso. Nessa estação não existe influência de qualquer tributário de grande porte que possa mascarar as suas leituras. Isto acontece com as estações do DNAEE em Manaus e Careiro, cujos dados podem sofrer influência da foz do rio Negro.

Os dados de vazão diária foram obtidos através do Instituto ORSTOM (França), e o período abrangido é de 1973 a 1987.

Foram utilizados os dados das estações pluviométricas de Manacapuru (INEMET) e de Manaus (DHN), correspondentes aos períodos de 1970-1985 (INEMET) e 1970-1987 (DHN).

3.1.3 - PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS

Os produtos de sensores remotos utilizados na pesquisa foram:

a) Fotografias Aéreas:

- 1) Julho/1970 - do Projeto RADAM-1:100.000, foram usadas na confecção da restituição que gerou um trecho do contorno das partes emersas da carta náutica DHN-4107A (Relatório do LH 006/76, 1976);
- 2) 5/agosto/1978 - do Projeto FAB/DSG-1:100.000, usadas na confecção das restituições dos mapas da DSG constante da Tabela 3.2.

As fotografias aéreas foram obtidas com uma câmera aérea ZEISS com filmes INFRARED B x W, que abrange a banda espectral do infravermelho próximo (700 nm a 900 nm).

b) Imagens MSS/TM/LANDSAT:

Na escolha das imagens dos sensores MSS/TM/LANDSAT da área de estudo, não foi possível compatibilizar as datas das passagens dos satélites com os picos da vazante do rio Solimões, devido a dois fatores:

- a) A região apresenta uma intensa cobertura de nuvens nos meses de vazante do rio Solimões (outubro, novembro e dezembro);

- b) a resolução temporal do satélite (LANDSAT 1/2/3 = 18 dias; LANDSAT 4/5 = 16 dias), não permitiu a coincidência da passagem do satélite com os dias de mínimo de vazante.

Como o monitoramento da dinâmica fluvial da área de estudo tem um caráter multitemporal, procurou-se escolher imagens espaçadas em um certo intervalo de anos, abrangendo o maior período possível, e com datas de passagens dos satélites livres de nuvens as mais próximas possíveis dos meses de vazante.

A Tabela 3.3 fornece os produtos de sensores remotos utilizados na pesquisa.

TABELA 3.3

PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS UTILIZADOS NA PESQUISA

PRODUTO	DATA	ÓRBITA/PONTO
Fot. Aér. RADAM	Jul/70	-
MSS/LANDSAT	09/07/73	346/14
MSS/LANDSAT	19/09/76	346/14
MSS/LANDSAT	09/12/76	346/14
Fot. Aér. DSG	05/08/78	-
MSS/LANDSAT	03/07/79	346/14
MSS/LANDSAT	01/12/81	346/14
MSS/LANDSAT	11/11/82	248/14
MSS/LANDSAT	09/07/83	248/14
TM/LANDSAT	24/11/84	231/62D
TM/LANDSAT	14/09/87	231/62D
TM/LANDSAT	19/12/87	231/62D

Os produtos LANDSAT da Tabela 3.3 estavam em fitas compatíveis com computador (CCT), sendo que as imagens TM também estavam representadas em forma de transparências (canal 4). Foi utilizada também uma ampliação fotográfica na escala de 1:100.000 da imagem TM/LANDSAT de 19/12/87.

3.1.4 - MATERIAIS UTILIZADOS EM TAREFAS DE CAMPO

De acordo com as tarefas realizadas no trabalho de campo, o material utilizado pode ser dividido em dois grupos principais de equipamentos:

a) Para determinação de coordenadas geográficas dos pontos de apoio à sondagem e dos pontos de controle:

- dois teodolitos Wild-T2 com precisão da ordem de + ou - 0,05 segundos de arco;
- um sistema eletrônico de medições de distâncias Telurômetro MRA-5 com precisão da ordem de + ou - 0,001 metro.

b) Para realização das sondagens batimétricas:

- um sistema eletrônico de posicionamento de embarcação, Motorola Mini-Ranger III, com precisão da ordem de 3 metros;
- um ecobatimétrico Kelvin-Hughes MS-26F com precisão da ordem de 0,1 metro.

Detalhes técnicos desses equipamentos podem ser encontrados na Instrução Permanente H-18 do BRASIL.MM.DHN, (1981g).

3.2 - METODOLOGIA

A metodologia na pesquisa foi dividida em duas partes:

PARTE 1 - Aplicada no monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo;

PARTE 2 - Aplicada na atualização de um trecho do contorno das partes emersas da carta náutica DHN-4107A.

3.2.1 - MONITORAMENTO DAS ALTERAÇÕES OCORRIDAS NA FORMA DO CANAL FLUVIAL DA ÁREA DE ESTUDO

A Figura 3.1 sintetiza a seqüência de tarefas realizadas no monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo.

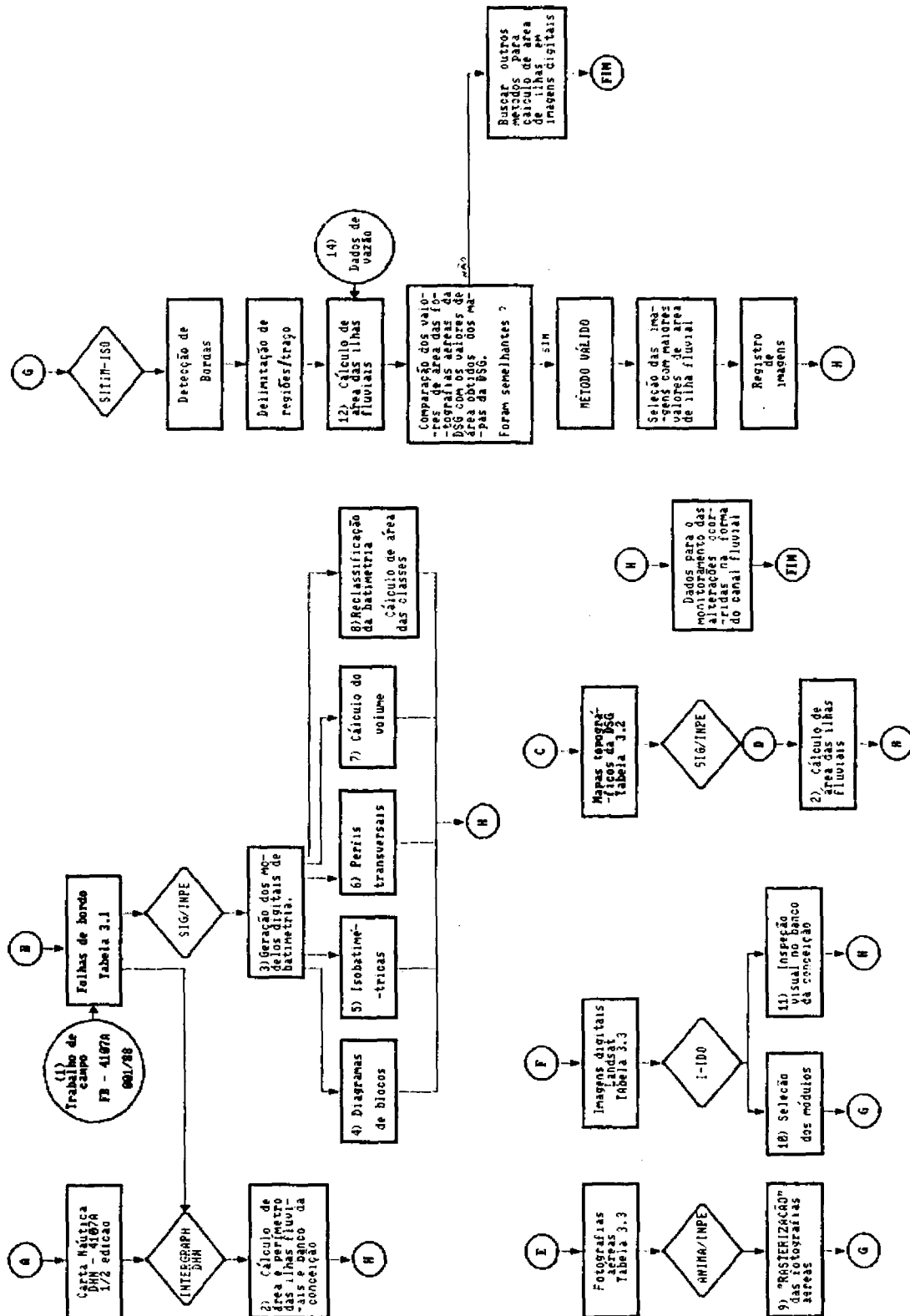


Fig. 3.1 - Sequência de tarefas realizadas no monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo.

Com a finalidade de facilitar a compreensão da metodologia empregada no monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo, é apresentada uma seqüência das tarefas realizadas, de acordo com a Figura 3.1.

SEQÜÊNCIA DE TAREFAS:

- 1) Trabalho de campo: determinação de coordenadas de pontos de apoio à sondagens e pontos de controle e sondagem batimétrica nas proximidades da Ilha dos Mouras;
- 2) Cálculo de áreas e perímetros das ilhas fluviais nas cartas náuticas e nos mapas da DSG (SIG/INPE e INTERGRAPH/DHN) e cálculo de área e perímetro do banco da Conceição nas folhas de bordo (INTERGRAPH/DHN);
- 3) Geração dos modelos digitais de batimetria (SIG/INPE);
- 4) Plotagem dos diagramas de blocos (SIG/INPE);
- 5) Geração das isobatimétricas (SIG/INPE);
- 6) Geração dos perfis transversais ao canal fluvial (SIG/INPE);
- 7) Cálculo do volume dos modelos digitais de batimetria (SIG/INPE);
- 8) Reclassificação da batimetria e cálculo de área das classes (SIG/INPE);

- 9) "Rasterização" das fotografias aéreas (ANIMA/INPE);
- 10) Seleção dos módulos nas imagens LANDSAT (I-100/INPE);
- 11) Inspeção visual do banco da Conceição (I-100/INPE);
- 12) Cálculo de área das ilhas fluviais (SITIM-150/INPE);
- 13) Registro de imagens (SITIM-150/INPE);
- 14) Relação entre os dados de vazão e área das ilhas fluviais.

A seguir são abordados as tarefas citadas nesta seqüência.

3.2.1.1 - TAREFAS EXECUTADAS NO TRABALHO DE CAMPO

Durante o mês de outubro de 1988 foi executado um trabalho de campo com a finalidade de realizar uma coleta de dados para auxiliar no monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo. Este foi escolhido em virtude de ser o mês no qual normalmente ocorre o mínimo da vazante no trecho estudado do rio Solimões.

As tarefas executadas nesse trabalho se constituíram na obtenção de dados intermediários, que puderam ser incluídos nos materiais utilizados na pesquisa, não disponíveis no início da mesma. Estes dados obtidos no campo, não considerados como partes dos resultados alcançados com a metodologia proposta, foram os seguintes: determinação das coordenadas dos pontos de apoio à sondagem e dos pontos de controle e sondagem batimétrica nas proximidades da ilha dos Mouras.

a) determinação das coordenadas dos pontos de apoio à sondagem e dos pontos de controle

Os pontos de apoio à sondagem, juntamente com os pontos de controle que foram usados no registro da imagem digital (item 4.2.2), tiveram suas coordenadas determinadas através de uma poligonal geodésica de terceira ordem, partindo-se de um lado de coordenadas conhecidas (CO-PAM-SIDERAMA/ENCAL). A Figura 3.2 mostra o esquema da poligonal com os ângulos e distâncias medidos no campo. Neste figura, os pontos A, B foram o lado de partida da poligonal; os pontos C, D, E, F, G foram os pontos de apoio à sondagem batimétrica; os pontos E, I, J, M foram os pontos de controle usados no registro da imagem digital e os pontos H, L foram os pontos intermediários da poligonal. Nesta tarefa foram cumpridas as normas técnicas estabelecidas nas Instruções Permanentes H-8, H-9, H-10, H-17 e H-28 do BRASIL. MM.DHN (1981a,b,c,f,i).

A Tabela 3.4 lista as coordenadas dos pontos de apoio à sondagem e dos pontos de controle, obtidos no trabalho de campo, tendo como datum horizontal Córrego Alegre.

ESQUEMA DOS PONTOS

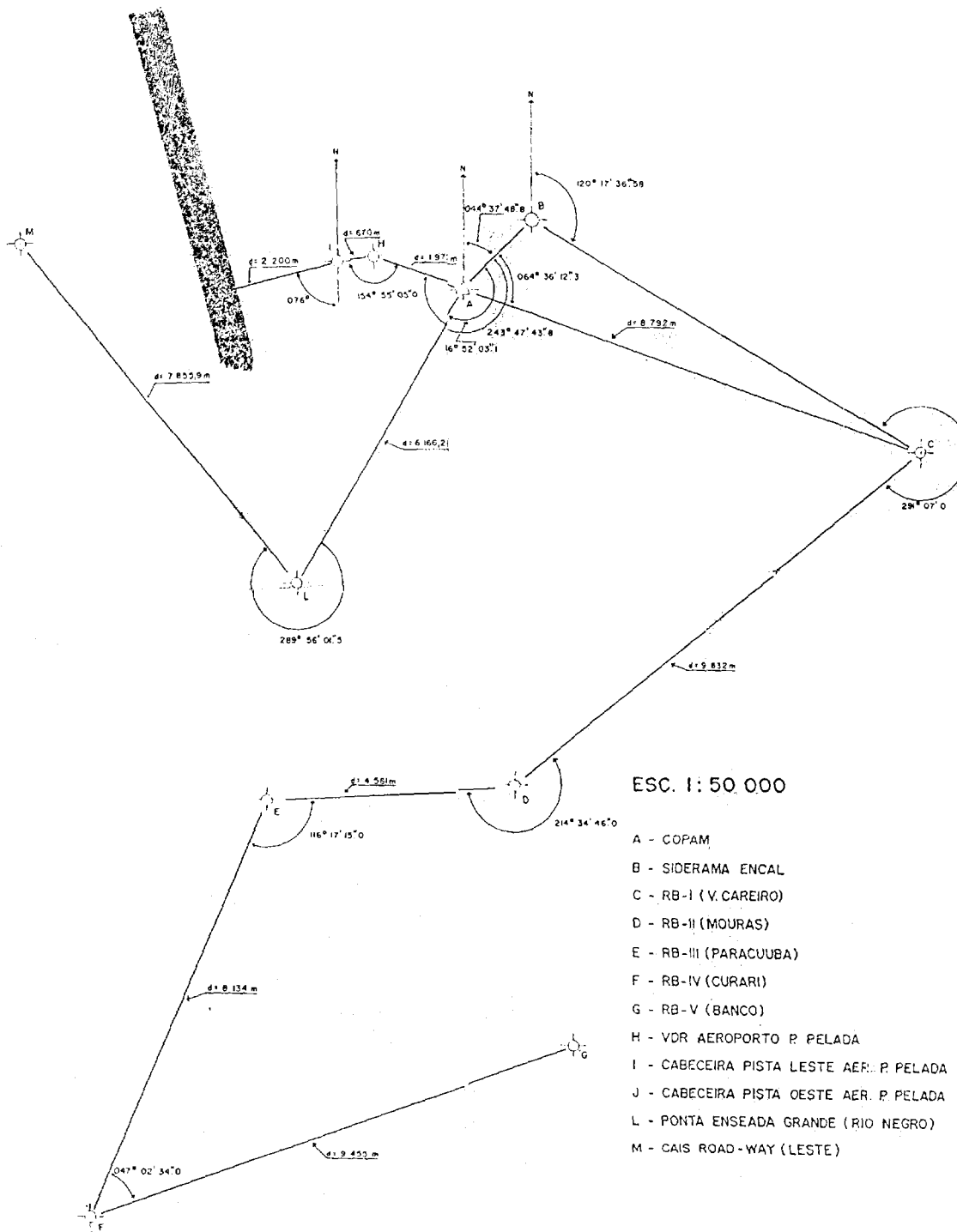


Fig. 3.2 - Esquema dos pontos da poligonal geodésica de terceira ordem obtida no trabalho de campo.

TABELA 3.4

COORDENADAS DOS PONTOS DE APOIO A SONDAGEM E DOS PONTOS
DE CONTROLE (GEOGRÁFICAS E EM UTM MC-059°)

PONTO	LOCAL	TIPO	LATITUDE	LONGITUDE	N	E
RB-I	Vila do Careiro	Apoio a sondagem	3°10'28",277	59°52'41",392	9648667,30	180073,28
RB-II	Ilha dos Mouras	Apoio a sondagem	3°13'43",856	59°56'45",243	9642633,05	172554,65
RB-III	Furo do Paracuuba	Apoio a sondagem/ Ponto de controle	3°13'54",225	59°59'12",610	9642300,95	168001,41
RB-IV	Vila Curari	Apoio a sondagem	3°17'59",256	60°00'52",519	9634757,93	164936,38
RB-V	Banco da Ilha dos Mouras	Apoio a sondagem	3°16'10",583	59°56'05",984	9638125,51	173780,97
Pista Leste	Aeroporto de Ponta Pelada	Ponto de controle	3°08'36",231	59°58'32",394	9652081,50	169215,99
Pista Oeste	Aeroporto de Ponta Pelada	Ponto de controle	3°08'53",558	59°59'41",528	9651542,65	167080,81
Roadway	Cais do Porto de Manaus	Ponto de controle	3°08'25",190	60°01'33",207	9652404,92	163626,59

b) sondagens batimétricas.

Em virtude dos dados batimétricos disponíveis, nas proximidades da ilha dos Mouras, serem de até 1984, foi executada uma sondagem batimétrica durante o trabalho de campo, com a finalidade de se obter informações de profundidade atualizadas sobre esse trecho do leito fluvial.

A sondagem batimétrica, utilizando o ecobatímetro Kelvin-Hughes MS-26F a bordo do Aviso Hidrográfico "Rio Branco", foi realizada desde a foz do rio Negro, nas proximidades de Manaus, até a extremidade jusante da ilha do Baixio, cumprindo as normas preconizadas no Manual de Hidrografia capítulo L5-II e nas Instruções Permanentes H-12, H-16, H-18 e H-24 da BRASIL.MM.DHN (1981d,e,g,h). A sondagem foi executada na escala de 1:50.000, na projeção de Mercator com datum horizontal Córrego Alegre, em linhas transversais ao canal do rio, espaçadas de 500 metros. A redução das sondagens foi feita utilizando os dados fluviométricos da estação Manacapuru. O resultado da sondagem batimétrica está contido na folha de bordo FB-4107A-001/88, reproduzida na Figura 3.3.

Cabe ressaltar que os pontos de apoio a sondagem foram os pontos no terreno em que estavam instaladas as unidades receptoras do Motorola-MinirRanger III, que posicionaram o Aviso Hidrográfico, durante a sondagem.

Os produtos obtidos com as tarefas realizadas no campo foram: as coordenadas dos pontos de apoio à sondagem e as dos pontos de controle (usados na segunda parte da metodologia) e, a sondagem batimétrica que originou a FB-4107A-001/88.

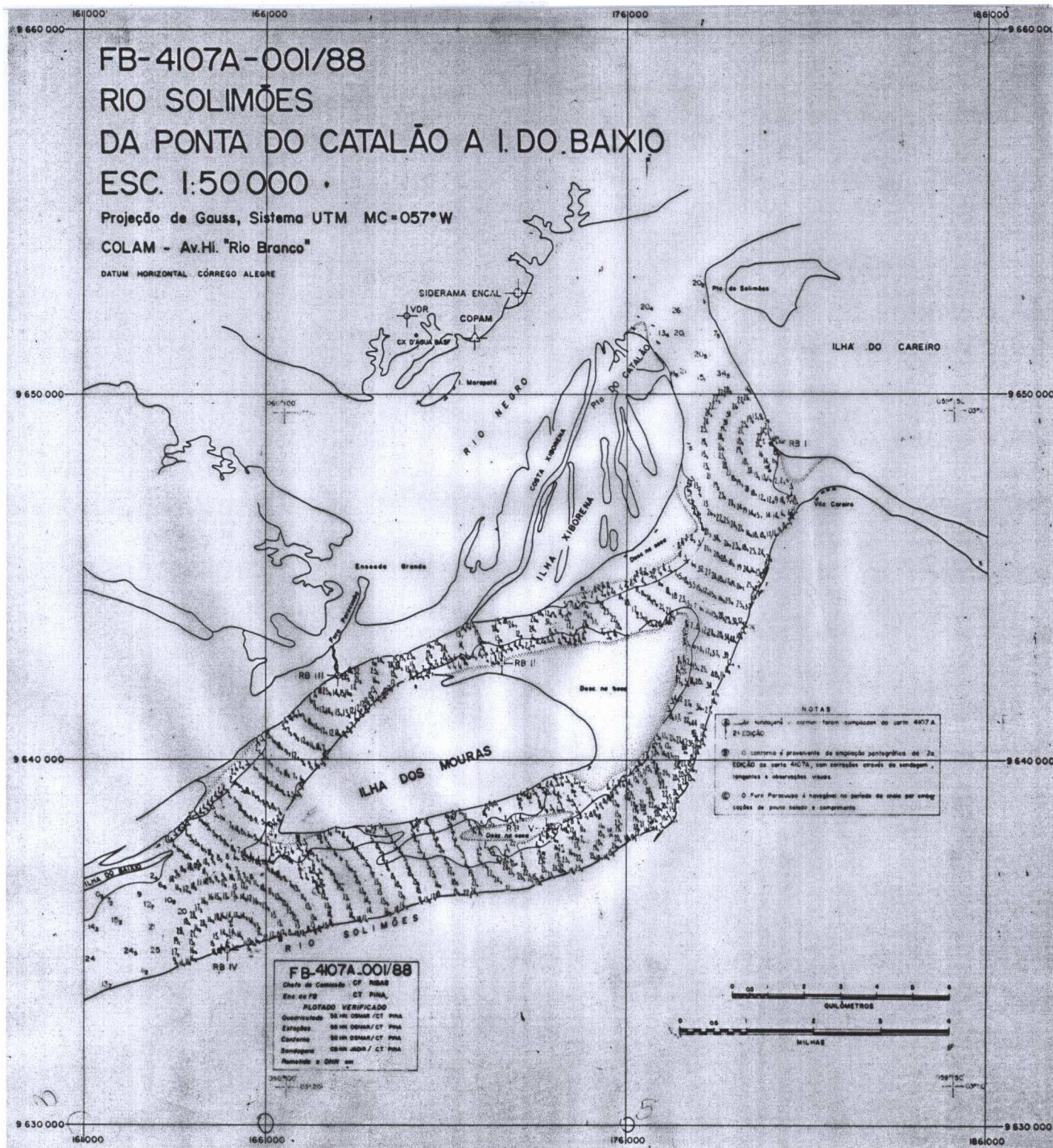


Fig. 3.3 - Cópia da FB-4107A-001/88 produzida no trabalho de campo.

A seguir será abordada a metodologia aplicada no monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial utilizando dados cartográficos.

3.2.1.2 - UTILIZAÇÃO DE DADOS CARTOGRÁFICOS

Os documentos cartográficos citados no item 3.1.1 foram introduzidos no SIG/INPE, gerando planos de informações que puderam ser manipulados através dos programas do Sistema, fornecendo dados para o monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo. Os produtos obtidos com esses documentos são citados a seguir.

a) Cálculo de áreas e perímetros das ilhas fluviais na carta náutica e nos mapas da DSG e do banco da Conceição nas folhas de bordo

Com a finalidade de calcular as áreas e os perímetros das ilhas fluviais constantes da carta náutica DHN-4107A/2ª edição e nos mapas da DSG (Tabela 3.2), foram criadas duas regiões geográficas, uma para a carta náutica e outra para os mapas da DSG, contendo diferentes planos de informação (PI), que eram os polígonos digitalizados a partir das ilhas da área de estudo. Em seguida, esses diversos PIs que abrangiam as ilhas digitalizadas sofreram uma transformação vetor/"raster", sendo obtidas imagens cujo tamanho do pixel foi fornecido ao sistema. Essa transformação de formato está contida no módulo de conversão do SIG/INPE. Através de uma simples operação de multiplicação, resolução do pixel x número de pontos dos polígonos, obtiveram-se os valores em km² das áreas das ilhas.

Para efeito de cálculo, os bancos de areia adjacentes às ilhas fluviais tiveram suas áreas e perímetros

acrescentados às respectivas ilhas. Este procedimento foi observado somente em relação às duas edições da carta náutica, pois os mapas da DSG não representam os bancos de areia, em virtude dos mesmos estarem submersos por ocasião das fotografias aéreas de 05/08/78 que os originaram.

Pelo fato da primeira edição da carta náutica DHN-4107A ser histórica, não havendo exemplares disponíveis comercialmente, foi solicitado à DHN o cálculo de área das ilhas. O sistema utilizado para essa finalidade foi o INTERGRAPH de cartografia automatizada, que permitiu o cálculo do perímetro e de área de polígonos vetoriais. Os valores obtidos da primeira edição da carta DHN-4107A (1969) puderam ser comparados com os obtidos da segunda edição (1979) e com os dos mapas da DSG para, finalmente, serem comparados com os dos produtos de sensores remotos. A Figura 3.4 é uma cópia reduzida de um trecho da carta náutica DHN-4107A, na sua primeira edição.

Na Amazônia, devido à carência de dados cartográficos históricos precisos, deve se ter cuidado ao comparar mapas de épocas distintas com o intuito de se diagnosticar mudanças geomorfológicas em canais fluviais. Mertes (1985), em seu estudo geomorfológico dos rios Solimões e Amazonas, comparou mapas do século passado existentes no congresso americano, mapas estes feitos por exploradores baseados em observações visuais, com fotografias aéreas da década de 40, com imagens do projeto RADAM e, finalmente, com cartas náuticas da região. A autora, baseada nessas comparações, infere uma espécie de cronograma geomorfológico histórico de mudanças ocorridas nos canais fluviais. Tal procedimento é questionável, exatamente pela falta de rigor cartográfico desses documentos.



Fig. 3.4 - Cópia reduzida da carta náutica DHN-4107A, primeira edição.

FONTE: DHN (1969).

Devido o banco da Conceição apresentar formas distintas nas folhas de bordo referentes à ilha do Barroso, foi calculado sua área e perímetro para os anos das respectivas folhas, utilizando o sistema de cartografia automatizada INTERGRAPH/DHN.

b) Geração dos modelos digitais de batimetria

As folhas de bordo, constantes da Tabela 3.1, tiveram suas sondagens batimétricas digitalizadas (via mesa digitalizadora do SIG/INPE) em 3D, sendo gerado para cada folha de bordo um modelo digital correspondente. Em seguida, essas sondagens batimétricas foram organizadas em um arquivo tipo árvore para acessar as amostras na fase de interpolação, utilizando o programa Organização de Amostras do módulo de entrada do SIG/INPE. Essa estrutura de árvore possibilitou um acesso computacional mais rápido aos pontos vizinhos mais próximos do espaço bi-dimensional.

A Tabela 3.1 lista os modelos digitais de batimetria que foram gerados.

TABELA 3.5

MODELOS DIGITAIS DE BATIMETRIA GERADOS

MODELO	ESCALA	ANO	DOCUMENTO DE ORIGEM	ILHAS ABRANGIDAS
M076	1:50.000	1976	FB-4107A-001/76	Mouras
M084	1:50.000	1984	FB-4107A-001/84	Mouras
M088	1:50.000	1988	FB-4107A-001/88	Mouras
BA76	1:50.000	1976	FB-4107A-002/76	Barroso
BA82	1:50.000	1982	FB-4107A-001/82	Barroso
BA85	1:50.000	1985	FB-4107A-001/85	Barroso

Na geração da grade regular de cada modelo, utilizando o programa correspondente no módulo de entrada do SIG/INPE, após ser feita a organização de suas amostras, foram escolhidos os seus limites ($X_{\text{máx}}$, X_{min} , $Y_{\text{máx}}$, Y_{min}), de modo que os modelos que abrangessem a mesma ilha (modelos M076, M084, e M088 para a Ilha dos Mouras e modelos BA76, BA82 e BA85 para a Ilha do Barroso) tivessem o mesmo tamanho de grade, consequentemente a mesma resolução.

Os valores das cotas batimétricas dos pontos da grade foram estimados segundo um interpolador do tipo média ponderada das cotas dos pontos vizinhos mais próximos. Considerou-se a quantidade de dois vizinhos por quadrante totalizando oito vizinhos mais próximos. A utilização da vizinhança por quadrante garantiu a consideração da posição relativa entre os pontos usados na interpolação. O Sistema permitiu ainda a utilização de uma função de ponderação, que foi inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os pontos interpolados, garantindo com isso, que os vizinhos mais próximos desses pontos tivessem peso maior no cálculo do valor de cota do referido ponto (Felgueiras, 1987).

A resolução da grade de entrada, em termos do número de linhas e colunas no programa de Geração da Grade Regular do SIG/INPE, foi fornecida de modo que as resoluções vertical e horizontal tivessem valores semelhantes. Foram testados diversos valores de tamanho de grade e os que apresentaram o melhor aspecto visual estão relacionados na Tabela 3.6.

TABELA 3.6

DADOS DAS GRADES DOS MODELOS DIGITAIS DE BATIMETRIA

MODELOS	TAMANHO DA GRADE (LINHAS E COLUNAS)				LIMITES								RESOLUÇÃO (M)			
	GRADE DE ENTRADA		GRADE DE SAÍDA		GRADE DE ENTRADA				GRADE DE SAÍDA				GRADE DE ENTRADA		GRADE DE SAÍDA	
	HORI ZONTAL	VERTICAL	HORI ZONTAL	VERTICAL	X _{MIN}	X _{MAX}	Y _{MIN}	Y _{MAX}	X _{MIN}	X _{MAX}	Y _{MIN}	Y _{MAX}	HORI ZONTAL	VERTICAL	HORI ZONTAL	VERTICAL
M076, M084, M088	100	80	417	334	-2100	20000	-6350	11350	-2100	19948	-6299	11350	223,23	224,05	53	53
BA76, BA82, BA85	100	100	264	202	4670	18650	-4870	5820	4670	18607	-4833	5820	141,21	107,98	53	53

Após a fase de geração da grade regular, passou-se para o módulo de conversão do Sistema e utilizou-se o programa de Refinamento da Grade Regular. No refinamento das grades utilizou-se um interpolador bilinear (Felgueiras, 1987), e forneceu-se a resolução para a grade de saída refinada, de modo que todos os modelos tivessem a mesma resolução, aproximadamente três vezes maior que a resolução da grade de entrada. O SIG/INPE armazenou essa grade de saída como uma imagem geocodificada, que pode ser chamada de imagem do modelo, com valores de níveis de cinza de 0 a 255. Estes valores de níveis de cinza foram relacionados aos valores reais da grade por uma tabela que quantificou a variação do terreno em 256 níveis.

As utilidades da imagem de saída, correspondente a cada modelo, foram as seguintes:

- a) a imagem pode ser visualizada em 2D no monitor da UVI do sistema, fornecendo uma idéia sobre a distribuição da batimetria em termos de níveis de cinza;
- b) permitiu a reclassificação da batimetria por fatiamento.

A Tabela 3.6 lista os tamanhos, os limites e as resoluções das grades de entrada e saída; a grade de saída é a grade de entrada após o refinamento.

Nos modelos que compreendem a região nas proximidades da ilha do Barroso, o paraná do Barroso n possuí sondagens batimétricas em 1982 e 1985, sendo representadas as profundidades nas folhas de bordo correspondentes, com valores obtidos em 1976, de acordo com as informações contidas nos relatórios dos Levantamentos Hidrográficos da COLAM (BRASIL.MM.DHN, 1985). Devido a este fato não puderam ser feitas análises para este local.

Como observação final, os valores altimétricos das margens do rio e das ilhas não estavam disponíveis nos documentos cartográficos utilizados. Certos bancos de areia chegam a atingir sete metros de altura de acordo com as informações batimétricas constantes das folhas de bordo (Tabela 3.1); Deimel Jr. et al. (1982) sugerem a utilização de um datum arbitrário e constante para os limites altimétricos de modelos digitais de corpos d'água. Na pesquisa foi utilizado um datum de 15 metros, para permitir o delineamento das margens do canal fluvial e de suas respectivas ilhas; entretanto esse valor não influenciou nenhum dos produtos resultantes dos modelos digitais de batimetria, citados a seguir.

bl) Plotagem dos diagramas de blocos

A partir do modelo de grade regular, no módulo saída do SIG/INPE, utilizando o programa Visualização em 3D, foram plotados os diagramas de blocos dos modelos. A projeção planar (150 metros) que apresentou o melhor aspecto foi a paralela, e os parâmetros, que permitiram a melhor visualização em terceira dimensão do canal fluvial, através de tentativa e erro, foram os seguintes:

- a) Fator de escala (ou de exagero vertical), fator que exagera as cotas verticais em relação à extensão do modelo, permitindo a visualização em 3D do diagrama de blocos, = 100 para todos os modelos;
- b) fator de amostragem (FA) = 2, para todos os modelos. Esse fator permite o usuário definir a quantidade de linhas nos diagramas de blocos que deseja ser visualizada em 3D, um fator = 2 equivale a 50% das linhas do modelo visualizadas;

- c) ângulo vertical de observação (z) = 50° , para todos os modelos. Esse ângulo representa a elevação de um observador na visualização do modelo. Um ângulo de 90° o observador está o tópo e um ângulo de 0° significa que observados está no mesmo nível horizontal do modelo;
- d) azimute (ângulo de observação horizontal, Az) = 65° e 307° , para os modelos da ilha do Barroso e, 133° e 310° para os modelos da ilha dos Mouras. O azimute representa a posição de observação horizontal do modelo.

A escolha de dois ângulos azimutais para cada modelo foi para permitir a visualização do canal fluvial a partir de dois pontos opostos de observação.

Foi utilizado o programa Diferença Entre Grades, em fase de implementação no SIG/INPE. Esse programa gera um novo modelo a partir da diferença aritmética entre as grades regulares de dois outros modelos da mesma região geográfica. As grades regulares dos modelos das ilhas dos Mouras e do Barroso, respectivamente, foram subtraídas entre si, e os novos modelos resultantes tiveram seus diagramas de blocos plotados na mesa traçadora do SIG/INPE, utilizando os mesmos parâmetros definidos acima. Nesses diagramas as áreas planas representam aquelas em que não ocorreram mudanças de cotas de um modelo para outro, as elevações significam que as profundidades do modelo mais antigo eram maiores do que as do modelo mais recente, caracterizando a existência de deposições de sedimentos ocorrida no canal fluvial, e as depressões significam o inverso, isto é, a ocorrência de erosões no canal fluvial, no lapso de tempo entre os modelos.

b2) Geração das isobatimétricas

A partir da grade refinada de cada modelo digital de batimetria da Tabela 3.6, foram gerados mapas de isobatimétricas. As isobatimétricas foram obtidas automaticamente usando o programa Geração de Isolinhas, existente no módulo de conversão do SIG/INPE. O programa permite que o usuário defina a isolinha inicial, a isolinha final e o espaçamento entre isolinhas. Nesta aplicação forneceram-se ao Sistema os seguintes dados:

- a) Isolinha inicial = 0 metro;
- b) Isolinha final = 45 metros;
- c) Espaçamento entre isolinhas = 5 metros.

A isobatimétrica de 0 metro permitiu delinear os limites dos bancos de areia. Utilizando o programa Gera Carta do módulo saída do SIG/INPE, foram plotadas as isobatimétricas dos modelos digitais de batimetria.

A análise multitemporal das isobatimétricas, levando em consideração os seus formatos, permitiu uma avaliação sobre a modificação do perímetro da classe de profundidade de zero metro do canal fluvial na área de estudo.

b3) Geração de perfis transversais ao canal fluvial

Dentro do módulo de manipulação do SIG/INPE, utilizando o programa Geração de Perfis, foram traçados perfis transversais ao canal fluvial a partir das grades dos modelos da Tabela 3.5.

No projeto correspondente à região geográfica, foi ativado o plano de informação desejado, no caso da pes-

quiza um modelo digital de batimetria em formato vetorial (isolinhas), carregando no monitor da UVI do Sistema o mapa de isobatimétricas correspondente. Em seguida, o programa ofereceu a opção de, através de um segmento de reta traçado sobre o mapa de isobatimétricas, escolher a direção de um plano vertical que seccionou a grade refinada. Em seguida, o programa interpolou os valores das cotas de profundidade abrangidas por esse plano vertical, gerando um gráfico de saída, que forneceu a variação do relevo do trecho do leito fluvial escolhido, as cotas máxima e mínima e o comprimento do perfil.

Devido à atual limitação da capacidade de memória do SIG/INPE, os perfis foram traçados um de cada vez, sobrepondo os três modelos por região geográfica, isto é, os modelos da ilha dos Mouras (M076, M084 e M088) e da ilha do Barroso (BA76, BA82 e BA85), num total de seis perfis por região geográfica.

b4) Cálculo do volume dos modelos digitais de batimetria

Utilizou-se este programa existente no módulo de manipulação do SIG/INPE, para calcular o volume da grade dos seis modelos digitais gerados a partir dos dados batimétricos. O programa necessita que seja fornecida uma cota base, utilizada como referência para o volume final calculado, e obtêm-se, como resultado de cálculo de integração numérica na grade regular selecionada, dois valores de volume: um positivo e o outro negativo. O valor positivo está associado ao volume dos acidentes geográficos acima da cota base e o negativo representa este volume abaixo dessa cota base.

No caso da pesquisa, o volume negativo foi o de interesse, pois não considerou em seus cálculos, graças aos

valores das cotas bases escolhidas, o datum altimétrico arbitrário de quinze metros, estabelecido para as margens do canal e ilhas fluviais, durante a fase de digitalização das profundidades das folhas de bordo (Tabela 3.1).

Considerando que o volume negativo é o volume abaixo da cota base batimétrica, então um aumento desse volume significa um aumento dessas referidas cotas (aumento da profundidade) devido às erosões ocorridas no local e, a situação inversa, uma diminuição do volume é devida às deposições de sedimentos ocorridas no local (diminuição das profundidades).

Analisando essas folhas de bordo, observou-se que, em certos anos, a sondagem sobre os bancos de areia indicava valores de cotas positivas de até nove metros. Devido a esse fato, foram estabelecidas duas cotas bases: a cota base de 10 metros (positiva) e a cota base de zero metro (localizada no nível d'água). Naturalmente, qualquer cota acima da de zero metro estava emersa, e a diferença de volume entre as cotas de dez e zero metros forneceu o volume dos bancos de areia aflorados.

Foi realizada então uma análise sobre os volumes negativos da cota de zero metro e dos bancos de areia aflorados para cada modelo, verificando quantitativamente a evolução em termos de volume de sedimentos, medido em km^3 , ocorrida num intervalo de 12 anos (de 1976 a 1988) para a ilha dos Mouras e de 9 anos (de 1976 a 1985) para a ilha do Barroso.

b5) Reclassificação da batimetria

Após a geração e refinamento dos modelos digitais de batimetria citados nos itens anteriores, foi executada uma reclassificação por fatiamento em cada imagem de modelo, que permitiu o agregamento de valores próximos de batimetria em uma única classe, e cada classe pode ser associada à uma tabela de cores, permitindo a visualização da distribuição das profundidades, em diferentes épocas correspondentes a cada modelo digital.

As classes de batimetria geradas foram as mesmas para cada modelo de batimetria e estão contidas na Tabela 3.7.

TABELA 3.7

CLASSES DE PROFUNDIDADE DOS MÓDULOS DIGITAIS DE BATIMETRIA

ILHA DOS MOURAS: MODELOS M076, M084 E M088

ILHA DO BARROSO: MODELOS BA76, BA82 E BA85

CLASSES DE PROFUNDIDADES		
1)	de 48 metros a	40 metros
2)	de 40 metros a	30 metros
3)	de 30 metros a	20 metros
4)	de 20 metros a	10 metros
5)	de 10 metros a	05 metros
6)	de 05 metros a	00 metros
7)	de 00 metros a	+ 15 metros
8)	acima de	+ 15 metros

O critério para seleção destas classes foi aquele que permitisse uma melhor representação do canal fluvial por faixas batimétricas. Essa seleção foi um processo interativo, de tentativa e erro, de modo que as classes batimétricas selecionadas tivessem uma melhor representatividade, para um navegante, do canal fluvial. A classe nº 7, por exemplo, refere-se aos bancos de areia e a classe nº 8 refere-se às partes emersas de terra firme (ilha, margens dos rios).

A reclassificação da batimetria, associada com o programa Cálculo de Área de Classe, do módulo de manipulação do SIG/INPE, permitiu conhecer a área em km² que cada faixa batimétrica ocupava por modelo. Esses dados foram úteis na avaliação das deposições de sedimentos e/ou erosões ocorridas na região.

3.2.1.3 - UTILIZAÇÃO DOS PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS

a) "Rasterização" das fotografias aéreas

As fotografias aéreas, constantes da Tabela 3.3, foram utilizadas na pesquisa para:

- 1) Cálculo de área das ilhas fluviais, com o objetivo de verificar se os valores obtidos são semelhantes aos das ilhas dos mapas da DSG e da carta náutica, nos quais essas fotografias foram a fonte de restituição.
- 2) Auxílio na identificação dos pontos de controle durante o trabalho de campo.

Para que as fotografias aéreas fossem tratadas pelo SITIM-150/INPE, precisaram sofrer um processo de "rasterização". Essa tarefa foi executada no Sistema ANIMA, de-

envolvido pelo INPE, onde uma câmara HITACHI CCTV, acoplada a um microcomputador do tipo PC-IBM fez uma varredura na fotografia (ou em partes dela), gerando uma imagem digital com seu arquivo descritor.

Para calcular o tamanho do pixel dessa imagem gerada, utilizou-se o programa Calibração, que através de um calibrador graduado, forneceu o tamanho do pixel na imagem.

Apesar das escalas nominais das fotografias aéreas serem de 1:100.000, elas têm essas escalas distorcidas do centro para as bordas, por serem projeções cônicas centrais, além de outros fatores que também modificam a mesma, entre eles: atitude da aeronave e deslocamento devido ao relevo (Wolf, 1983; Burrough, 1986). Para se obter uma escala a mais próxima da realidade, mediu-se a distância da pista de vôo da Base Aérea de Manaus nas fotos de 1970 e 1978 e no mapa DSG-MI-579/1, e através de uma regra de três simples obtiveram-se os seguintes valores de escala para as fotografias aéreas:

a) Fotografia Projeto RADAM - Julho/1970 - 1:89956;

b) Fotografia Projeto DSG/FAB 05/08/1978-1:95652.

Esses valores de escala, multiplicados pelo tamanho do pixel na imagem (fornecido pelo programa calibração do ANIMA/INPE), corresponderam às resoluções "rasterizadas" espaciais das fotografias aéreas (lembrando que o que varia no cálculo dessa resolução espacial é a escala da foto, pois o tamanho do pixel é constante). O termo resolução "rasterizada" espacial foi criado especialmente para essa pesquisa, pois essa resolução difere da resolução espa-

cial das fotografias aéreas que são calculadas por métodos clássicos. Os valores dessas resoluções foram:

- a) fotografia Projeto RADAM - resolução "rasterizada" espacial de 32,2 metros;
- b) fotografias Projeto DSG/FAB - resolução "rasterizada" espacial de 38,2 metros.

Com estes valores de resolução "rasterizada" espacial, utilizando-se o programa CRIMA do SITIM-150, foi possível a criação de um arquivo descritor para as fotografias digitalizadas, arquivo este que permitiu identificação da imagem pelo Sistema.

Como observação adicional, os mapas da DSG não foram geradas a partir de ortofotos e sim através de modelos estereoscópicos originados a partir dessas fotografias. A utilização de uma escala média não soluciona o problema das distorções existentes na projeção cônica central das fotografias aéreas que podem ter influenciado no cálculo de área das ilhas fluviais, entretanto este fato não invalida o método que serviu para comprovar a exatidão desse cálculo de áreas nos produtos de sensores remotos.

b) Selação dos módulos nas imagens LANDSAT

Para a seleção dos módulos nas imagens LANDSAT, utilizou-se o programa de Seleção de Módulos do I-100/INPE, sistema de tratamento de imagens utilizado em virtude das imagens MSS formato BIP-2 (anteriores a 1981) não serem ainda compatíveis com o SITIM-150.

A seleção desses módulos foi baseada nas ilhas fluviais a serem estudadas, utilizando o canal 7 do MSS e

canal 4 do TM, na escala de 1:100.000 (a mais próxima da escala da carta náutica DHN-4107A), exceto o módulo I que foi selecionado na escala 1:115.000 para inclusão da área urbana de Manaus (este procedimento foi útil na seleção de pontos de controle no programa Registro de Imagens).

A Tabela 3.8 relaciona os módulos de estudo selecionados.

TABELA 3.8

MÓDULOS DE ESTUDO SELECIONADOS NAS IMAGENS LANDSAT

IDENTIFICAÇÃO	ESCALA	ILHAS ABRANGIDAS EM SUA TOTALIDADE
Módulo I	1:115.000	Marapatá/Xiborena/Mouras
Módulo II	1:100.000	Paciência/Muratu/Jacurutu/Maria Antônia
Módulo III	1:100.000	Barroso/Banco da Conceição

c) Inspeção visual no banco da Conceição

Com o intuito de verificar se o banco da Conceição, localizado nas proximidades da Ilha do Barroso no meio do canal fluvial, fica submerso em períodos de cheia do rio, já que o mesmo está submerso na imagem MSS de 19/09/76 e apenas uma parte está aflorada na imagem MSS de 09/12/76, foi feita uma inspeção visual na tela do I-100, utilizando os canais 5, 6 e 7 do MSS numa composição colorida das imagens de 09/07/73, 03/07/79 e 09/07/83.

d) Cálculo de áreas das ilhas fluviais

Dentro da metodologia proposta surgiu a necessidade, de saber até que ponto a altura da lâmina d'água poderia ter influenciado no monitoramento das alterações das formas do canal fluvial da área de estudo, sendo realizado para isto, o cálculo de área das ilhas fluviais.

A metodologia aplicada para o cálculo de área dessas ilhas, nas imagens digitais LANDSAT de vazante (as fotografias aéreas "rasterizadas", apesar de serem de épocas de cheia do rio Solimões, foram utilizadas pelas razões expostas anteriormente), na banda do infravermelho próximo, envolveu o uso de dois programas do SITIM-150:

- a) Detecção de Bordas, que permitiu o estabelecimento dos limites água/terra, gerando uma imagem binarizada;
- b) Delimitação de Regiões/Traço, que permitiu na imagem binarizada, a criação de diversas classes que foram as ilhas de interesse, fornecendo o número de pontos constantes em cada classe.

Os valores das áreas das ilhas foram obtidos a partir da Equação 2.2 (pág. 20), onde o número de pontos foi fornecido pelo programa Traço e as coordenadas das imagens pelo programa Seleção de Módulos do I-100 (imagens LANDSAT) e pelo sistema ANIMA (fotografias aéreas). O outro parâmetro dessa equação, a resolução espacial da imagem, foi o constante da Tabela 3.9. Esta tabela relaciona as resoluções espaciais das imagens utilizadas.

TABELA 3.9RESOLUÇÕES ESPACIAIS DAS IMAGENS UTILIZADAS

IMAGEM	DATA	RESOLUÇÃO ESPACIAL (metros)
Fotog. Aérea/RADAM*	Jul/70	32,2 x 32,2*
MSS/LANDSAT	19/09/76	79,0 x 56,0
MSS/LANDSAT	09/12/76	79,0 x 56,0
Fotog. Aérea/DSG*	05/08/78	38,2 x 38,2*
MSS/LANDSAT	01/12/81	79,0 x 56,0
MSS/LANDSAT	11/11/82	82,7 x 57,0
TM/LANDSAT	24/11/84	30,0 x 30,0
TM/LANDSAT	14/09/87	30,0 x 30,0
TM/LANDSAT	19/12/87	30,0 x 30,0

* Resolução "rasterizada" espacial

e) Registro de imagens

As duas imagens que apresentaram os maiores valores de área de suas ilhas, foram registradas por módulos (Tabela 3.8), nas bandas do infravermelho próximo (canal 4 do TM e canal 7 do MSS).

Nesse registro, a imagem que apresentou os menores valores de áreas de suas ilhas foi a imagem de entrada, a outra, com maiores valores, foi a imagem de referência. O grau da transformação polinomial utilizado foi igual a um (1), e os pontos de controle selecionados foram distribuídos pelas imagens registradas.

A imagem de saída, resultante do registro, teve a geometria da imagem mais antiga, e a radiometria de pixels da imagem mais recente. A essas imagens foram as-

sociadas cores complementares, utilizando o programa Painel do SITIM-150/INPE, que permitiu a visualização das transformações ocorridas no canal fluvial no lapso de tempo entre as imagens registradas.

Com esse procedimento, as modificações ocorridas no canal do rio puderam ser visualizadas na imagem registrada, no monitor da UVI (Unidade Visualizadora de Imagens) do SITIM-150.

3.2.1.4 - UTILIZAÇÃO DOS DADOS DE VAZÃO E PRECIPITAÇÃO

Os dados de médias mensais de vazão (estação fluviométrica de Manacapuru) e de precipitação (estações pluviométricas de Manaus e Manacapuru) foram plotados juntamente com as datas em que foram obtidos os produtos de sensores remotos (utilizados no cálculo de área de ilhas fluviais e na inspeção visual do banco da Conceição). Esses gráficos proporcionaram a avaliação das condições, em termos de vazão e precipitação, em que foram obtidos esses produtos.

Os dados de vazão foram relacionados com os valores de área de ilhas fluviais obtidos com o programa Delimitação de Regiões do SITIM-150/INPE, permitindo a verificação da influência que a lâmina d'água teve nesse cálculo de áreas. Esses dados também foram importantes na escolha da imagem TM/LANDSAT com correção geométrica/UTM, com maiores valores de área de ilhas fluviais do módulo I, que foi utilizada na segunda parte do estudo, a da atualização cartográfica do contorno das partes emersas de um trecho de carta náutica.

3.2.2 - ATUALIZAÇÃO DE UM TRECHO DO CONTORNO DAS PARTES EMERSAS DA CARTA NÁUTICA DA ÁREA DE ESTUDO

Atualmente, a Comissão de Levantamentos da Amazônia realiza levantamentos hidrográficos, mantendo sempre a sondagem batimétrica da região atualizada nos trechos em que ocorreram mudanças substanciais nas suas profundidades e que são de interesse para o navegante. As sondagens existentes na carta náutica são então corrigidas com esses valores. Essas atualizações, em pequenos trechos da carta náutica, são conhecidas como "bacalhaus", e quando o seu número for suficientemente elevado, uma nova edição da carta é produzida.

Na região estudada, devido ao problema de intensa cobertura de nuvens ao longo de todo ano e dos altos índices de precipitação ocorrerem nos meses de vazante, existe sempre a dificuldade de se realizar um recobrimento aerofotogramétrico para atualização cartográfica.

Os mapas da DSG citados na Tabela 3.2, foram originados das fotografias aéreas do projeto DSG/FAB (Tabela 3.3), obtidas no mês de agosto/1978, que foi um dos mais secos do ano mas com altos valores de vazão (vide Figuras 4.34 a 4.36, INEMET, 1985 e ORSTOM, 1987), o que compromete as informações sobre os limites dos corpos d'água.

Provavelmente, devido à dificuldade de recobrimento aerofotogramétrico, o contorno das partes emersas da carta náutica DHN-4107A somente é atualizado nos levantamentos hidrográficos, utilizando os radares de bordo das embarcações hidrográficas, e não por restituição cartográfica.

O que se buscou nessa 2ª parte do trabalho, foi tornar a imagem TM com correção geométrica, um produto cartográfico preciso para atualização do contorno dessas partes emersas da carta náutica do trecho estudado. A Figura 3.5 sintetiza o processo envolvido.

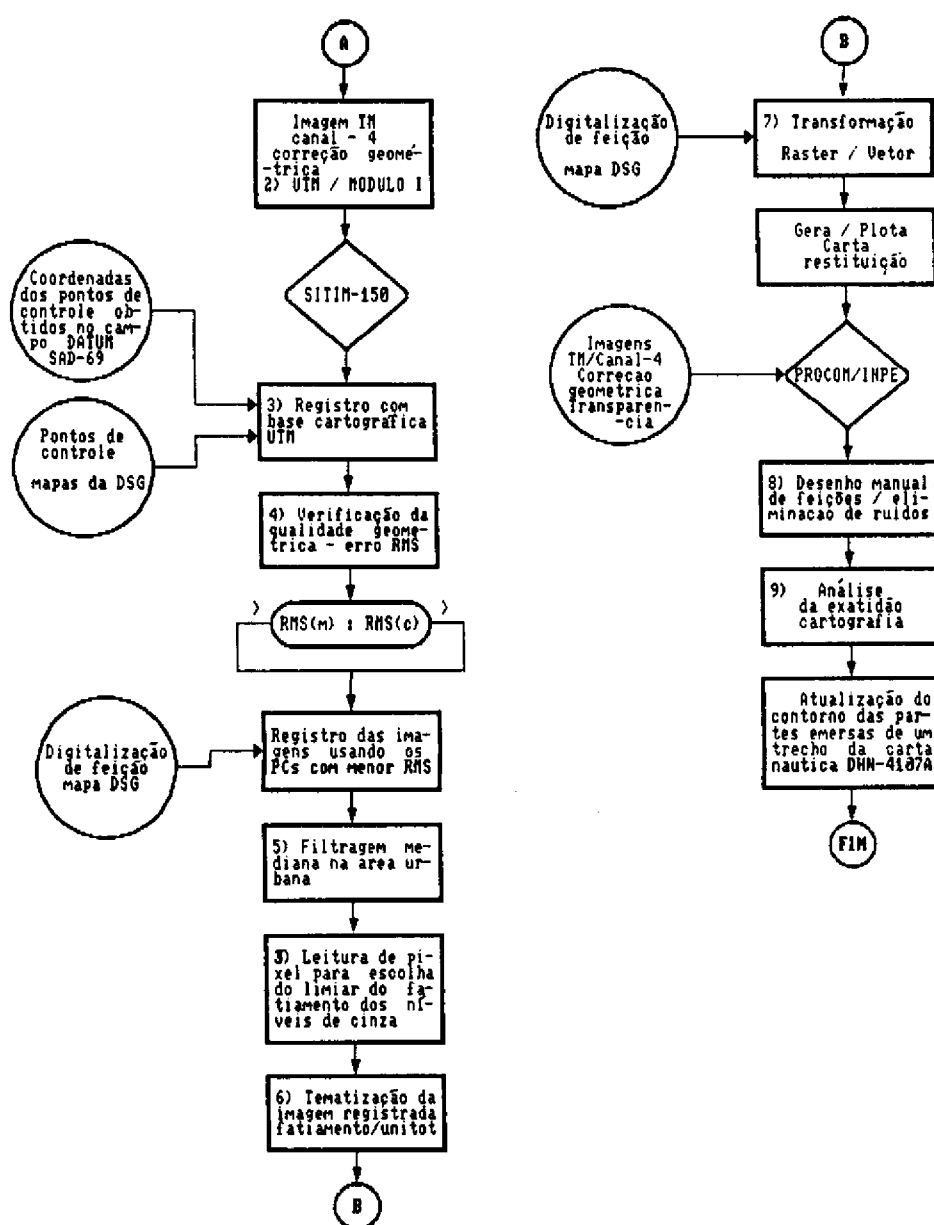


Fig. 3.5 - Seqüência de tarefas realizadas na atualização do contorno das partes emersas de um trecho da carta náutica DHN-4107A.

Com a finalidade de facilitar a leitura e a compreensão da metodologia na atualização do contorno das partes emersas da carta náutica da área de estudo, é apresentada uma seqüência das tarefas realizadas, de acordo com a Figura 3.5.

SEQÜÊNCIA DE TAREFAS:

- 1) Determinação das coordenadas dos pontos de controle no campo;
- 2) Seleção da imagem TM com correção geométrica;
- 3) Registro da imagem TM com a base cartográfica UTM (SITIM-150/INPE);
- 4) Verificação da qualidade geométrica das imagens registradas (SITIM-150/INPE);
- 5) Pré-processamento da imagem registrada (filtragem "mediana" e leitura de pixel, SITIM-150/INPE);
- 6) Transformação da imagem registrada em uma imagem temática (fatiamento dos níveis de cinza e filtragem para formulação de temas, SITIM-150/INPE);
- 7) Transformação "raster" - vetor da imagem temática (SIG/INPE);
- 8) Desenho de feições (PROCOM/INPE);
- 9) Análise da exatidão cartográfica.

A seguir são abordadas as tarefas citadas nesta seqüência.

3.2.2.1 - DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE NO CAMPO

Durante o trabalho de campo, foi realizado um reconhecimento dos pontos de controle que poderiam ser empregados no processo de retificação da imagem digital TM/LANDSAT. Foram utilizadas as fotografias aéreas da Tabela 3.3 e uma ampliação fotográfica da imagem TM/LANDSAT de 19/12/87 na escala de 1:100.000.

Na região amazônica de um modo geral, fora dos centros urbanos, existe uma certa dificuldade em se localizar pontos de controle com características perenes, como cruzamento de estradas por exemplo. Além disso, a determinação das coordenadas geográficas desses pontos torna-se mais complexa ainda, principalmente, quando se empregam poligonais geodésicas devido ao problema da intervisibilidade entre os mesmos. O outro problema, também característico da região amazônica, é o acesso físico a esses pontos, que por ficarem fora de áreas urbanas, podem impedir o encaminhamento da poligonal geodésica. O uso de rastreadores-satélite para determinação dessas coordenadas eliminaria o problema da intervisibilidade, mas no caso da pesquisa, em que se dispuseram apenas de teodolitos e distanciômetros eletrônicos, esse problema foi crítico.

A poligonal geodésica que foi utilizada para a determinação das coordenadas dos pontos de apoio à sondagem (ítem 3.2.1.1) e dos pontos de controle, foi referida ao datum horizontal Córrego Alegre, o mesmo da FB-4107A-001/88 gerada no trabalho de campo. A posteriori fez-se uma transformação para o datum representado da imagem a ser retificada, o SAD-69, para fins de registro dessa imagem com a base cartográfica UTM.

A transformação de datum foi executada por um programa que está sendo implementado no SIG/INPE, onde as coordenadas geográficas dos pontos de controle com datum horizontal Córrego Alegre passaram para coordenadas cartesianas, em seguida, através de um processo interativo usando os parâmetros do elipsóide de referência, foram transformadas para o datum horizontal SAD-69. Os passos e as fórmulas empregados nesta transformação podem ser encontradas em Soler (1976). A Tabela 3.10 lista as coordenadas dos pontos de controle após a transformação para o datum horizontal SAD-69.

3.2.2.2 - SELEÇÃO DA IMAGEM TM COM CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Foi escolhida para a atualização cartográfica, a imagem TM com correção geométrica na projeção UTM, que apresentou os maiores valores de áreas de ilhas fluviais, no módulo I, na faixa do infravermelho próximo. As razões que levaram a escolha do módulo I foram as seguintes:

- Niero et al. (1984) informaram sobre o crescimento da Ilha dos Mouras, o que tem importância para a segurança da navegação local.
- por abranger a área urbana de Manaus, o que facilitou a localização de pontos de controle com características perenes utilizados no processo de retificação da imagem digital TM/LANDSAT;
- facilidade de apoio logístico para o trabalho de campo, em termos de embarcações e aeronave (esta utilizada para reconhecimento da área de estudo).

TABELA 3.10

COORDENADAS GEOGRÁFICAS E UTM (MC = 63°W) DOS PONTOS DE CONTROLE OBTIDOS
NO CAMPO DATUM/HORIZONTAL SAD-69

PONTO	LOCAL	LATITUDE	LONGITUDE	N	E
RB-III	Furo do Paracuuba	3°13'53",164	59°59'13",227	9642333,463	167963,409
Pista Leste	Aeroporto de Ponta Pelada	3°8'35",168	59°58'33",619	9652114,069	169178,026
Pista Oeste	Aeroporto de Ponta Pelada	3°8'52",495	59°59'42",755	9651575,219	167042,780
Roadway	Cais do Porto de Manaus	3°08'24",127	60°01'34",438	9652454,244	830573,918

A imagem digital TM/LANDSAT na projeção cartográfica UTM tem seu meridiano central em 63°W, com datum horizontal SAD-69.

3.2.2.3 - REGISTRO DA IMAGEM TM COM A BASE CARTOGRÁFICA UTM

Essa tarefa foi realizada no SITIM-150/INPE utilizando o programa Registro de Imagens.

Por ocasião da seleção do módulo na imagem TM com correção geométrica, foi criado um arquivo referencial, pelo programa de Leitura e Seleção de Módulos em Fitas TM com Correção Geométrica do Sistema, no qual estavam listadas as coordenadas UTM do centro do módulo selecionado da imagem e dos seus limites envolventes. Esse arquivo foi utilizado pelo programa durante o registro.

Na fase de seleção dos pontos de controle utilizados no registro da imagem com a base cartográfica, houve uma adaptação no programa, para que fosse permitido o emprego das coordenadas dos pontos de controle determinados no campo, possibilitando que os mesmos fossem introduzidos via teclado do terminal do Sistema. A imagem escolhida foi registrada utilizando tanto os pontos de controle obtidos do mapa (inseridos via mesa digitalizadora) como os obtidos no campo (inseridos via teclado do terminal), isto para verificar, a posteriori, a exatidão de ambos os métodos utilizados. Os mapas da DSG (Tabela 3.2) utilizados para registro com a imagem foram: MI-578/1 (MC=63°W) e MI-579/1 (MC=57°W).

Como o número de pontos de controle foi inferior a seis, automaticamente, foi estabelecido pelo programa o grau igual a um para os polinômios de mapeamento. Um polinômio com esse grau apresentou um bom desempenho na atualização cartográfica desenvolvida por Welch et al. (1985).

Na criação da imagem de saída, foi selecionado o método de convolução cúbica para a interpolação dos níveis de cinza, por apresentar o melhor aspecto visual da imagem registrada.

3.2.2.4 - VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DAS IMAGENS REGISTRADAS

As duas imagens registradas obtidas, como descrito no item anterior, foram submetidas ao programa Cálculo da Precisão do Registro do SITIM-150/INPE, para verificação de sua qualidade geométrica. Neste teste, as coordenadas de pontos de controle não utilizadas no registro foram comparadas com as da base cartográfica, através de um cálculo do erro médio quadrático total. O método utilizado foi semelhante ao usado por Araújo (1987).

Após essa fase, a imagem com menor valor desse erro foi introduzida no SIG/INPE, criando-se uma região geográfica para ela e daí visualizando-a na tela do monitor da UVI do Sistema. Em seguida, foi identificada uma feição perene na imagem e no mapa DSG-MI-578/1, o cais RoadWay do porto de Manaus. Após essa identificação, essa feição no mapa foi digitalizada sobre a imagem, utilizando o programa Digitalização de Linhas do módulo de entrada do SIG.

A finalidade dessa digitalização foi a de verificar se, após o registro, o erro inerente da imagem TM/LANDSAT com correção geométrica, em termos de posicionamento e geometria interna, foi atenuado.

No final dessa fase obtem-se uma imagem registrada, geocodificada (orientada para o norte da quadrícula UTM), com a eliminação do seu problema de posicionamento que, após ser submetida a um pré-processamento, estaria pronta para ser utilizada na geração de uma restituição.

3.2.2.5 - PRÉ-PROCESSAMENTO DA IMAGEM REGISTRADA

Antes da imagem ser submetida a uma classificação para torná-la temática, a mesma necessita sofrer um pré-processamento com vistas a:

- evitar pontos que estivessem mal-classificados durante a fase de tematização da imagem, pois poderiam gerar ruídos na transformação "raster"-vetor;
- escolher o limiar que permitisse a melhor separação água/terra, evitando-se gerar falsos limites, que prejudicariam a precisão da atualização cartográfica.

Então, após a digitalização da feição do mapa sobre a imagem e constatado que o problema de posicionamento fora eliminado, a mesma, dentro do ambiente do SITIM-150/INPE, foi submetida a uma filtragem utilizando o operador "morfológico mediana". Os filtros que empregam morfologia matemática estão em fase final de implementação no SITIM-150. O filtro mediana é um operador local de "suavização", isto é, os níveis de cinza em locais específicos da imagem ao serem submetidos a essa filtragem sofrem uma suavização evitando pontos muito claros que poderiam gerar ruídos numa classificação, sendo utilizada como "máscara" uma matriz de 3 x 3 pontos com pesos igual a um (01).

No trecho selecionado na imagem, para cada posição (i,j) o programa substitui o valor do pixel central pelo valor da mediana dos nove valores da "máscara". Segundo Graça (1987), este filtro preserva as bordas, suaviza os níveis de cinza muito claros e remove ruídos. A área escolhida na imagem para aplicação desse filtro foi a da área urbana de Manaus.

A fase seguinte é a escolha do limiar para o fatiamento dos níveis de cinza da imagem. Utilizou-se o programa Leitura de Pixel do SITIM-150, onde uma janela de 5 x 5 pixels é colocada em locais pré-determinados, e o programa fornece a leitura em termos de nível de cinza dos pixels dentro dessa janela.

Os locais da imagem que ocorreram mudanças repentinas de níveis de cinza e que poderiam prejudicar a separação temática entre as classes água/terra, foram os seguintes:

- a) limites da área urbana de Manaus no rio Negro;
- b) limites das ilhas de Marapatá e Xiborena no rio Negro;
- c) limites das ilhas dos Mouras, Careiro e Xiborena no rio Solimões;
- d) limites das margens dos rios Negro e Solimões;
- e) limites dos bancos de areia no rio Negro;
- f) limites dos bancos de areia do rio Solimões;
- g) encontro das águas do rio Negro com o rio Solimões.

Baseado na leitura de pixels feita nesses limites, foram determinados os melhores limiares para execução do fatiamento de níveis de cinza.

3.2.2.6 - TRANSFORMAÇÃO DA IMAGEM REGISTRADA EM UMA IMAGEM TEMÁTICA

Após a fase de pré-processamento e de posse dos limiares dos níveis de cinza ideais, a imagem foi submetida ao programa Fatiamento de Níveis de Cinza do SITIM-150, gerando uma imagem temática com duas classes: água e terra. O programa criou ainda um arquivo descritor e um arquivo tabela para essa imagem. Esses arquivos forneceram os limites da imagem, sua resolução e as cores da UVI associadas à cada classe temática.

Na imagem temática os pontos ruidosos existentes, não localizados nos limites das classes, foram submetidos ao programa de Uniformização de Temas (UNITOT) do SITIM-150, que é um filtro de máxima vizinhança. Esses ruídos foram pontos localizados, buracos ou grupo de pontos mal-classificados, que ao serem submetidos a este filtro, várias vezes, foi possível uma homogenização dos temas, conseguindo-se um resultado satisfatório, isto é, uma imagem temática separada em duas classes (água e terra) homogêneas e com pouquíssimos pontos ruidosos. O emprego desse filtro foi cuidadoso nas bordas das classes, pois poderia vir a alterá-las prejudicando a sua geometria. Maiores detalhes dessa filtragem podem ser encontrados no Manual do Usuário do SITIM-150 (Engespaço, 1987) e em Araújo (1987).

No final dessa fase foi obtida uma imagem temática de duas classes (água e terra), homogêneas, que pode ser introduzida no ambiente do SIG para ser vetorizada.

3.2.2.7 - TRANSFORMAÇÃO "RASTER"/VETOR DA IMAGEM TEMÁTICA

A imagem temática, geocodificada, estava pronta para ser vetorizada. Utilizando o programa de Transformação "Raster"/Vetor existente no módulo de conversão do SIG/

INPE, as fronteiras das duas classes foram vetorizadas e, o programa extraiu o contorno com um aspecto suavizado, eliminando o efeito "escada" (Araújo, 1987) inerente de dados "raster".

Sobre a imagem vetorizada a feição existente no mapa DSG-MI-578/1 (o cais RoadWay de Manaus) foi digitalizada, para verificar se houve deslocamento na imagem durante a fase de classificação e vetorização.

A partir dessa verificação, a imagem estava pronta para ser plotada na mesa traçadora do SIG, no módulo de saída utilizando o programa GERA/PLOTA CARTA. Nesse programa foram definidos por exemplo: tamanho da folha, escala, posição e tamanho das letras no texto e legenda, símbolos e título da carta.

3.2.2.8 - DESENHO DE FEIÇÕES

Durante a fase de classificação da imagem registrada, os limiares escolhidos foram soluções de compromisso. Sendo assim, eles permitiram que algumas feições indesejáveis fossem representadas, como no caso de sombra de nuvens localizadas na água que poderiam ter sido confundidas com bancos de areia. Por outro lado, outras feições importantes não foram detectadas durante a classificação, gerando pontos ruidosos ou simplesmente desaparecendo. Tal fato ocorreu com pequenos corpos d'água presentes na imagem (igarapés, furos, limites de pequenos lagos).

Com o objetivo de representar essas pequenas feições, que não foram detectadas corretamente durante a classificação da imagem registrada, o contorno da imagem vetorizada, plotado pela mesa traçadora do SIG/INPE, foi introduzido no PROCOM (equipamento ótico de ajustagem manual

de escala) juntamente com a transparência do canal 4 da imagem escolhida que originou a restituição. Após o ajuste de escala feito entre a transparência projetada pelo equipamento e a referida restituição, foram desenhadas sobre esta as feições de interesse. Nessa fase também, foram eliminados os limites falsos de corpos d'água causados por sombras de nuvens presentes na imagem original.

3.2.2.9 - ANÁLISE DA EXATIDÃO CARTOGRÁFICA DA RESTITUIÇÃO

A restituição gerada nessa parte da metodologia deve possuir um Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) compatível, no mínimo, com a classe C relacionada na Tabela 2.1.

Alguns autores, como Welch et al. (1985), Burrough (1986) e Araújo (1987), relacionaram os tipos de erros possíveis de ocorrerem no desenvolvimento de um estudo desse tipo, que são os seguintes:

- erro de localização no registro (E1) - gerado pela resolução espacial da imagem TM escolhida para registro com a base cartográfica;
- erro de digitalização (E2) - gerado pelo operador ao digitalizar pontos de controle a partir do mapa;
- erro devido ao deslocamento do relevo (E3) - causado por um deslocamento do relevo da área de estudo durante o imageamento do sensor. Wolf (1983) estabelece que esse deslocamento, em imagens verticais, pode ser calculado através da seguinte equação:

$$d = \frac{r \cdot h}{H} \quad (3.1)$$

onde:

d = deslocamento devido ao relevo,
r = distância radial na imagem do ponto principal ao ponto deslocado.,
h = altura do ponto imageado acima do datum vertical da imagem,
H = altitude do sensor.

- erro devido à determinação das coordenadas dos pontos de controle (E4) - gerado no processo de determinação das coordenadas de pontos de controle (no mapa e/ou no campo);
- erro devido à qualidade cartográfica da imagem CCT/TM com correção geométrica/UTM (E5) - inerente a este produto, que de acordo com Serra (1987), é resultante de um deslocamento cartográfico de seu posicionamento e de um erro interno da imagem corrigida. Esse erro pode ser atenuado após o registro da imagem com a base cartográfica;
- erro temático (E6) - gerado por ocasião da transformação da imagem registrada numa imagem temática;
- erro devido a transformação "raster"/vetor (E7) - gerado pela perda de informações ocorridas na transformação "raster"/vetor da imagem temática;
- erro devido a qualidade do material (E8) - gerado devido as aparentes deformações existentes nos mapas utilizados e na qualidade de "hardware" do SITIM-150/SIG;

- erro devido ao datum horizontal (E9) - gerado ao se utilizar pontos de controle, no registro da imagem com a base cartográfica, que não estejam no mesmo datum horizontal da imagem.

Desses erros, o de maior importância é o erro de localização no registro (E1), que é devido ao próprio elemento de resolução no terreno do sensor, sendo impossível a sua remoção.

Existe uma tendência por alguns autores, entre eles Welch et al. (1985), em considerar apenas o erro médio quadrático pois os outros erros estariam "embutidos" no seu cálculo. Considerando essa linha de pensamento, o cálculo do erro total da restituição obtida na pesquisa poderia estar superdimensionado. Entretanto este superdimensionamento permite maior rigor na apuração da exatidão cartográfica.

Os erros citados, independentes entre si, foram elevados ao quadrado para que apenas os seus módulos fossem considerados no cálculo da exatidão cartográfica.

A equação que fornece o erro total da restituição, adaptada de Burrough (1986) é a seguinte:

$$\text{ERRO TOTAL} = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=9} (E_i)^2}$$

CAPÍTULO 4

RESULTADOS ALCANÇADOS

4.1 - RESULTADOS ALCANÇADOS COM O MONITORAMENTO DAS MODIFICAÇÕES OCORRRIDAS NO CANAL FLUVIAL DA ÁREA DE ESTUDO

Os resultados obtidos com a primeira parte da metodologia, empregando os dados obtidos no trabalho de campo, os dados cartográficos inseridos no Sistema de Informações Geográficas (SIG) e os produtos de sensores remotos introduzidos no Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM-150), serão analisados neste item.

4.1.1 - UTILIZANDO OS DADOS CARTOGRÁFICOS

4.1.1.1 - CÁLCULO DE ÁREAS E PERÍMETROS DAS ILHAS FLUVIAIS NAS EDIÇÕES DA CARTA NÁUTICA E NOS MAPAS DA DSG E DO BANCO DA CONCEIÇÃO NAS FOLHAS DE BORDO

Utilizando a metodologia descrita no item 3.2.1.2a, foram obtidos os valores de áreas das ilhas fluviais da área de estudo, sumarizados na Tabela 4.1.

A Tabela 4.2 fornece os valores dos perímetros (km) das ilhas fluviais nas duas edições da carta náutica, obtido com o programa Cálculo de Perímetro de Polígonos Vetoriais do sistema INTERGRAPH de cartografia automatizada da DHN.

Na Tabela 4.1, devido os mapas da DSG não representaram os bancos de areia, os valores de áreas das ilhas fluviais foram inferiores aos obtidos da 2ª edição da carta náutica.

TABELA 4.1

ÁREA (km²) DAS ILHAS FLUVIAIS UTILIZANDO AS CARTAS
NÁUTICAS E OS MAPAS DA DSG

NOME	CARTA NÁUTICA DHN 4107-A		MAPAS DA DSG
	1ª EDIÇÃO	2ª EDIÇÃO	
Banco da Conceição	7,8	8,3	-
Barroso	26,1	27,5	23,1
Paciência	50,1	53,9	44,6
Muratu	4,8	9,0	5,8
Jacurutu	8,4	11,0	7,0
Maria Antonia	1,6	4,5	1,5
Mouras	32,0	32,0	18,9
Xiborena	23,1	23,1	22,6
Marapatá	0,3	0,4	0,3

Tanto em área como em perímetro das ilhas fluviais, segundo os dados das Tabelas 4.1 e 4.2, constata-se a ocorrência de valores diferentes de uma edição para outra da carta náutica. A Figura 4.1 é uma cópia reduzida do contorno das partes emersas da segunda edição da carta náutica (idêntica a Figura 1.1).

Comparando o contorno dessas ilhas nas duas edições da carta náutica (Figuras 4.1 e 3.4), verifica-se que são bem diferentes, confirmando com os valores encontrados nas Tabelas 4.1 e 4.2. Entretanto, não se pode concluir se estas diferenças de contorno devem-se a modificações geomorfológicas ocorridas nessas ilhas, no espaço de tempo de uma edição para a outra, ou se foi devido à

uma representação cartográfica errônea desses contornos. O contorno na primeira edição foi originado de folhas de praticagem da década de 50 (Caderneta da Carta DHN-4107A, BRASIL.MM.DHN, 1979a) cuja precisão cartográfica é duvidosa.

TABELA 4.2

PERÍMETROS (km) DAS ILHAS FLUVIAIS NAS DUAS
EDIÇÕES DA CARTA DHN-P4107A

ILHA	1ª EDIÇÃO 1969	2ª EDIÇÃO 1979
Barroso	30,3	32,2
Paciência	32,3	33,9
Muratu	10,0	14,4
Jacuratu	14,2	16,3
Maria Antonia	1,2	3,3
Mouras	24,0	26,5
Xiborena	24,3	29,5
Marapatá	3,0	3,2

Em seguida, verificando nas folhas de bordo que o banco da Conceição possuía extensões diferentes, foi então aplicado o mesmo programa Cálculo de Área/Perímetro de Polígonos Vetoriais do INTERGRAPH/DHN, sendo obtidos os seguintes valores de perímetro (km) e área (km²) constantes da Tabela 4.3.

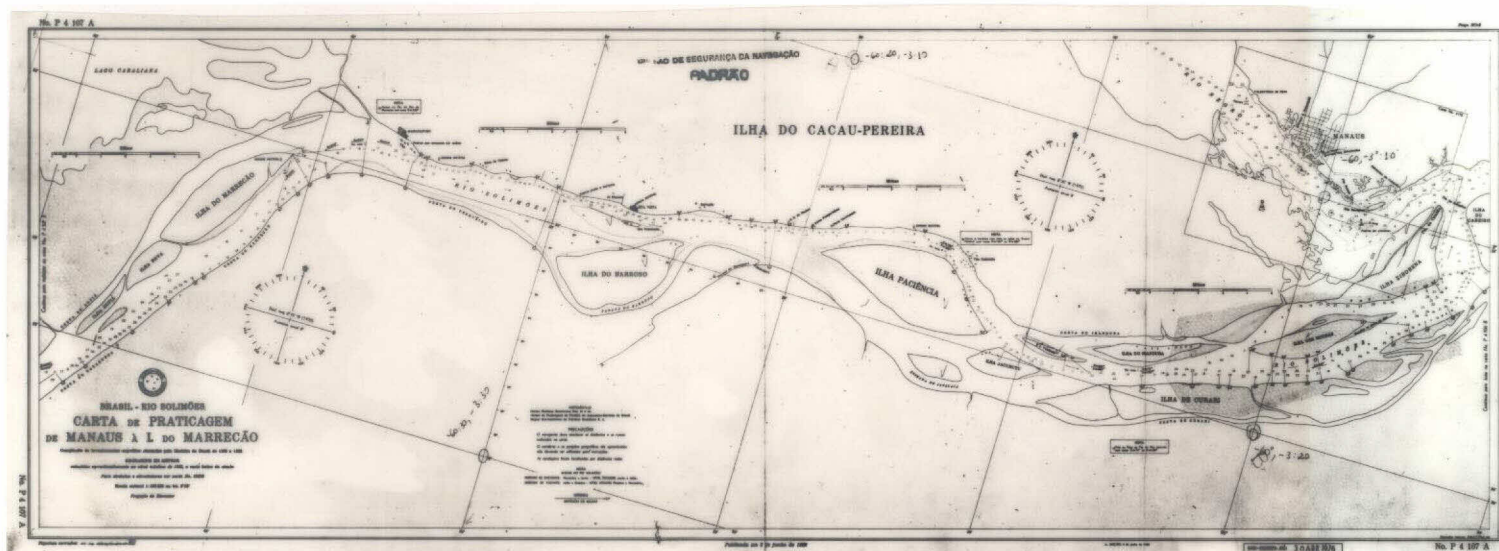


Fig. 4.1 - Cópia do contorno da carta náutica DHN-4107A (segunda edição).

FONTE: Adaptada de BRASIL.MM.DHN (1979b).

- Escala aproximada da figura: 1:600.000.

TABELA 4.3

VALORES DE ÁREA E PERÍMETRO DO BANCO DA CONCEIÇÃO

DOCUMENTO	ANO	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (km)
FB-4107A-002/76	1976	4,9	10,9
FB-4107A-001/82	1982	6,1	15,9
FB-4107A-001/85	1985	8,3	19,5

Nesta tabela, o valor de área do banco da Conceição em 1985, coincide com o obtido da 2ª edição da carta náutica (Tabela 4.1). Observa-se que no espaço de tempo de nove anos, esse banco quase dobrou tanto em área como em perímetro. Esse fato será analisado nos próximos itens utilizando os modelos digitais de batimetria.

4.1.1.2 - MODELOS DIGITAIS DE BATIMETRIA

Os seis modelos digitais de batimetria (Tabela 3.5) produziram subprodutos citados a seguir que forneceram dados para o monitoramento das modificações ocorridas no canal fluvial da área de estudo.

a) Plotagem dos diagramas de blocos

No total foram obtidos vinte (20) diagramas de blocos, dez (10) por regiões geográficas (ilhas do Barroso e dos Mouras), incluindo os diagramas das diferenças das cotas batimétricas. Os diagramas, em geral, forneceram poucas informações sobre as modificações ocorridas nos trechos estudados, porque as mesmas não ficaram claramente visualizadas. São apresentados a seguir, aqueles diagramas que foram considerados os mais representativos dessas mudanças.

As Figuras 4.2 e 4.3 mostram os diagramas de blocos representando o canal fluvial, nas proximidades da ilha do Barroso, para os anos de 1976 e 1985, com azimute de 307°.

Como observação adicional em todos os produtos obtidos, que são citados a seguir, o objetivo não foi estudar processos fluviais e sim propor métodos de geração de dados básicos para esse estudo.

Através da análise das Figuras 4.2 e 4.3, observou-se um provável entalhamento do banco de areia adjacente à ilha do Barroso.

A Figura 4.4 mostra o diagrama de blocos da diferença entre as cotas batimétricas dos modelos da ilha do Barroso, de 1985 a 1982, com azimute de 307°.

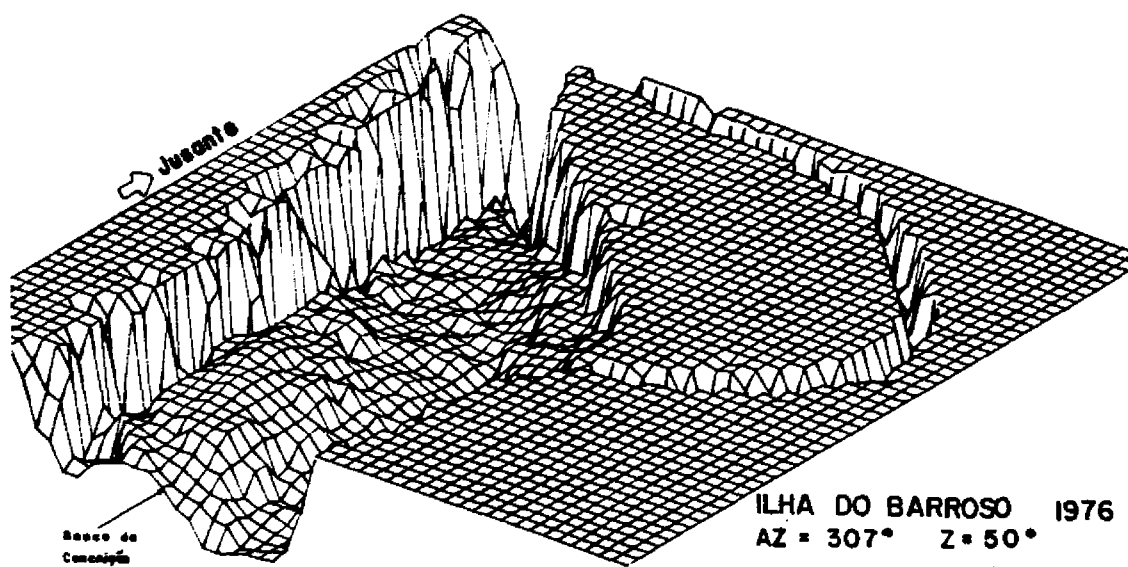


Fig. 4.2 - Diagrama de blocos - Ilha do Barroso 1976, Az= 307°.

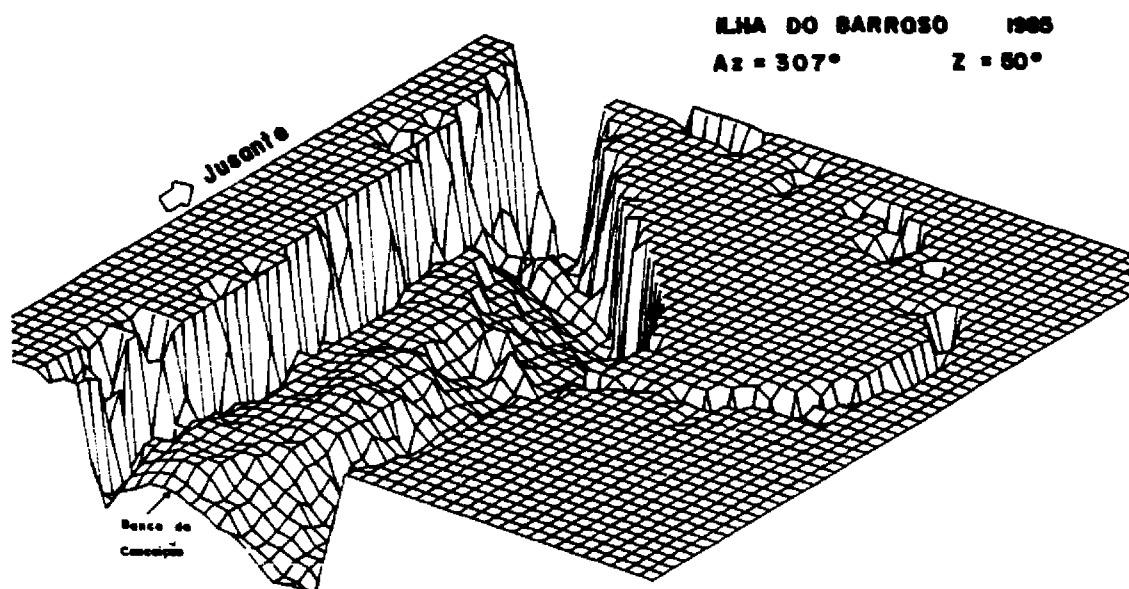


Fig. 4.3 - Diagrama de blocos - Ilha do Barroso 1985, Az= 307°.

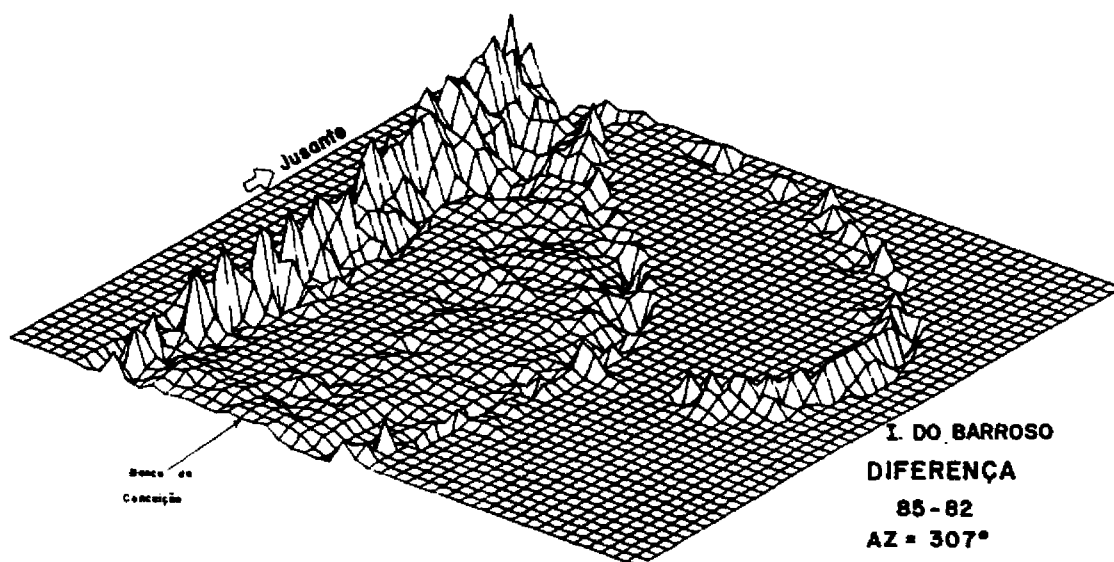


Fig. 4.4 - Diagrama de blocos da diferença entre as cotas batimétricas de 1985 e 1982 - Ilha do Barroso - Az=307°.

Através da análise da Figura 4.4, observaram-se as seguintes modificações aparentes:

- as elevações existentes, junto a margem esquerda do canal, indicam a ocorrência de deposições de sedimentos;
- no banco da Conceição, devido as pequenas elevações observadas no diagrama, provavelmente ocorreu uma continuidade das deposições de sedimentos, o que pode ter aumentado a sua extensão.

As Figuras 4.5 e 4.6 mostram os diagramas de blocos que representavam o canal fluvial, nas proximidades da ilha dos Mouras, em 1976 e 1988, com o azimute de 133°.

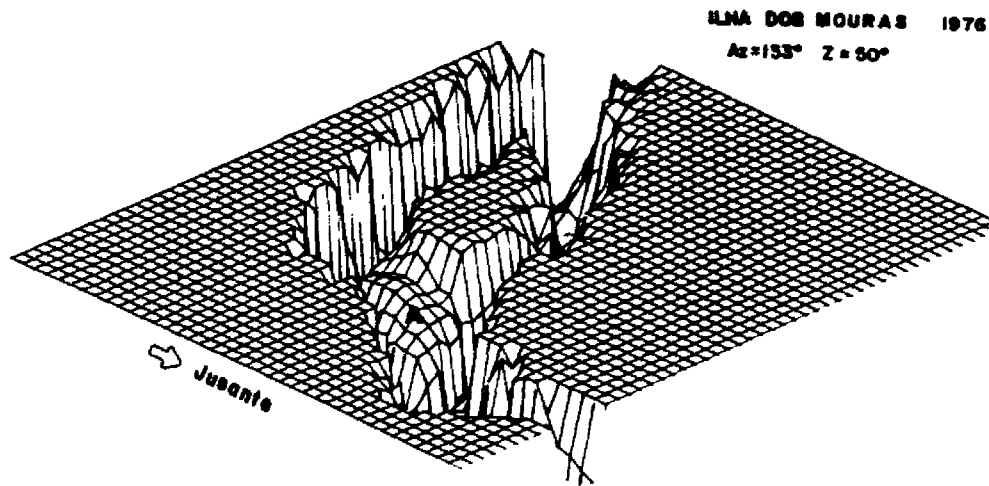


Fig. 4.5 - Diagrama de blocos - Ilha dos Mouras 1976, Az=133°.

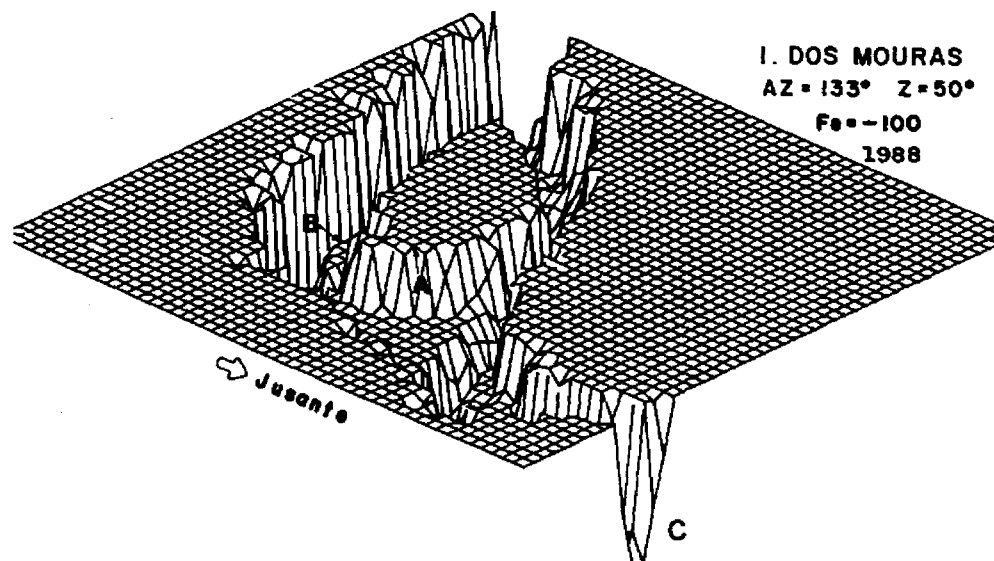


Fig. 4.6 - Diagrama de blocos - Ilha dos Mouras 1988, Az=133°.

Nas Figuras 4.5 e 4.6, o ângulo azimutal de 133° permitiu a visualização em 3D de parte do banco de areia a jusante da ilha dos Mouras.

Através da análise dos diagramas de blocos das Figuras 4.5 e 4.6, período de 1976 a 1985, observaram-se as seguintes modificações aparentes, assinaladas por letras indicativas nas respectivas figuras:

- aumento da altura do banco de areia a jusante da ilha dos Mouras, através de deposições de sedimentos, unindo parte de sua área aflorada à ilha em si (assinalado com a letra A em ambas as figuras);
- surgimento de um banco de areia adjacente à margem direita da ilha dos Mouras, devido a ocorrência de deposições de sedimentos (assinalado com a letra B na Figura 4.6);
- aprofundamento da extremidade a jusante do canal fluvial, devido a ocorrência de erosões (assinalado com a letra C na Figura 4.6).

A Figura 4.7 mostra o diagrama de blocos resultante da diferença entre as cotas batimétricas de 1988 e 1984, nas proximidades da ilha dos Mouras, com azimute de 133°.

Através da análise da Figura 4.7, observaram-se as seguintes modificações aparentes, assinaladas por letras indicativas nas respectivas figuras:

- as depressões existentes (assinaladas com a letra A) em pequenos trechos localizados nas proximidades de ambas as margens da ilha dos Mouras, indicaram a ocorrência de erosões que aumentaram a profundidade local.

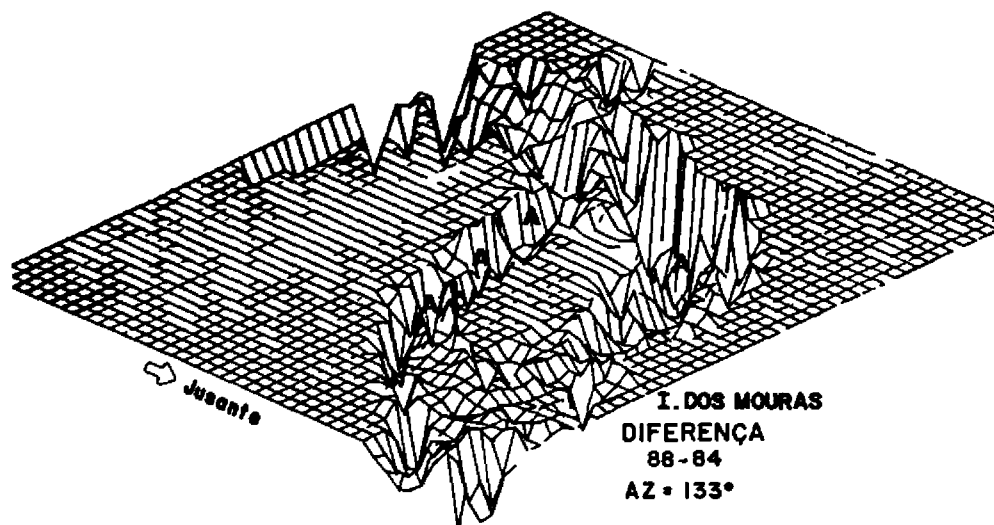


Fig. 4.7 - Diagrama de blocos da diferença entre as cotas batimétricas de 1988 e 1984 - Ilha dos Mouras, Az=133°.

b) Geração das isobatimétricas

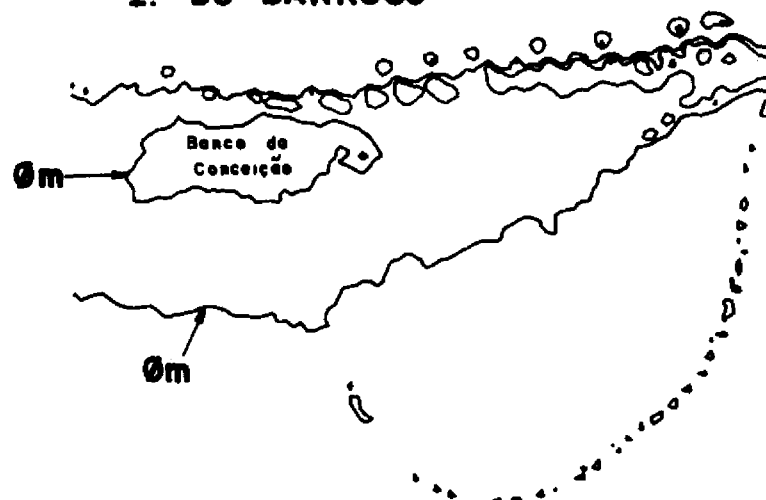
Após a visualização em 3D do canal fluvial, proporcionada pelos diagramas de bloco, em que foram detectadas deposições de sedimentos e erosões aparentemente ocorridas nas proximidades das ilhas do Barroso e Mouras, serão abordados neste ítem os resultados alcançados com mais um subproduto dos modelos digitais de batimetria, que foi a geração das isobatimétricas.

Na análise deste produto pôde-se perceber a variação ocorrida no perímetro da classe de zero metro (perímetro dos banco de areias).

As Figuras 4.8 e 4.9 mostram as isobatimétricas nas proximidades da ilha do Barroso, para os anos de 1976 e 1985.

ISOBATIMÉTRICAS 1976

I. DO BARROSO



Espac. = 5 m Inicial = 0 m Final = -45 m

Fig. 4.8 - Isobatimétricas - Ilha do Barroso, 1976.
- Escala aproximada = 1:140.000.

ISOBATIMÉTRICAS 1985

I. DO BARROSO



Espac. = 5 m Inicial = 0 m Final = 45 m

Fig. 4.9 - Isobatimétricas - Ilha do Barroso, 1985.
- Escala aproximada = 1:140.000.

As isobatimétricas constantes das Figuras 4.8 e 4.9, permitiram constatar o aumento do perímetro do banco da Conceição, fato este já confirmado pela Tabela 4.3.

As Figuras 4.10 e 4.11 mostram as isobatimétricas para o trecho do canal fluvial nas proximidades da ilha dos Mouras, nos anos de 1976 e 1988, respectivamente.

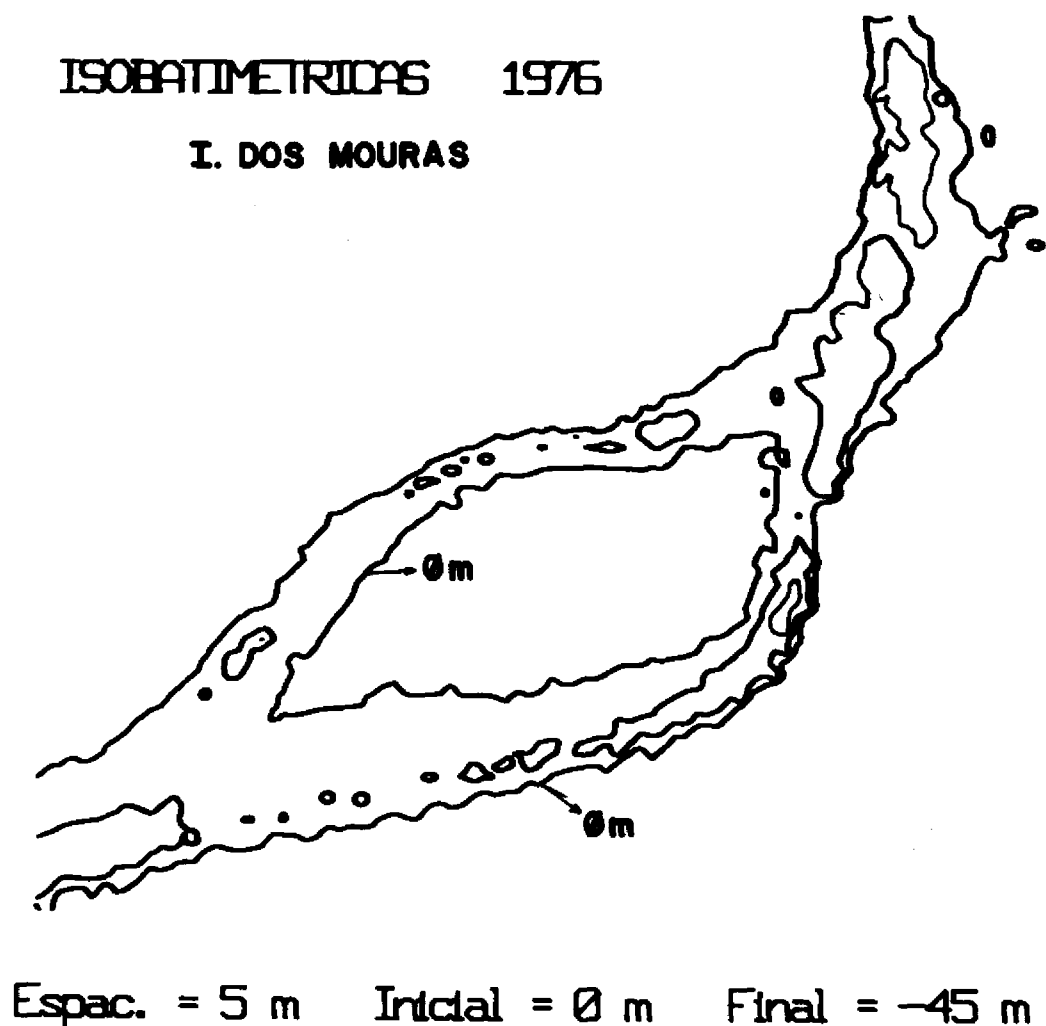


Fig. 4.10 - Isobatimétricas - Ilha dos Mouras, 1976.
- Escala aproximada = 1:162.000.

As isobatimétricas das Figuras 4.10 e 4.11 possuem as mesmas cotas batimétricas daquelas referentes à

ilha do Barroso. Também neste caso, as isobatimétricas, exceto a de zero metro, não permitiram diagnosticar os tipos de fenômenos geomorfológicos fluviais ocorridos nesse trecho do canal.

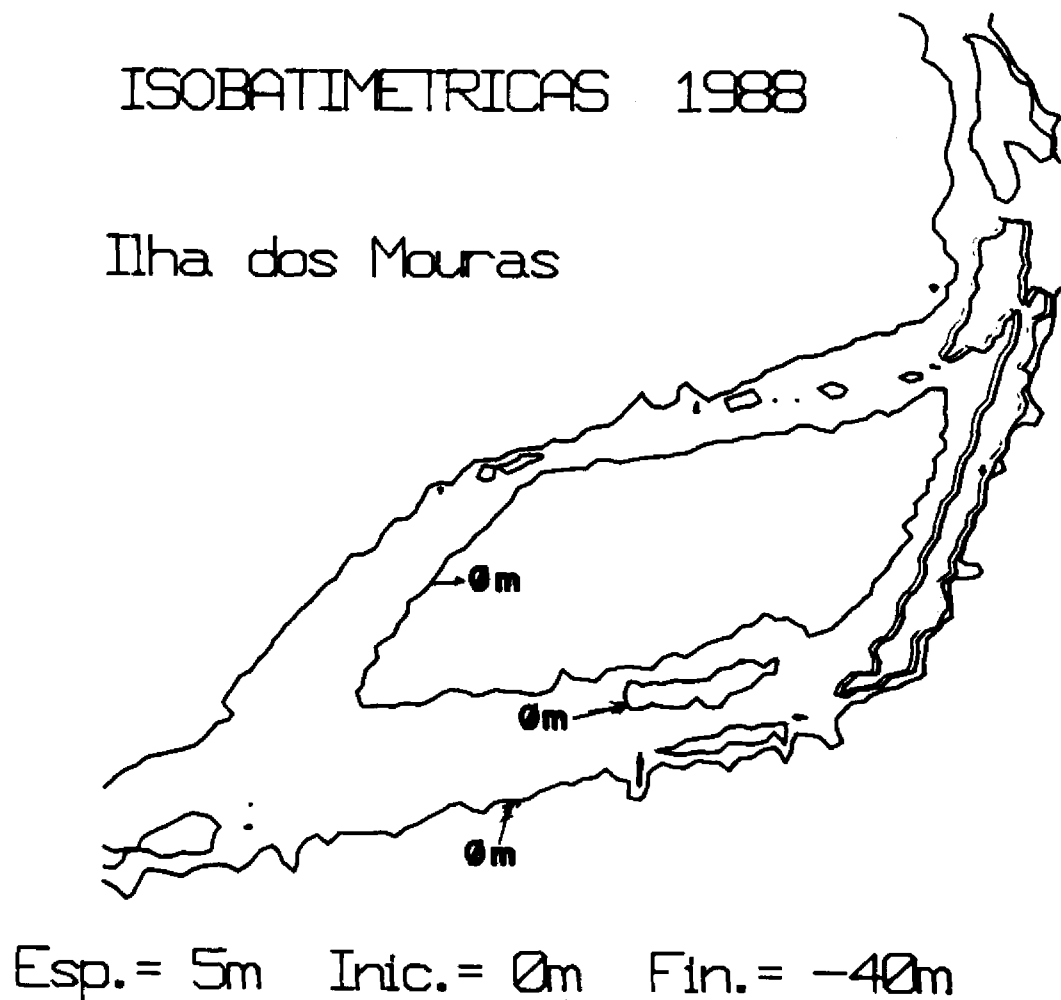


Fig. 4.11 - Isobatimétricas - Ilha dos Mouras, 1988.
- Escala aproximada = 1:162.000.

A isobatimétrica de zero metro, por sua vez, permitiu visualizar o aumento do perímetro do banco a jusante da ilha dos Mouras, o surgimento de um banco próximo do meio da margem direita da ilha dos Mouras, e o aumento do perímetro de um banco de areia adjacente à ilha da Xiborena.

c) Geração dos perfis transversais ao canal fluvial

Os resultados alcançados com a geração das isobatimétricas forneceram uma visualização multitemporal do perímetro de certas classes de cotas batimétricas. Neste ítem são descritos os resultados alcançados com a geração de perfis transversais ao canal fluvial, que permitiu uma ampliação das informações até aqui obtidas. Os perfis foram analisados no sentido de montante para jusante no canal fluvial.

As Figuras 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17 mostram os perfis transversais ao canal fluvial, correspondentes à ilha do Barroso. Nesses perfis a cor magenta representa o ano de 1976 (modelo BA76), a cor amarela representa o ano de 1982 (modelo BA82) e a cor ciano representa o ano de 1985 (modelo BA85); a linha branca vertical existente nas figuras representa a direção e a extensão do perfil. O lado esquerdo do gráfico corresponde à margem esquerda do canal fluvial e, o lado direito à margem direita. A isolinha de cor laranja é a isobatimétrica de zero metro. À medida que for sendo apresentada cada figura é feita a análise do perfil correspondente, observando que os perfis que abrangem o paraná do Barroso não foram analisados neste trecho, devido o mesmo não ter sido sondado em 1982 e 1985.

O perfil transversal nº 1 (Figura 4.12) possui o comprimento de 4049 metros no terreno e, suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 24 metros. De 1976 para 1982 ocorreram poucas modificações, exceto um entalhamento ocorrido junto a margem esquerda do canal. Em 1985, esse entalhamento se acentou, seguido por uma deposição de sedimentos localizada (pico ciano junto ao lado esquerdo do perfil), e ocorreram também erosões junto à margem direita que aumentaram a profundidade local. Neste

caso, como a curva ciano, na extremidade direita da figura, apresenta-se com cota inferior às outras duas curvas significa que a erosão, detectada em 1985, aumentou sua influência entalhando também a margem direita do canal.

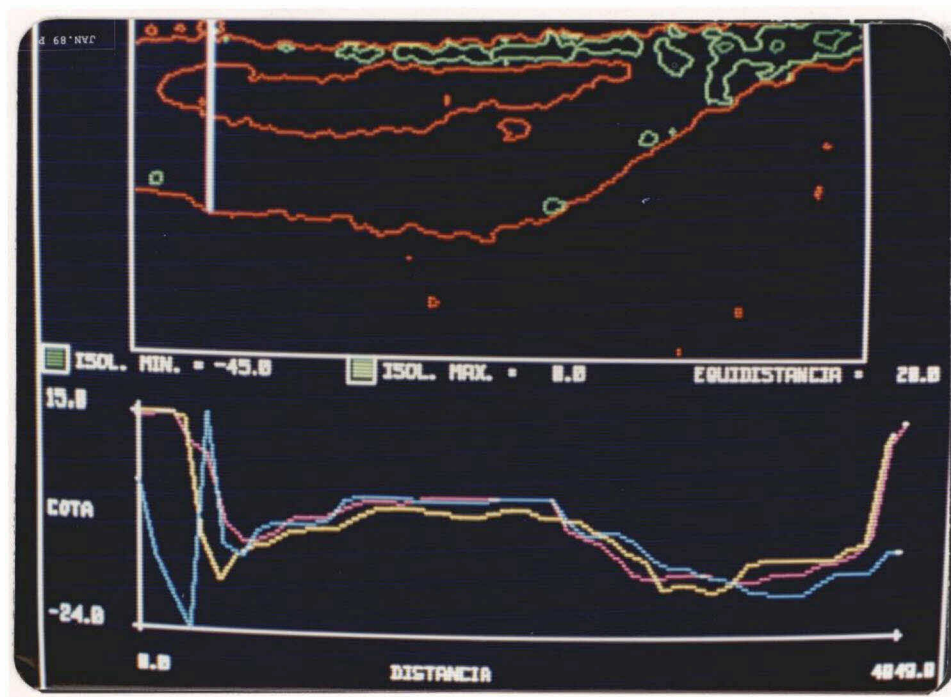


Fig. 4.12 - Perfil Transversal nº 1 - Ilha do Barroso.

- Comprimento = 4049 m; variação de cotas = de 15 m a -24 m.

O perfil transversal nº 2 (Figura 4.13) possui o comprimento de 7745 metros no terreno e suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 31,8 metros. De 1976 para 1982 ocorreram deposições de sedimentos no canal, junto à margem esquerda e no banco da Conceição. No canal entre o banco da Conceição e a margem direita do canal fluvial, ocorreu uma deposição de sedimentos, entre 1976 e 1982, seguida de um entalhamento próximo a margem di-

reita do canal fluvial. Em 1985, o entalhamento junto a essa margem se acentou, aumentando ligeiramente a profundidade local.



Fig. 4.13 - Perfil Transversal nº 2 - Ilha do Barroso.

- Comprimento = 7745 m; variação de cotas = de 15 m a -31,8 m.

O perfil transversal nº 3 (Figura 4.14) possui o comprimento no terreno de 9533,3 metros e suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 29,4 metros. De 1976 para 1982 ocorreu um entalhamento junto à mar-

gem esquerda do canal e, em seguida, uma deposição de sedimentos no meio do canal (banco da Conceição) e um outro entalhamento junto à ilha do Barroso. Em 1985, aumentou este entalhamento junto à ilha.

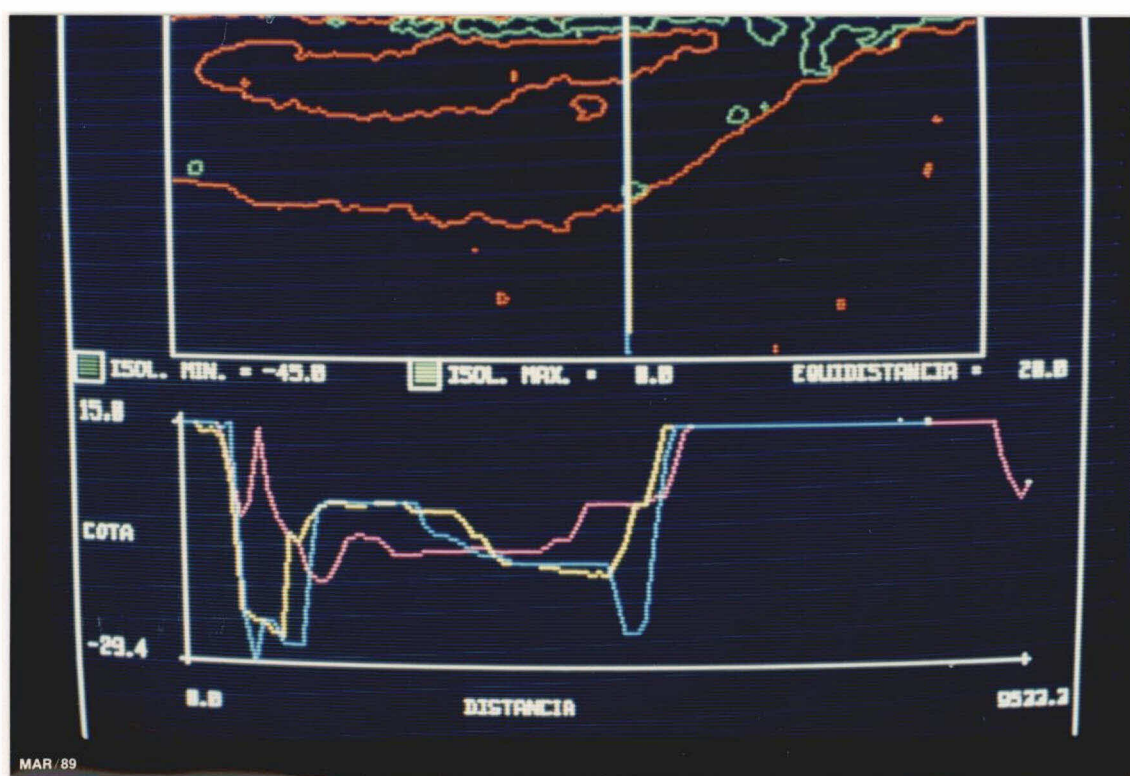


Fig. 4.14 - Perfil Transversal nº 3 - Ilha do Barroso.

- Comprimento = 9533,3 m; variação de cotas = de 15 m a -29,4 m.

O perfil transversal nº 4 (Figura 4.15) possui o comprimento de 9533,3 metros no terreno e suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 37,4 me-

tros. O comportamento deste perfil é semelhante ao anterior, pois de 1976 para 1982 também ocorreu um entalhamento junto à margem esquerda, seguida de uma deposição de sedimentos no meio do canal (banco da Conceição) e, novo entalhamento junto à ilha do Barroso. Em 1985, ocorreu uma deposição de sedimentos no banco da Conceição, seguida de um entalhamento no banco de sedimentos adjacente à margem esquerda da ilha do Barroso, que existia em 1976.

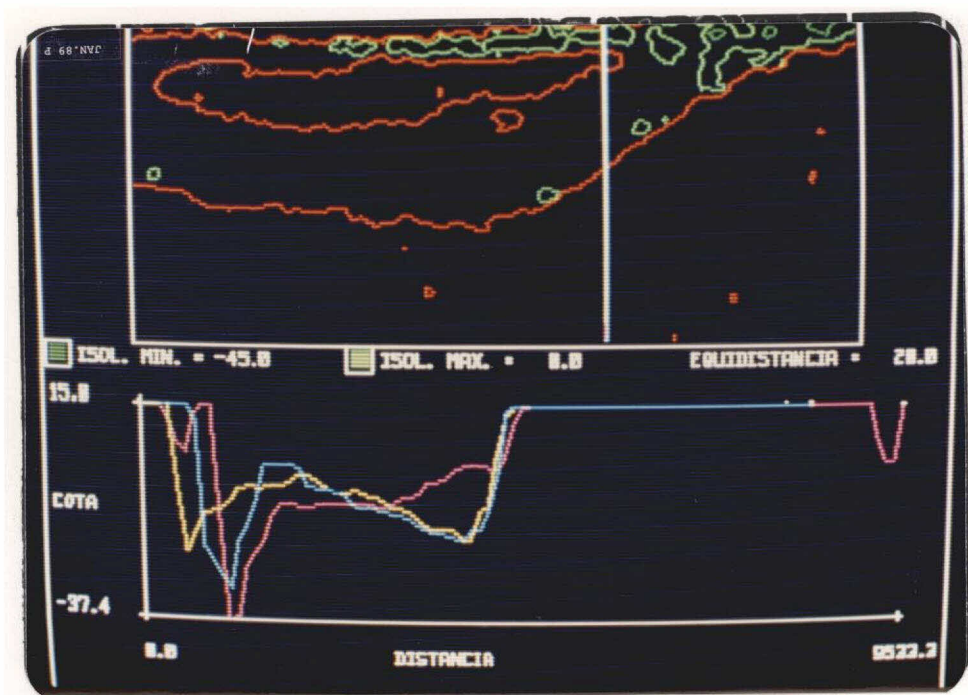


Fig. 4.15 - Perfil Transversal nº 4 - Ilha do Barroso.

- Comprimento = 9533,3 m; variação de cotas = de 15 m a -37,4 m.

O perfil transversal nº 5 (Figura 4.16) possui o comprimento de 8520 metros no terreno e suas cotas variam

de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 37,5 metros. De 1976 para 1982 ocorreu entalhamento junto à margem esquerda, seguida de deposição de sedimentos no meio do canal fluvial. Em 1985, aumentou essa deposição de sedimentos no meio do canal, seguida de um entalhamento da deposição ocorrida em 1982.

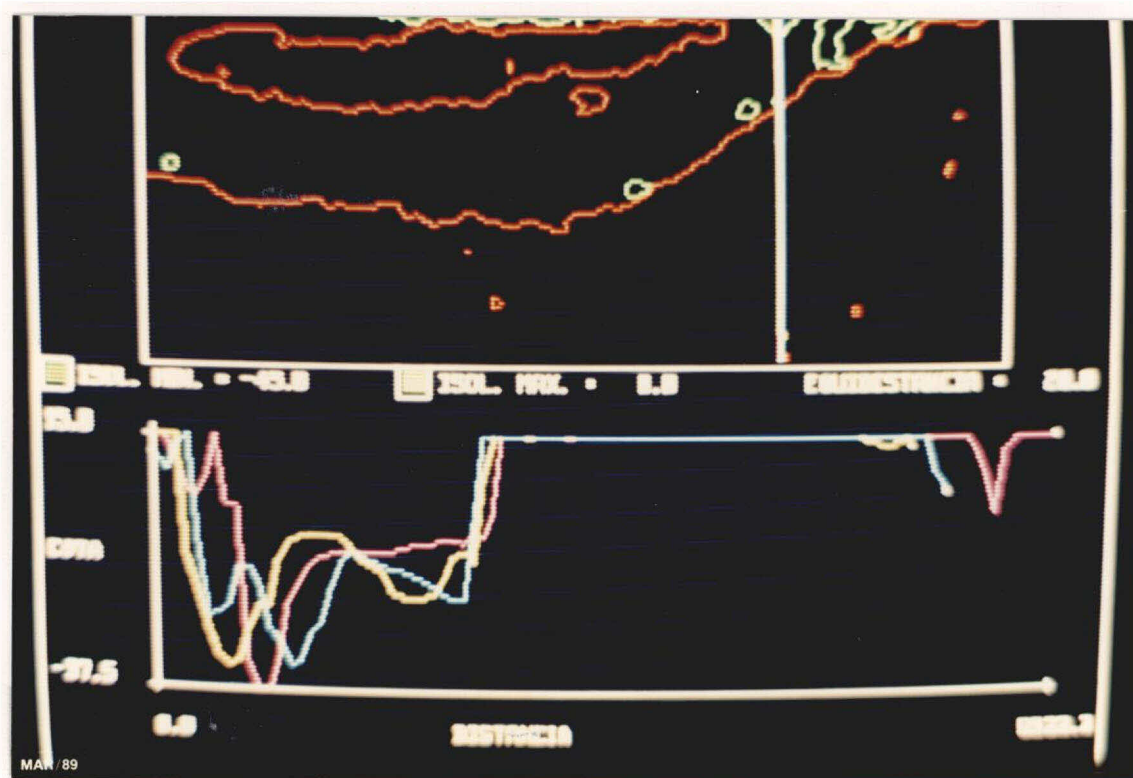


Fig. 4.16 - Perfil Transversal nº 5 - Ilha do Barroso.

- Comprimento = 8520 m; variação de cotas = de 15 m a -37,5 m.

O perfil transversal nº 6 (Figura 4.17) possui o comprimento de 7150 metros no terreno e, suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 43,1 metros. De 1976 a 1982, ocorreu um entalhamento jun-

to à margem esquerda do canal, seguido de uma deposição de sedimentos no meio do canal fluvial (cor amarela em formato de pico). Em 1985, o rio voltou a entalhar nesse local eliminando o pico de sedimentos depositado.

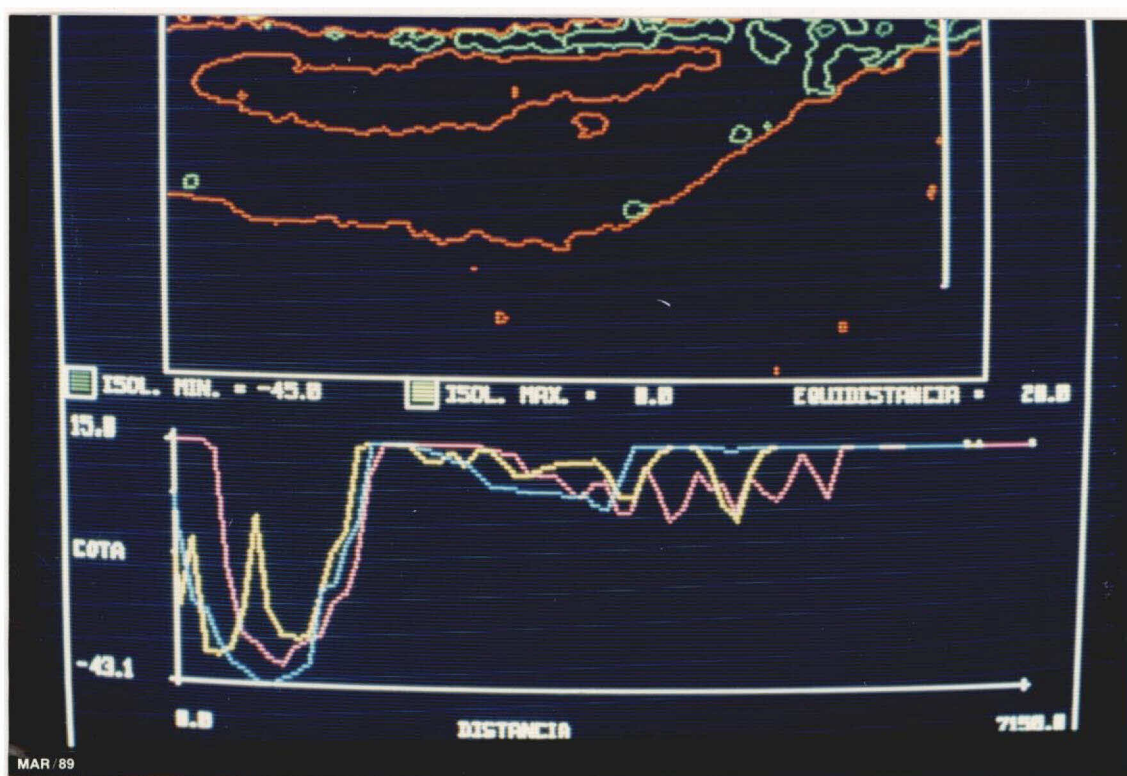


Fig. 4.17 - Perfil Transversal nº 6 - Ilha do Barroso.

- Comprimento = 7150 m; variação de cotas = de 15 m a -43,1 m.

Em todos os perfis analisados para a ilha do Barroso, excetuando o de nº 2, ocorreu um entalhamento junto à margem esquerda do canal, por onde escoaram as águas do rio e certamente onde estava localizada a linha do talvegue do canal fluvial. Esse entalhamento aconteceu em virtude do

rio, para manter o equilíbrio do canal fluvial, necessitar encontrar um novo escoadouro para suas águas já que ocorreu deposições de sedimentos no banco da Conceição. Por essa razão, pode-se concluir que esta é a margem de erosão nesse trecho do canal fluvial.

Os perfis da ilha do Barroso permitiram, também, comprovar o crescimento do banco da Conceição, de 1976 a 1985. Os perfis nº 3, 4 e 5 confirmaram a erosão do banco de areia adjacente à ilha do Barroso.

As Figuras 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23 mostram os perfis transversais ao canal fluvial, correspondentes à ilha dos Mouras.

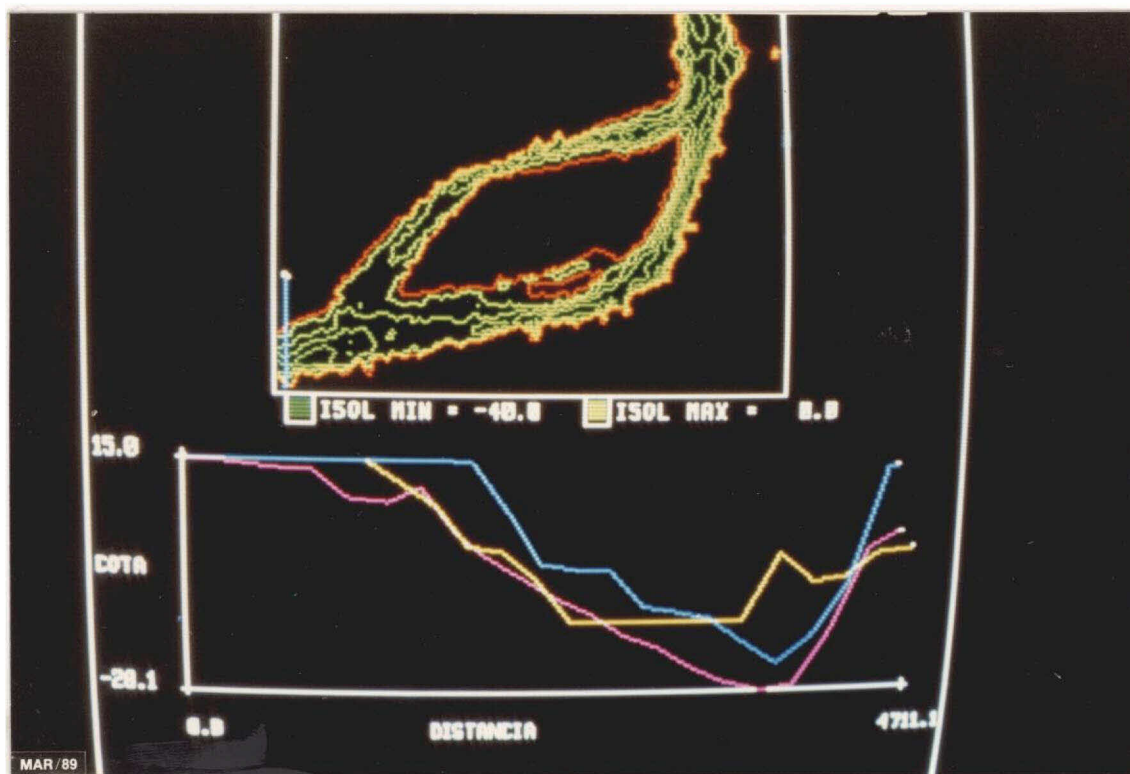


Fig. 4.18 - Perfil Transversal nº 1 - Ilha dos Mouras.

- Comprimento = 4711,1 m; variação de cotas = de 15 m a -28,1 m.

O perfil transversal nº 1 (Figura 4.18) possui o comprimento de 4711,1 metros no terreno e, suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 28,1 metros. De 1976 a 1984 iniciou-se uma deposição de sedimentos que teve prosseguimento em 1988, principalmente junto à margem direita do rio. Em 1982, o pico de sedimentos localizado próximo à margem direita foi erodido.

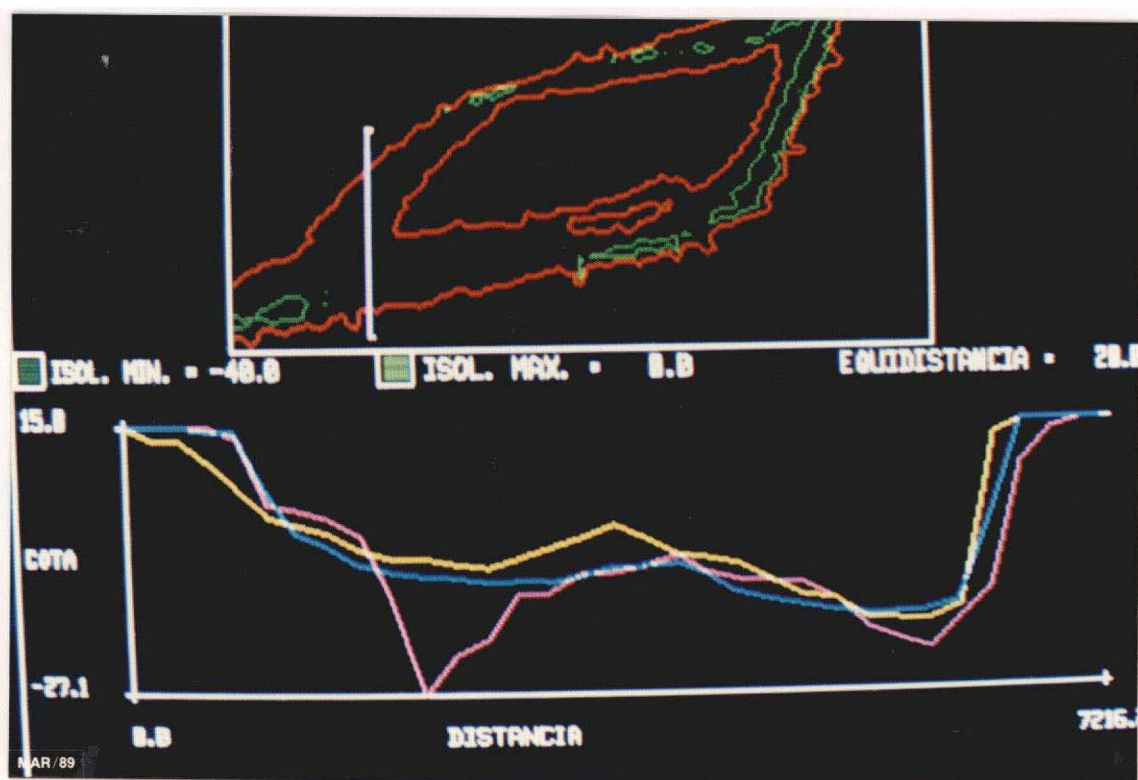


Fig. 4.19 - Perfil Transversal nº 2 - Ilha dos Mouras.

- Comprimento = 7216,2 m; variação de cotas = de 15 m a -27,1 m.

O perfil transversal nº 2 (Figura 4.19) possui um comprimento de 7216,2 metros e as suas cotas variam de 15 metros até a profundidade máxima de 27,1 metros. De 1976 a 1984, ocorreu um entalhamento suave junto à margem esquerda do canal, seguido por uma deposição de sedimentos por toda extensão do perfil. Em 1988 ocorreu uma erosão, também

suave, em toda a extensão do perfil, que aumentou as profundidades locais.

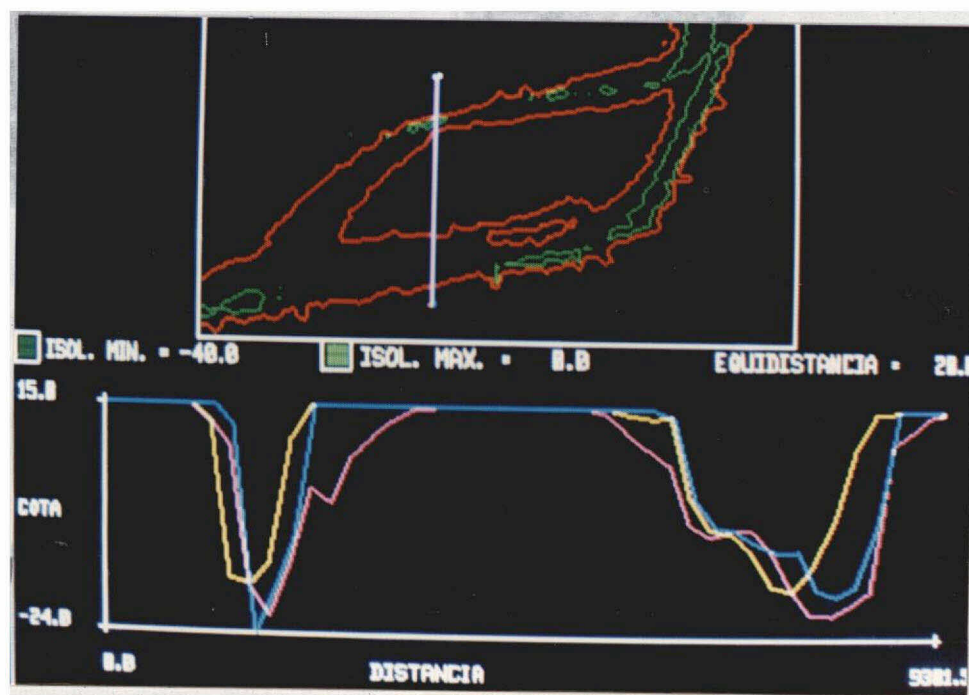


Fig. 4.20 - Perfil Transversal nº 3 - Ilha dos Mouras.
- Comprimento = 9301,5 m; variação de cotas = de 15 m a -24,8 m.

O perfil transversal nº 3 (Figura 4.20) possui o comprimento de 9301,5 metros e, suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 24,8 metros. De 1976 a 1984, ocorreram deposições de sedimentos nos seguintes locais: no canal entre a margem esquerda do rio e a ilha dos Mouras, sobre a ilha acarretando um aumento de sua largura e, no canal situado entre a margem direita do rio e a ilha. Em 1988, o rio tornou a erodir os canais laterais à ilha, aumentando a profundidade nos mesmos.

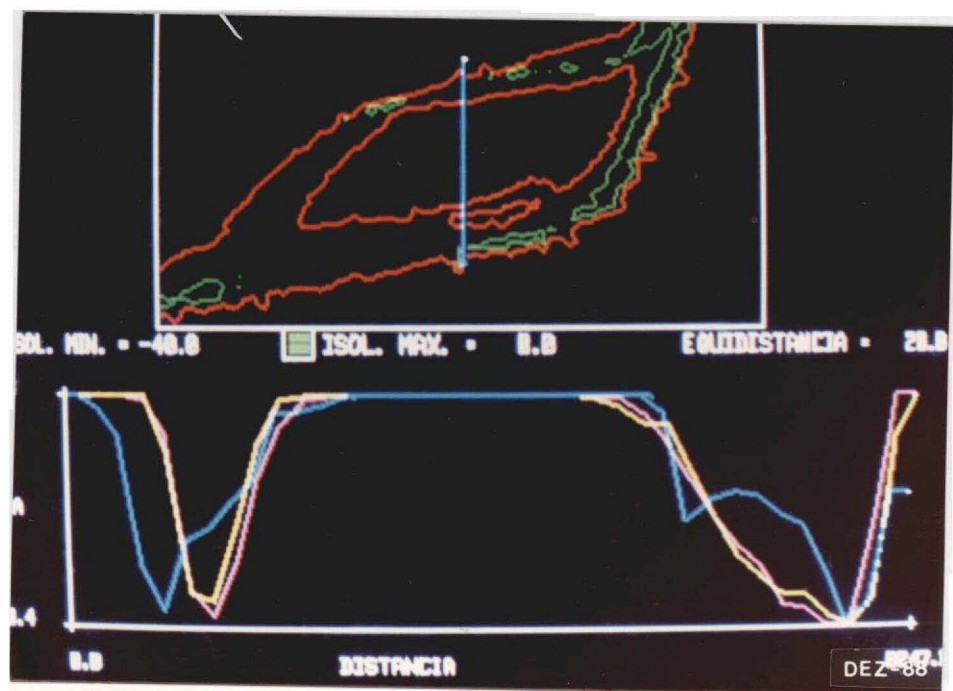


Fig. 4.21 - Perfil Transversal nº 4 - Ilha dos Mouras.
 - Comprimento = 8247,5 m; variação de cotas = de 15 m a -26,4 m.

O perfil transversal nº 4 (Figura 4.21) possui o comprimento de 8247,5 metros no terreno e, suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 26,4 metros. De 1976 a 1984 não ocorreram mudanças substanciais nas profundidades locais, entretanto, em 1988, ocorreu um entalhamento da margem esquerda do canal, seguida de uma deposição de sedimentos que acarretou um deslocamento das maiores profundidades em direção à margem esquerda. Também em 1988, ocorreram deposições de sedimentos junto à margem direita da ilha dos Mouras, formando um banco de areia que estreitou o canal entre a ilha e a margem direita do rio. Em seguida, ocorreu um entalhamento da margem direita, alargando o canal fluvial.

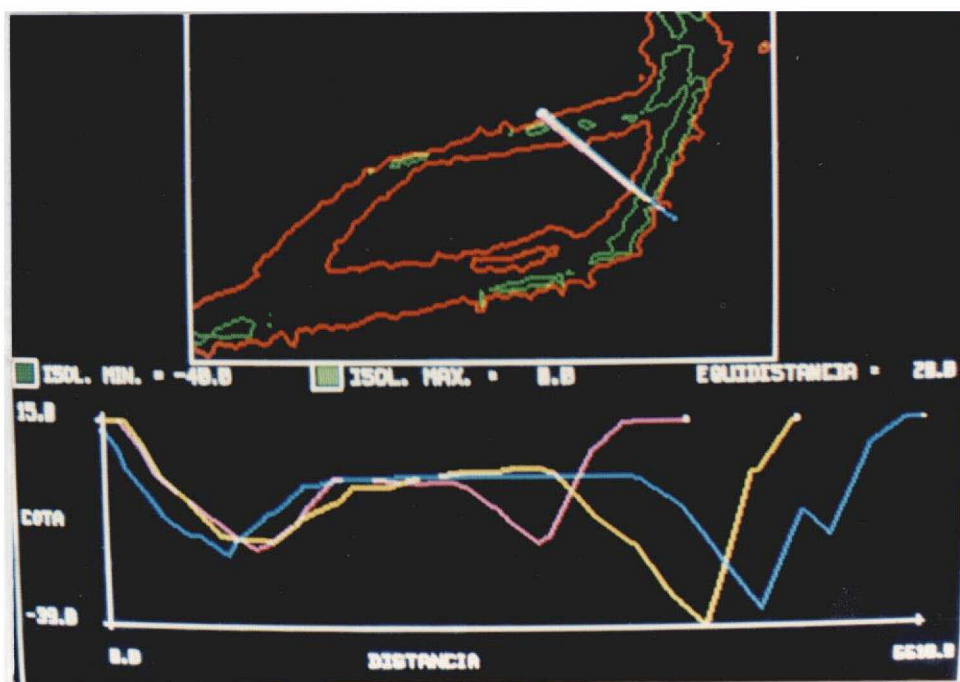


Fig. 4.22 - Perfil Transversal nº 5 - Ilha dos Mouras.
 - Comprimento = 6610 m; variação de cotas = de 15 m a -39 m.

O perfil transversal nº 5 (Figura 4.22) possui o comprimento de 6610 metros e, suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 39 metros. Esse perfil atravessa o banco a jusante da ilha dos Mouras. De 1976 a 1984, no canal entre a margem esquerda e o banco a jusante da ilha dos Mouras não ocorreram mudanças significativas, entretanto, ocorreram deposições de sedimentos na margem direita deste banco que aumentou sua largura. Devido a ocorrência de erosões, o canal entre esse banco e a margem direita do rio foi entalhado com consequente debastamento desta margem. Em 1988, ocorreram erosões, que aumentaram a profundidade no canal entre a margem direita do rio e o banco de areia. Continuaram as deposições de sedimentos nesse banco aumentando ainda mais a sua largura.

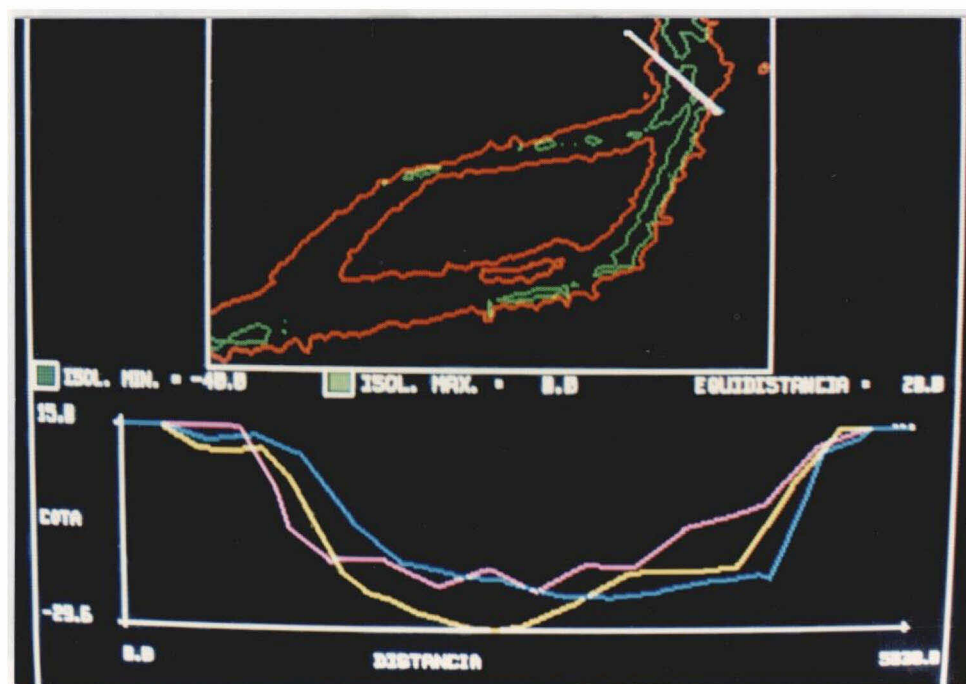


Fig. 4.23 - Perfil Transversal nº 6 - Ilha dos Mouras.
 - Comprimento = 5830 m; variação de cotas = de 15 m a -29,6 m.

O perfil transversal nº 6 (Figura 4.23) possui o comprimento de 5830 metros no terreno e, suas cotas variam de 15 metros (margens) até a profundidade máxima de 29,6 metros. De 1976 a 1984, ocorreram erosões em toda a extensão do perfil que contribuíram para o aumento de suas profundidades. Em 1988, ocorreram deposições de sedimentos que diminuíram as profundidades locais, desde a margem esquerda do rio até um pouco mais da metade da extensão do perfil; deste ponto em diante, até a margem direita do rio, o comportamento do perfil foi o inverso, pois ocorreram erosões que aumentaram as profundidades neste local, mostrando que a margem direita é a margem de erosão (côncava) do canal fluvial.

Os perfis da ilha dos Mouras permitiram constatar os seguintes fatos:

- aumento da largura do banco de areia a jusante da ilha;
- entalhamento em alguns locais da margem direita do canal fluvial;
- surgimento de um banco de areia próximo à margem direita da ilha. Esse banco pode ser visualizado, com maiores detalhes na Figura 4.24, que é uma fotografia do mesmo obtida durante o trabalho de campo.



Fig. 4.24 - Banco de areia ao lado da margem direita da ilha dos Mouras - outubro/1988.

d) Cálculo de volume dos modelos digitais de batimetria

Após os resultados alcançados com a geração dos diagramas de blocos, das isobatimétricas e dos perfis transversais, pôde-se detectar diversas mudanças ocorridas nos trechos do canal fluvial estudados. A partir de agora são apresentados os resultados que quantificaram essas mudanças, começando com o cálculo do volume dos modelos digitais de batimetria. Cabe ressaltar que esses resultados, obtidos com o cálculo do volume, dizem respeito ao trecho do canal fluvial como um todo, não especificando os locais onde ocorreram modificações.

Os volumes negativos (volumes dos acidentes geográficos abaixo da cota base) dos modelos digitais de batimetria para as cotas de dez e zero metros, nas proximidades da ilha do Barroso e os volumes dos bancos de areia aflorados (diferença entre os volumes dessas cotas), obtidos com a aplicação do programa Cálculo de Volume do SIG, estão na Tabela 4.4. Foram feitas análises sobre os volumes da cota de zero metro e dos bancos de areia aflorados.

TABELA 4.4

VOLUMES (km³) DOS MODELOS DIGITAIS DE BATIMETRIA
NAS PROXIMIDADES DA ILHA DO BARROSO

MODELO	ANO	VOLUME PARA A COTA DE 0m	VOLUME PARA A COTA DE 0m	VOLUMES DOS BANCOS DE AREIA AFLO-RADOS
BA76	1976	0,95	0,41	0,53
BA82	1982	1,03	0,46	0,56
BA85	1985	1,01	0,48	0,53

Os volumes da Tabela 4.4 indicam que:

1) Na cota de zero metro:

- de 1976 a 1985, ocorreu um aumento de volume de $0,07 \text{ km}^3$, significando que as erosões foram predominantes em relação às deposições de sedimentos. Essa cota não considera as alturas dos bancos de areia aflorados;

2) Bancos de areia aflorados:

- de 1976 a 1982, ocorreu um aumento de volume de $0,03 \text{ km}^3$, devido às deposições de sedimentos;
- de 1982 a 1985, ocorreu uma diminuição de volume de $0,03 \text{ km}^3$ devido às erosões ocorridas no trecho do canal fluvial.

Os volumes negativos em km^3 dos modelos batimétricos, nas proximidades da ilha dos Mouras, para as cotas bases de dez metros, zero metro e para os bancos de areia aflorados, estão na Tabela 4.5.

TABELA 4.5

VOLUMES (km³) DOS MODELOS DIGITAIS DE BATIMETRIA
NAS PROXIMIDADES DA ILHA DOS MOURAS

MODELO	ANO	VOLUME PARA A COTA DE 10 m	VOLUME PARA A COTA DE 0m	VOLUMES DOS BANCOS DE AREIA AFLORADOS
M076	1976	1,81	0,95	0,86
M084	1984	1,93	0,99	0,94
M088	1988	1,90	0,92	0,98

Os valores da Tabela 4.5 indicam que:

1) Na cota de zero metro:

- de 1976 a 1984: ocorreu um aumento do volume de 0,04 km³ devido às erosões ocorridas no leito do canal fluvial;
- de 1984 a 1988: ocorreu uma diminuição do volume de 0,07 km³ devido às deposições de sedimentos ocorridas no leito do canal fluvial;

2) Bancos de areia aflorados:

- de 1976 a 1988: ocorreu um aumento de volume de 0,12 km³, devido às deposições de sedimentos ocorridas nos mesmos.

Os resultados obtidos com o cálculo de volume dos bancos de areia aflorados, para os modelos da ilha dos Mouras, comparados com os dos diagramas de blocos e os perfis, justificaram o aumento do banco a jusante da ilha e o surgimento de um banco de areia junto à sua margem direita.

e) Reclassificação da batimetria

Dando continuidade à quantificação dos processos geomorfológicos ocorridos no trecho do canal fluvial estudado, iniciada pelo cálculo do volume dos modelos digitais de batimetria, serão relacionados neste item os resultados alcançados com a reclassificação da batimetria. Esse subproduto permitiu, além da quantificação, a localização das modificações ocorridas nos trechos estudados do canal fluvial.

Nas Figuras 4.25, 4.26 e 4.27 mostram as imagens tematizadas, referentes aos modelos digitais de batimetria nas proximidades da ilha do Barroso, para os anos de 1976, 1982 e 1985, respectivamente.

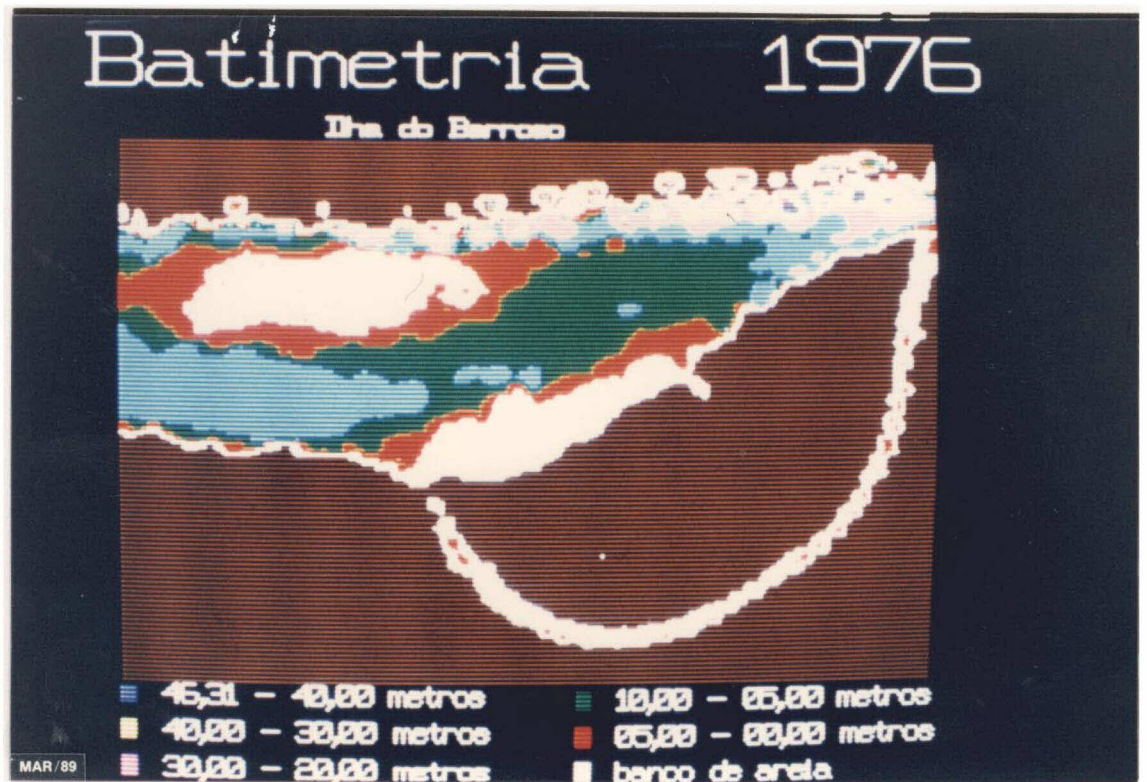


Fig. 4.25 - Batimetria reclassificada - Ilha do Barroso, 1976.
- Escala aproximada = 1:154.000.

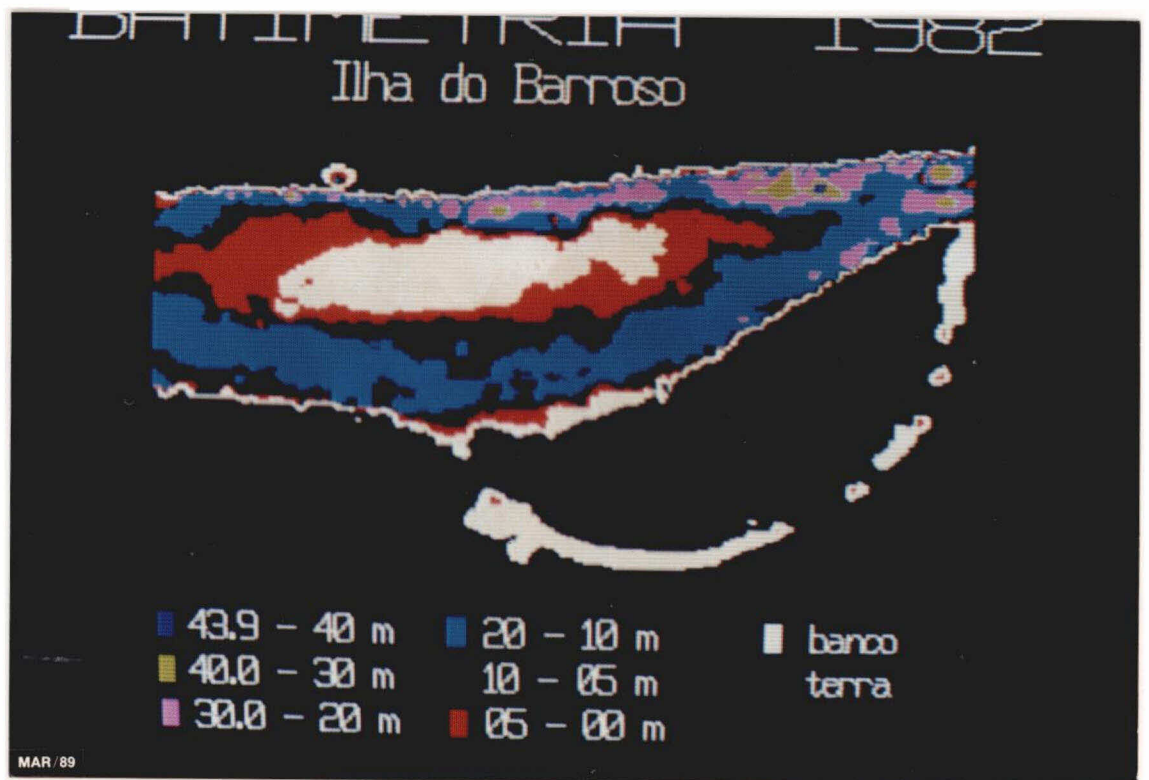


Fig. 4.26 - Batimetria reclassificada - Ilha do Barroso, 1982.
- Escala aproximada = 1:154.000.

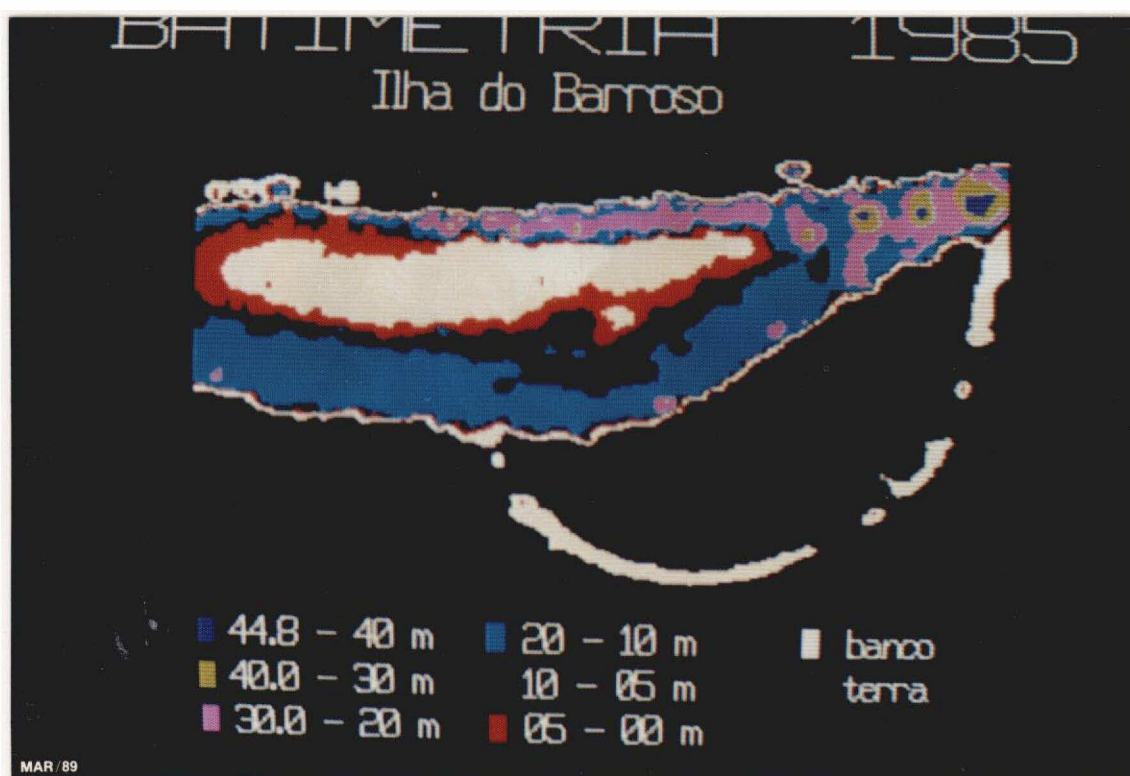


Fig. 4.27 - Batimetria reclassificada - Ilha do Barroso, 1985.
- Escala aproximada = 1:154.000.

Na análise realizada sobre as três imagens reclassificadas, observaram-se as seguintes modificações, no trecho do canal fluvial:

- Na imagem de 1976 (Figura 4.25) havia três classes de profundidade adjacentes à ilha do Barroso: a classe de 10 a 05 metros (cor verde escura), uma faixa da classe de 05 a 00 metros (cor vermelha) e um banco de areia (cor branca);
- na imagem de 1982 (Figura 4.26), observa-se que no trecho do canal citado acima, ocorreram erosões que aumentaram as profundidades locais, pois a classe de 20 a 10 metros (cor ciano) aumentou a sua extensão, com consequente diminuição das áreas ocupadas pelas classes de 10 a 05 metros, 05 a 00 metros e a classe do banco de areia;

- na imagem de 1985 (Figura 4.27), o banco de areia adjacente à ilha do Barroso encontra-se totalmente erodido, e a classe de 05 a 00 metros não existe mais neste local;
- o banco da Conceição, no meio do canal fluvial, teve o seu crescimento acentuado confirmado, de 1976 a 1985, conforme se pode constatar observando as imagens da batimetria reclassificada. Nelas a classe de 05 a 00 metros ocupou parte da área que possuía a classe de 10 a 05 metros e a classe de banco de areia aumentou consideravelmente sua área. Fica então caracterizada a ocorrência de deposições de sedimentos nesse trecho do canal fluvial;
- a linha do talvegue no canal fluvial migrou, no decorrer desses anos estudados, para junto da margem esquerda do rio, que é o trecho mais estreito consequentemente o mais profundo. Isto pode ser observado através do posicionamento das classes de maiores profundidades: a de 47 a 40 metros (cor azul escura), a de 40 a 30 metros (cor amarela) e a de 30 a 20 metros (cor magenta);
- ocorreu também no período de tempo estudado, de 1976 a 1985, um entalhamento na extremidade a jusante do canal, com a ocorrência de depressões localizadas, indicadas pelo aumento das áreas ocupadas pelas classes de 47 a 40 metros, 40 a 30 metros e 30 a 20 metros.

Alguns dos resultados obtidos acima, que também foram detectados nos sub-produtos dos modelos digitais de batimetria citados anteriormente, caracterizam uma típica

operação de ajustagem do canal fluvial. Quando ocorreram as deposições de sedimentos sobre o banco da Conceição, o rio erodiu à margem esquerda da ilha do Barroso, promovendo a erosão completa do banco de areia aí existente, criando uma condição de equilíbrio para escoamento de suas águas.

As classes batimétricas tiveram suas áreas calculadas, usando o programa Cálculo de Áreas de Classes do módulo de manipulação do SIG, e os valores encontrados constam da Tabela 4.6.

TABELA 4.6

ÁREAS (km²) DAS CLASSES DE BATIMETRIA - ILHA DO BARROSO

CLASSE	COR NA UVI	ÁREA (km ²)		
		1976	1982	1985
47 metros a 40 metros	Azul escuro	0,15	0,03	0,29
40 metros a 30 metros	Amarela	1,46	0,73	1,06
30 metros a 20 metros	Magenta	2,63	3,37	4,56
20 metros a 10 metros	Ciano	11,68	18,09	17,51
10 metros a 05 metros	Verde escuro	16,27	13,62	10,26
05 metros a 00 metros	Vermelha	9,56	10,06	7,06
Banco de areia	Branca	17,88	14,62	16,86

Na análise das classes batimétricas, conforme os valores obtidos na Tabela 4.6, juntamente com a interpretação das imagens contidas nas Figuras 4.25, 4.26 e 4.27, podem ser feitas as seguintes observações:

- As classes de 47 a 40 metros e 40 a 30 metros possuem um comportamento semelhante; ambas decresceram nos valores de áreas ocupadas de 1976 a 1982 e tornaram a aumentar esses valores em 1985. Este aumento em 1985 foi devido ao entalhamento da extremidade a jusante junto à margem esquerda (onde se localizava o talvegue) do canal fluvial;
- a classe de 30 a 20 metros sofreu um aumento contínuo de sua área ocupada, de 1976 a 1985, de 1,93 km², devido à erosão que entalhou parte do leito fluvial;
- a classe de 20 a 10 metros sofreu um aumento de sua área ocupada, de 1976 a 1982, de 6,41 km², devido às erosões ocorridas em locais adjacentes à margem esquerda da ilha do Barroso. De 1982 a 1985, o valor de sua área ocupada diminuiu de 0,58 km² causada pelos aumentos das áreas ocupadas tanto pela classe de 30 a 20 metros (erosões no leito fluvial) quanto pela classe de banco de areia (deposições de sedimentos no leito fluvial);
- as classes de 10 a 05 metros e 05 a 0 metro possuem um comportamento semelhante, pois ambas sofreram diminuições contínuas de suas áreas ocupadas, de 1976 a 1985. Na classe de 10 a 05 metros isto ocorreu, principalmente, devido ao aumento da área da classe de 20 a 10 metros, resultante da ocorrência de erosões na margem adjacente à ilha do Barroso. Na classe de 05 a 00 metros, além das mesmas erosões submetida à classe 10 a 05 metros, teve também sua área diminuída devido às deposições de sedimentos sobre o banco da Conceição;

- a classe banco de areia, apesar do aumento de área do banco da Conceição existente no período de 1976 a 1985, sofreu um decréscimo em sua área devido à erosão ocorrida no banco adjacente à ilha do Barroso. De 1982 a 1985 a classe tornou a aumentar o valor de sua área, mas ainda assim, inferior ao que possuía em 1976. Esse aumento de área deveu-se às deposições de sedimentos sofridas pelo banco da Conceição e em trechos localizados no canal fluvial. Os valores obtidos com esta classe estão consoantes com os dados de volume dos bancos de areia aflorados, constantes da Tabela 4.4.

A classe de terra firme (15 metros) não foi analisada em virtude do paraná do Barroso não ter sido sondado em 1982 e 1985, o que "mascarou" os valores de área ocupada por essa classe.

As Figuras 4.28, 4.29 e 4.30 mostram as imagens temáticas referentes aos modelos digitais de batimetria, nas proximidades da ilha dos Mouras, para os anos de 1976, 1984 e 1988, respectivamente.



Fig. 4.28 - Batimetria reclassificada - Ilha dos Mouras, 1976.

Escala aproximada = 1:256.000.

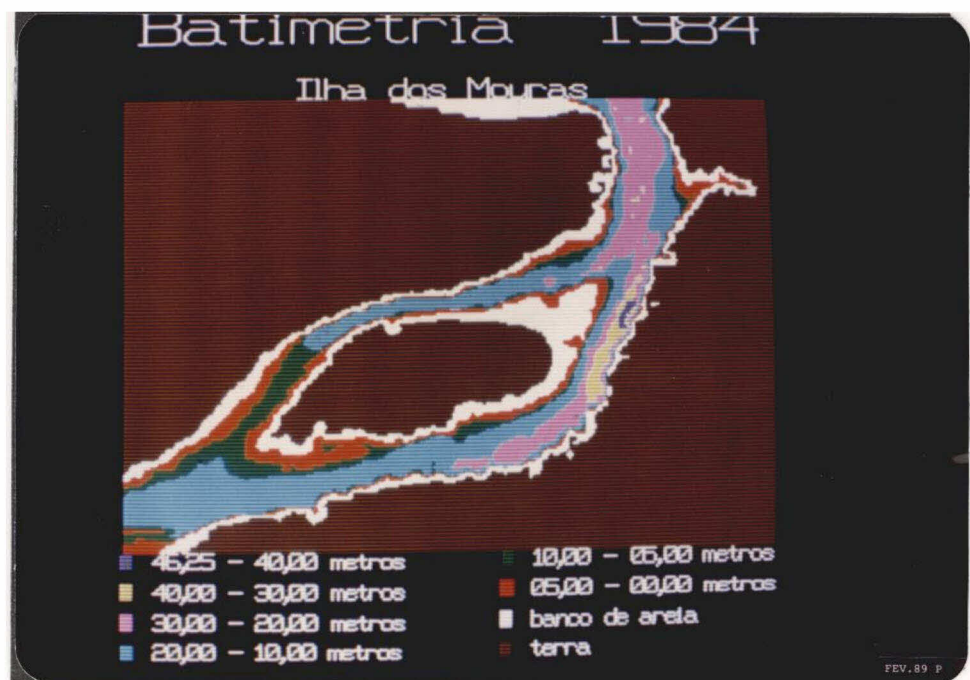


Fig. 4.29 - Batimetria reclassificada - Ilha dos Mouras, 1984.

Escala aproximada = 1:256.000.



Fig. 4.30 - Batimetria reclassificada - Ilha dos Mouras, 1988.
Escala aproximada = 1:256.000.

Na análise das três imagens reclassificadas, observaram-se as seguintes modificações no trecho do canal fluvial:

- Na imagem de 1976 (Figura 4.28), as classes de maiores profundidades (cores azul escuro, magenta e amarelo) estavam situadas por toda extensão adjacente à margem direita do canal fluvial, fornecendo a localização do talvegue;
- em 1984 (Figura 4.29), as deposições de sedimentos ocorridas da extremidade montante do trecho do canal até cerca da metade do comprimento da ilha dos Mouras, ocasionaram a diminuição das profundidades locais, predominando aí a área ocupada pela classe de 20 a 10 metros (cor ciano). Essas deposições de se-

dimentos tiveram continuidade até 1988, o que ocasionou o surgimento de um banco de areia adjacente à margem direita da ilha dos Mouras e o aumento da da área da classe de 05 a 00 metros (cor vermelha);

- nas três imagens, a ilha dos Mouras está circundada por um banco de areia, sendo que em 1984, na sua extremidade a jusante ocorreram deposições de sedimentos, que contribuíram para o aumento da área ocupada pela ilha em si;
- em 1988, o banco a jusante da ilha dos Mouras teve um aumento de sua área acarretada pela continuidade das deposições de sedimentos;
- em 1988, a ocorrência de deposições de sedimentos, ocasionou o aumento da área ocupada pelo banco de areia na curva adjacente à margem esquerda da ilha da Xiborena, próxima da extremidade a jusante desse trecho do canal. A Figura 4.31 é uma fotografia tirada desse banco por ocasião do trabalho de campo;
- em 1988, em alguns trechos localizados na margem esquerda do canal ocorreram erosões que entalharam a mesma, formando reentrâncias adjacentes. Esse entalhamento da margem esquerda, detectado também pelos perfis transversais, pode ser visto na fotografia da Figura 4.32, tirada durante o trabalho de campo, mostrando o debastamento da margem e a derrubada de árvores lá existentes. Essas erosões são mais acentuadas nos períodos de cheia do rio.



Fig. 4.31 - Banco de areia adjacente à ilha da Xiborena, outubro de 1988.



Fig. 4.32 - Erosão de um trecho da margem esquerda do rio Solimões, nas proximidades da ilha dos Mouras, outubro de 1988.

As classes batimétricas tiveram suas áreas calculadas, usando o programa Cálculo de Áreas de Classes do módulo de manipulação do SIG, e os valores encontrados constam da Tabela 4.7.

TABELA 4.7

ÁREAS DAS CLASSES DE BATIMETRIA - ILHA DOS MOURAS

CLASSE	COR NA UVI	ÁREA (km ²)		
		1976	1984	1988
47 metros a 40 metros	Azul escuro	0,30	0,30	0,00
40 metros a 30 metros	Amarelo	1,05	1,86	0,87
30 metros a 20 metros	Magenta	14,78	13,40	11,15
20 metros a 10 metros	Ciano	27,93	31,40	32,36
10 metros a 05 metros	Verde escuro	14,86	16,94	19,05
05 metros a 00 metros	Vermelha	13,10	15,46	16,06
Banco de areia	Branca	28,49	27,53	28,64
Terra (15 metros)	Marrom	290,68	285,75	283,06

Na análise das classes batimétricas, conforme os valores obtidos da Tabela 4.7, juntamente com a interpretação feita a partir das imagens contidas nas Figuras 4.28, 4.29 e 4.30, podem ser feitas as seguintes observações:

- As classes de 47 a 40 metros e 40 a 30 metros tiveram um comportamento semelhante. De 1976 a 1984, ambas acusaram um aumento de suas áreas, devido ao entalhamento do leito fluvial a jusante do canal fluvial por erosões e, em 1988 ambas acusaram um decréscimo de suas áreas devido às deposições de

sedimentos ocorridas no mesmo local, que acarretou no aumento da área da classe de 20 a 10 metros;

- a classe de 30 a 20 metros, de 1976 a 1988, sofreu uma diminuição contínua de sua área, provocada por deposições de sedimentos ocorridas na margem direita do canal fluvial;
- as classes de 20 a 10 metros, de 10 a 05 metros e a de 05 a 00 metros tiveram aumentos nas suas áreas de 1976 a 1988. A primeira devido às deposições de sedimentos ocorridas na margem direita e esquerda do trecho do canal fluvial; a segunda devido às deposições de sedimentos ocorridas na margem esquerda a montante da ilha dos Mouras; a terceira devido às deposições de sedimentos que diminuíram a profundidade em volta da ilha dos Mouras e próximo ao banco adjacente à ilha da Xiborena;
- a classe banco de areia, de 1976 a 1984, sofreu uma diminuição de sua área em virtude das deposições de sedimentos ocorridas sobre o banco a jusante da ilha dos Mouras, que acarretou um aumento da área ocupada pela própria ilha (classe terra). Em 1988, essa classe voltou a ter um crescimento de sua área ocupada de 1,11 km² em virtude do crescimento dos bancos de areia a jusante da ilha dos Mouras, do banco que fica adjacente à margem esquerda da ilha da Xiborena e também do surgimento do banco de areia próximo à margem direita da ilha dos Mouras (Figura 4.24);
- a classe terra (de 15 metros), devido às erosões contínuas ocorridas, de 1976 a 1988, na margem esquerda do canal fluvial, sofreu uma diminuição de sua área de 7,62 km².

Os modelos digitais de batimetria, com seus respectivos subprodutos, juntamente com os dados de área e perímetro de ilhas fluviais, permitiram a detecção de alguns fenômenos geomorfológicos, do tipo deposição de sedimentos e de erosão, nos trechos estudados do canal fluvial. Estes fenômenos foram identificados e quantificados (em termos de volume e de área de classe batimétrica), fornecendo dados sobre a morfologia fluvial, ocorrida durante esse lapso de tempo.

4.1.2 - UTILIZANDO OS PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS E OS DADOS DE VAZÃO

A partir deste item, as informações obtidas até aqui foram ampliadas, devido aos resultados alcançados com a utilização dos produtos de sensores remotos e com os dados de vazão, visando o monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo.

4.1.2.1 - CÁLCULO DE ÁREAS DAS ILHAS FLUVIAIS/RELAÇÃO ENTRE OS DADOS DE ÁREAS DE ILHAS x VAZÃO/INSPEÇÃO VISUAL NO BANCO DA CONCEIÇÃO

A Figura 4.33 mostra o módulo III da imagem MSS/LANDSAT de 01/12/81 após a aplicação dos programas Detecção de Bordas/Delimitação de Regiões do SITIM-150; esta imagem estava ampliada quatro vezes (escala 1:250.000) utilizando a função Zoom do SITIM-150, na tela do monitor do Sistema.

As Figuras 4.34, 4.35 e 4.36 contém os gráficos das vazões/precipitações. Estes gráficos foram obtidos de Almeida et al. (1989) e permitiram visualização destas grandezas nas datas do imageamento por sensores remotos. Auxiliaram também na comparação com os valores de área das ilhas.

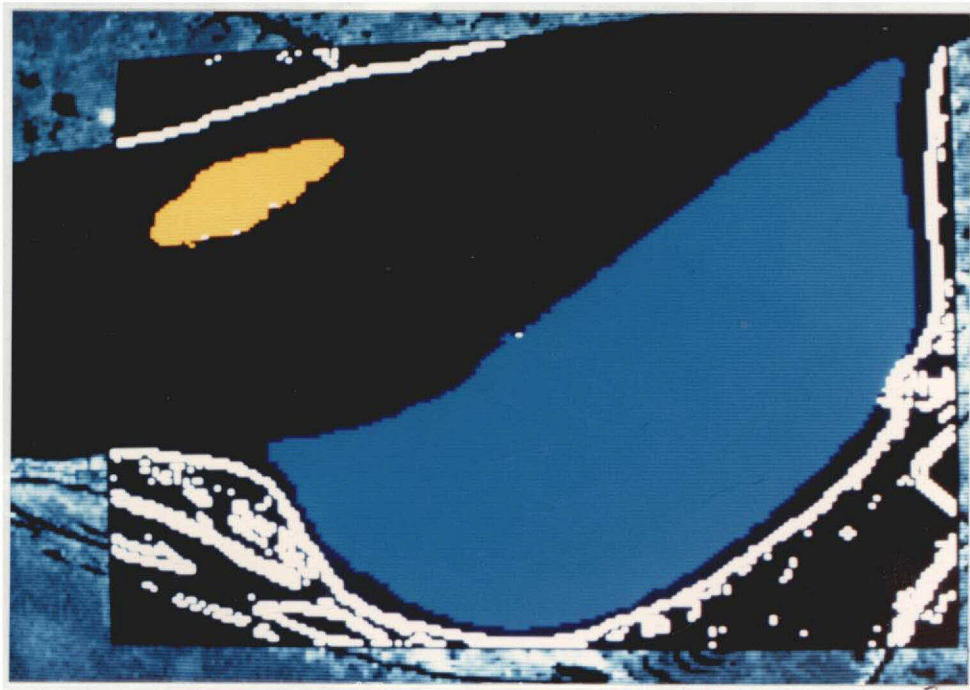


Fig. 4.33 - Módulo III da imagem MSS/LANDSAT de 01/12/81 após a aplicação dos programas Detecção de Bordas/Delimitação de Regiões.

Na análise das Figuras 4.34, 4.35 e 4.36, algumas observações podem ser feitas:

- As imagens de 1976, 1981, 1982, 1984 e 1987 foram obtidas próximas do mínimo da vazante ocorrido em outubro. A imagem de 1981, apesar de ser aquela com menor valor de vazão em relação às imagens estudadas, foi obtida num período com alto índice de precipitação; tal fato pode ser explicado, pois segundo Soares (1977), existe um "atraso" do nível das águas do rio Solimões em relação à precipitação, "atraso" este vai se tornando maior perto da foz do rio. Então, a precipitação medida em Manaus e Manacapuru (Figura 4.35) não influenciou a vazão extrema em 1981;

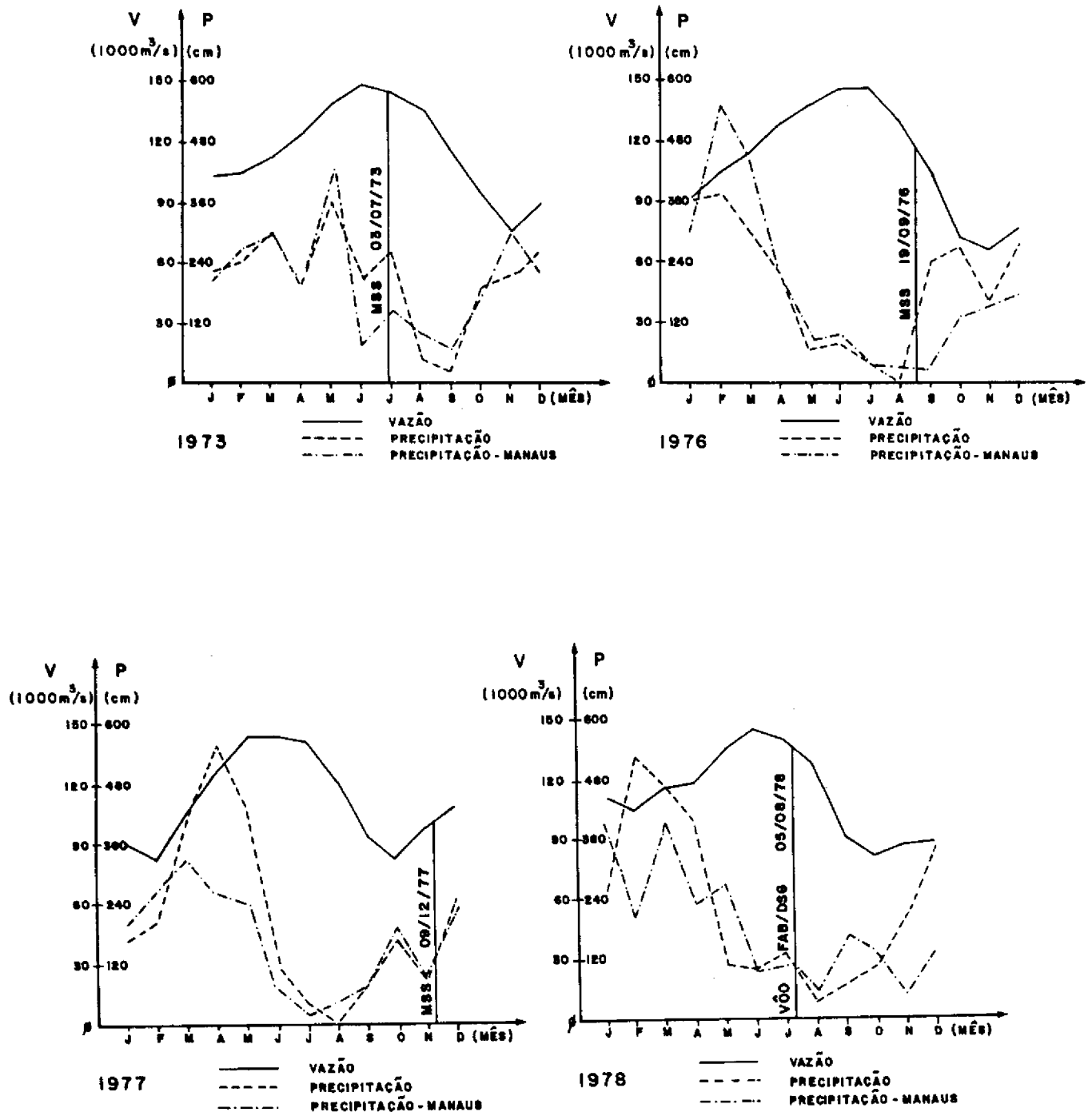


Fig. 4.34 - Curvas de vazão/precipitação nos anos de 1973, 1976, 1977 e 1978.

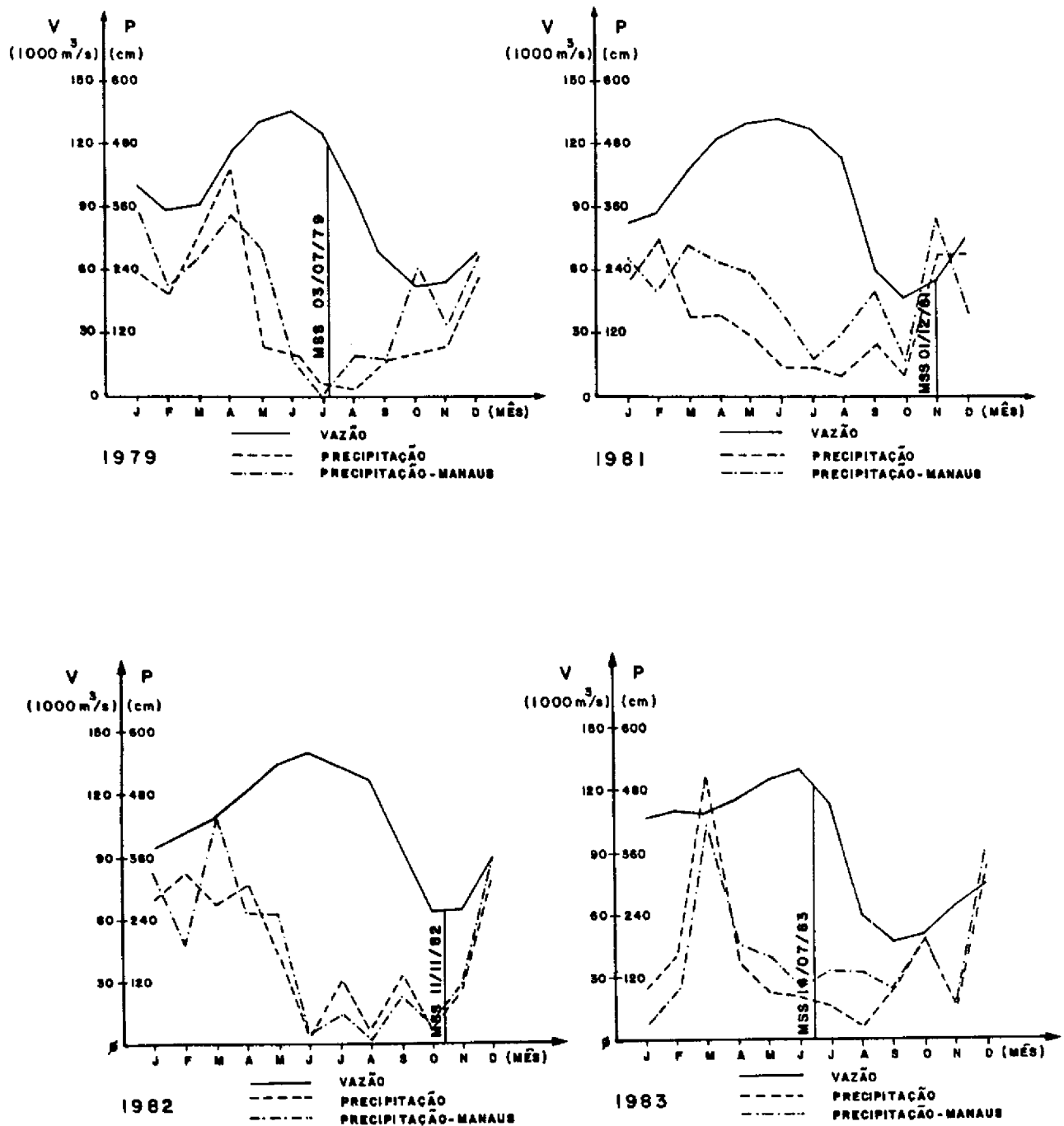


Fig. 4.35 - Curvas de vazão/precipitação nos anos de 1979, 1981, 1982 e 1983.

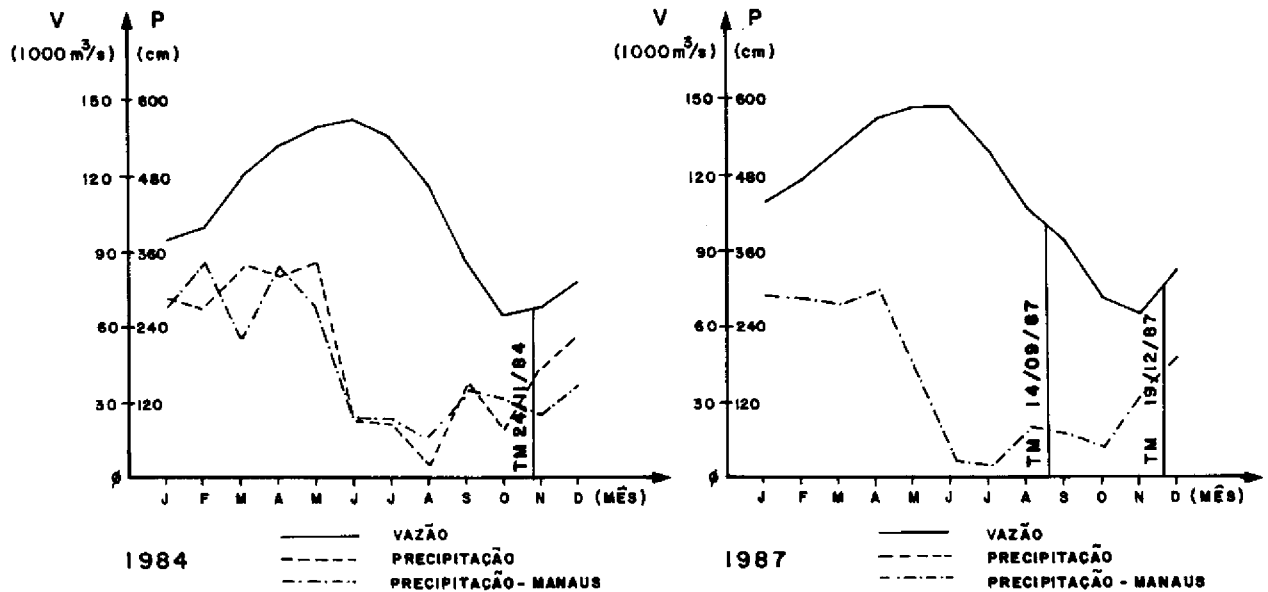


Fig. 4.36 - Curvas de vazão/precipitação nos anos de 1984 e 1987.

- as imagens de cheia nos anos de 1973, 1977, 1978, 1979 e 1983, apesar dos altos valores de vazão, possuíam baixos valores de precipitação, devido ao "atraso" das águas do rio Solimões explicado acima.

A Tabela 4.8 fornece os valores de área por ilha estudada, ordenados crescentemente, juntamente com os dados diários de vazão por ocasião das datas das imagens.

TABELA 4.8

ÁREAS (km²) DAS ILHAS FLUVIAIS NAS DATAS QUE FORAM OBTIDAS AS IMAGENS DOS SENSORES REMOTOS

DATA	SENSOR	VAZÃO (m ³ /s)	MOURAS	XIBORENA	MARAPATÁ	PACIÊNCIA	MURATU	JACURUTU	MARIA ANTÔNIA	BARROSO	BANCO CONCEIÇÃO
Julho/70	Câmara Aérea Zeiss	-	17,43	18,74	0,29	-	-	-	-	-	-
05/08/78	Câmara Aérea Zeiss	132.000	18,31	22,62	0,35	43,90	5,74	6,99	1,50	23,07	-
19/09/76	MSS/LANDSAT	100.000	24,73	23,87	0,64	49,21	6,68	7,89	2,55	28,41	-
14/09/87	TM/LANDSAT	97.600	31,45	23,95	0,65	51,23	7,94	7,89	3,05	28,58	1,61
09/12/76	MSS/LANDSAT	96.000	31,48	24,39	0,71	51,42	8,04	8,53	3,06	29,28	0,13
24/11/84	TM/LANDSAT	63.900	31,56	24,41	0,71	51,43	8,37	8,54	3,06	29,82	1,97
11/11/82	MSS/LANDSAT	63.300	32,32	24,64	0,79	51,70	8,51	8,75	3,23	30,68	2,38
19/12/87	TM/LANDSAT	83.200	35,01	24,85	0,79	51,70	8,51	8,76	3,35	30,68	2,41
01/12/81	MSS/LANDSAT	58.200	34,41	26,17	0,86	51,81	9,17	9,3	3,52	31,07	2,86

Na análise da Tabela 4.8, algumas observações podem ser feitas:

- A fotografia aérea de julho/70 somente abrange as ilhas fluviais correspondente ao módulo I das imagens LANDSAT, e não existiam dados de vazão para esta data. Os valores de área de suas ilhas foram inferiores aos obtidos da carta náutica (Tabela 4.1), devido principalmente a essa imagem ter sido de um período de cheia do rio Solimões. Consequentemente, os limites das ilhas estão comprometidos e os bancos de areia submersos, enquanto na carta náutica, tanto os limites como os bancos de areia, são determinados no campo durante as sondagens batimétricas;
- os valores de área das ilhas fluviais, das fotografias aéreas de 05/08/78, foram semelhantes aos obtidos do mapa da DSG (Tabela 4.1), o que permitiu confirmar a eficácia desta metodologia no cálculo de área de ilhas fluviais nos produtos de sensores remotos;
- os valores de área das ilhas estabelecem com os dados de vazão, excetuando os encontrados para a imagem TM/LANDSAT de 19/12/87, uma relação inversa, isto é, quanto maior é o valor de área da ilha, menor é o valor da vazão correspondente e, vice-versa. Este fato já era esperado, pois, uma maior vazão corresponde a um volume maior de água com consequente maior altura da lâmina d'água e, isto acarreta em menor superfície aflorada da ilha fluvial durante o imageamento. Tal constatação dispensou a execução de uma comparação estatística entre os valores de área de ilha e vazão;

- esses mesmos valores de área, em 19/12/87, exce-
tuando a ilha dos Mouras, foram os segundos em mag-
nitude, mas o valor da vazão nesta data foi o quarto
maior. Após o registro de imagens foi possível con-
firmar se o dado de vazão para essa data estava cor-
reto;
- a ilha dos Mouras em 19/12/87, apresentou uma área
maior do que em 01/12/81 (data correspondente a ima-
gem com menor vazão). Para que isto ocorra é neces-
sário que a ilha tenha sofrido deposições de sedi-
mentos que tenham aumentado sua área aflorada. Tal
fato foi analisado empregando o registro de imagens di-
gitais;
- o banco da Conceição apresentou um valor de área em
14/09/87 superior ao encontrado em 09/12/76, apesar
da vazão naquela data ter sido inferior. Isto con-
firma o crescimento deste banco detectado pelos do-
cumentos batimétricos inseridos no SIG. Como observa-
ção adicional em relação a este banco, seus valores
de área (Tabela 4.8) foram inferiores aos encontra-
dos nas folhas de bordo, devido as imagens não terem
sido obtidas em picos de vazante, o que permitiria o
imageamento de parte do banco submersa.

Pelo fato de o banco da Conceição estar quase totalmente submerso na imagem MSS de 09/12/76, data esta que corresponde ao final de vazante no rio Solimões, foram examinadas algumas cenas com datas correspondentes a períodos de cheia do rio, para verificar se o banco estava realmente submerso por ocasião desses imageamentos. As imagens examinadas foram: MSS/LANDSAT de 09/07/73, 03/07/79 e 09/07/83 e a fotografia aérea DSG-FAB de 05/08/78. Em todas essas, exceto na MSS de 09/07/83, o banco da Conceição es-

tava totalmente submerso. Na imagem MSS de 09/07/83 ele possuía uma área aflorada superior a detectada pela imagem de vazante de 09/12/76. Considerando que a vazão em 09/07/83 foi de 124000 m³/s, bem superior a 09/12/76 (Tabela 4.8), com conseqüente maior altura de lâmina d'água, este fato, então, confirma o crescimento do banco.

Por apresentarem os maiores valores de áreas de ilhas fluviais, as imagens LANDSAT MSS de 01/12/81 e TM de 19/12/87, foram escolhidas para serem registradas entre si, com o objetivo de obter informações complementares sobre a dinâmica fluvial da área de estudo.

4.1.2.2 - REGISTRO DE IMAGENS

As imagens escolhidas no item anterior, por módulos, foram submetidas ao programa Registro de Imagens do SITIM-150. A imagem MSS de 01/12/81 foi escolhida para ser a imagem padrão por ter apresentado os maiores valores de áreas de ilhas fluviais e ser a mais antiga entre as duas. A imagem TM de 19/12/87 foi escolhida para ser a imagem de entrada, que teve os seus níveis de cinza interpolados por convolução cúbica, para a imagem de saída.

Após o registro dessas imagens, foi utilizado o programa Painel do SITIM-150, que atribui cores complementares para a imagem padrão e a imagem de saída. As cores escolhidas foram o ciano e o vermelho respectivamente. Com isto, no monitor da UVI do sistema, foi carregada a imagem padrão nos canais correspondentes ao azul e ao verde, produzindo a cor ciano e, no canal correspondente ao vermelho foi carregada a imagem de saída.

Na imagem colorida produzida na tela do monitor da UVI do sistema, as áreas que não ocorreram modificações

(áreas comuns tanto nas imagens de 1981 e 1987) mantiveram seus tons de cinza, as áreas que somente existiam em 01/12/81 ficaram com a cor ciano e, as áreas que somente existiam em 19/12/87 ficaram com a cor vermelha. As Figuras 4.37, 4.38 e 4.40 mostram essas composições coloridas das imagens registradas por módulos, e para cada figura, à medida que for sendo apresentada, é feita a sua análise correspondente.



Fig. 4.37 - Imagem registrada do módulo I, cor ciano = MSS 01/12/81, cor vermelha = TM 19/12/87. Ilhas dos Mouras, Xiborena e Marapatá.

Na análise da Figura 4.37, algumas observações podem ser feitas:

- A ilha de Marapatá, em 1981, apresentava uma área aflorada maior que em 1987, não sendo detectada qualquer variação nesse intervalo de tempo;

- na ilha da Xiborena, em sua extremidade a jusante, a estreita faixa vermelha indica uma deposição localizada de sedimentos. Nas proximidades da margem direita da ilha, detectou-se o surgimento de um banco que estava aflorado na imagem de 1987, confirmando com os resultados obtidos empregando os dados batimétricos no SIG (Figura 4.31). A estreita faixa ciano, localizada a montante da ilha, indica apenas uma variação de lâmina d'água, já que não foi observado nenhuma erosão neste local com os dados batimétricos;
- na ilha dos Mouras ficou realmente evidenciado a deposição de sedimentos ocorridas em ambas as extremidades da ilha, detectadas pelos modelos digitais de batimetria do SIG, e o surgimento do banco de areia na sua margem direita (Figura 4.24). Por esta razão, o valor de área desta ilha em 19/12/87, na Tabela 4.8, foi maior que o de 01/12/81;
- na margem direita do canal fluvial, a faixa ciano tanto pode ser causada por erosões quanto por variação da lâmina d'água ou ambos simultaneamente, pois os dados batimétricos indicaram erosões localizadas nesta faixa da margem.

Estes resultados obtidos com o registro de imagens do módulo I, diferem substancialmente dos obtidos por Niero et al. (1984). Estes autores registraram as imagens MSS de 1976 e 1981, ambas do mês de dezembro. O fato de terem sido obtidas no mesmo mês do ano não assegurou o mesmo regime de vazante. Comparando os valores de vazão da Tabela 4.8 e das Figuras 4.34 e 4.35, existe uma diferença de $26100 \text{ m}^3/\text{s}$. Uma diferença desta magnitude pode implicar numa variação acentuada de altura de lâmina d'água imageada

nessas duas datas. Este fato, provavelmente influenciou a conclusão obtida por esses autores sobre o crescimento do banco a jusante da ilha dos Mouras. Este crescimento realmente ocorreu, entretanto, de acordo com os dados batimétricos e com os produtos de sensores remotos, ele foi mais acentuado a partir de 1984 e não entre 1976 e 1981.

O registro de imagens digitais, para detectar mudanças em canais fluviáteis, deve ser sempre comparado com informações de vazão e com dados batimétricos (de densidade suficiente que abranja completamente o trecho do canal estudado), pois, assim fazendo, será sempre possível avaliar a influência da lâmina d'água no resultado obtido, evitando conclusões que não correspondem à realidade. Por outro lado, o registro de imagens digitais de sensores remotos permite detectar prováveis mudanças ocorridas no canal fluvial, que otimizará os futuros levantamentos batimétricos.

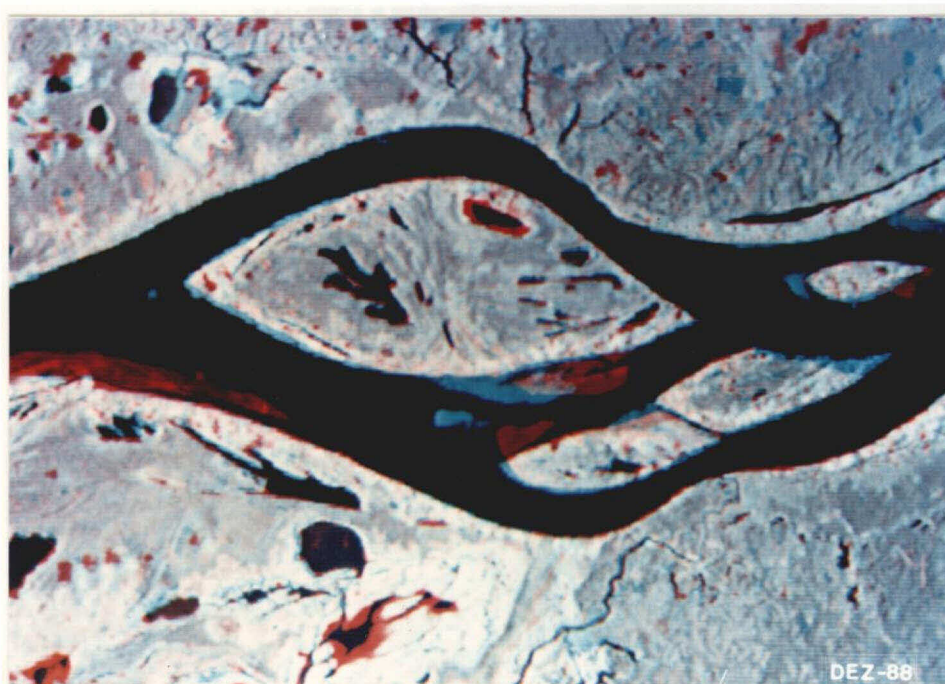


Fig. 4.38 - Imagem registrada do módulo II, cor ciano = MSS 01/12/81, cor vermelha = 19/12/87. Ilhas da Paciência, Jacurutu, Muratu e Maria Antônia.

Na análise da Figura 4.38, algumas observações podem ser feitas:

- Na ilha da Paciência, a montante, é observada uma migração sofrida pelo banco adjacente à sua margem direita, de 1981 para 1987;
- o banco de areia que existia em 1981, entre as ilhas da Paciência e Muratu, aparentemente sofreu um deslocamento aproximando-se da ilha de Muratu;
- a ilha de Jacurutu apresenta, na sua extremidade a jusante, uma faixa na cor ciano, que tanto pode ter sido causada por erosões como por variação da lâmina d'água, de 1981 para 1987;
- a ilha da Maria Antônia apresentava, a montante, um banco de areia aflorado em 1981, mas em 1987, ele não foi detectado, provavelmente pelas mesmas razões citadas no item anterior. Entretanto em 1987, aparece um banco de areia na extremidade a jusante da ilha. A fotografia constante da Figura 4.39 foi obtida durante o trabalho de campo e mostra este banco em detalhes:



Fig. 4.39 - Banco de areia a jusante da ilha da Maria Antônia - outubro de 1988.

- ainda com relação à Figura 4.38, observa-se junto à margem direita, a montante do canal fluvial, um avanço da margem em direção ao centro do canal, originando uma feição representada na figura por uma faixa vermelha. A partir desta informação, foram inspecionadas visualmente na tela do monitor da UVI do SITIM-150, todas as imagens de vazante, e constatou-se a evolução dessa feição, partindo de um banco de areia constante da imagem TM de 24/11/84, para a feição agregada à margem direita do canal, observada nas imagens TM de 14/09/87 e 19/12/87. Foi então calculada a sua área nestas três imagens, utilizando os programas Detecção de Bordas/Delimitação de Regiões, e os resultados obtidos estão na Tabela 4.9 juntamente com os dados de vazão nessas datas. Os resultados caracterizam nesse local, a margem de deposição do rio.

TABELA 4.9

EVOLUÇÃO EM km² DA FEIÇÃO NAS PROXIMIDADES DA ILHA DA PACIÊNCIA

PASSAGEM	VAZÃO (m ³ /s)	ÁREA (km ²)
TM 24/11/84	63.900	0,71
TM 14/09/87	97.600	3,18
TM 19/12/87	83.200	4,19

As observações acima, feitas sobre a análise da Figura 4.38, não puderam distinguir sobre a ocorrência de erosões ou de variação da lâmina d'água, em virtude da carência de dados batimétricos neste trecho do canal fluvial.

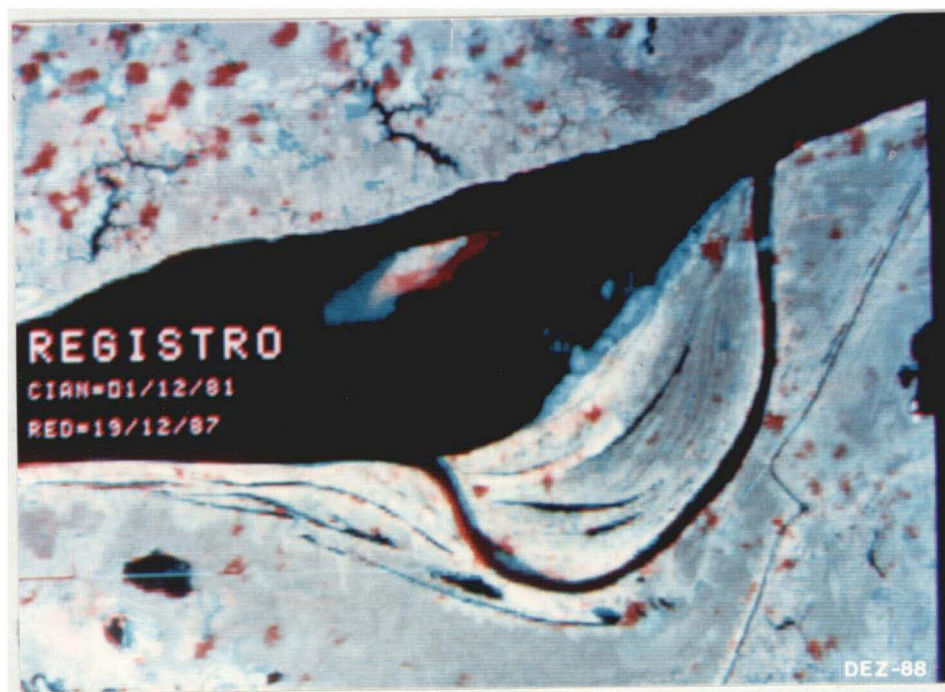


Fig. 4.40 - Imagem registrada do módulo III, cor ciano = MSS 01/12/81, cor vermelha = TM 19/12/87. Ilha do Barroso e banco da Conceição.

Na análise da Figura 4.40, algumas observações podem ser feitas:

- Na ilha do Barroso, a faixa ciano adjacente à sua margem esquerda, foi causada por variação da lâmina d'água, fato este confirmado através dos dados batimétricos no SIG;
- o paraná do Barroso, a montante de sua margem direita, apresenta deposições de sedimentos em 1987;
- o banco da Conceição, apresenta uma faixa ciano a montante indicando que a mesma estava submersa em 1987. A jusante, a faixa vermelha indica um crescimento do banco detectado em 1987, confirmando com os dados batimétricos no SIG. A Figura 4.41 é uma fotografia deste banco, obtida durante o trabalho de campo.



Fig. 4.41 - Banco da Conceição, outubro de 1988.

Observando o banco da Figura 4.41, constata-se que na realidade ele é uma ilha, pois está colonizado pela vegetação.

Nessa parte do trabalho a metodologia aplicada permitiu, utilizando documentos cartográficos e produtos de sensores remotos, a realização de um monitoramento da morfologia fluvial da área de estudo. Naturalmente, diversos outros fatores que não puderam ser abordados influenciam no estudo deste monitoramento, tais como: uso do solo, ação do homem nas margens do canal, cobertura vegetal, etc...

Apenas como ilustração final dos resultados obtidos com o monitoramento da área de estudo, sabe-se que um desmatamento localizado na margem do canal fluvial, pode contribuir para aumentar a magnitude das erosões, pois fica eliminada a cobertura vegetal que serve como anteparo aos sedimentos transportados pelas águas durante as cheias. A fotografia constante da Figura 4.42, obtida durante o trabalho de campo, é uma paisagem desolada situada na margem do rio Negro, perto de Manaus, produzida por um desmatamento. Observa-se nesta figura a aridez do solo e as fendas causadas por processos erosivos gerados por níveis elevados de precipitação, comuns na região.



Fig. 4.42 - Paisagem desolada, causada por processos erosivos, na margem do rio Negro nas proximidades de Manaus, devido ao desmatamento na região. Outubro de 1988:

A atualização cartográfica de um trecho do contorno das partes emersas da carta náutica DHN-4107A, está então justificada, por duas razões:

- As mudanças detectadas no trecho do canal fluvial estudado, tais como: crescimento do banco a jusante da ilha dos Mouras: surgimento dos bancos próximos à margem direita das ilhas da Xiborena e dos Mouras, respectivamente, e a erosão de trechos da margem direita do canal fluvial nas proximidades da ilha dos Mouras;
- pelo fato de que a restituição que deu origem ao contorno das partes emersas desta carta, foi obtida a

partir das fotografias aéreas do projeto RADAM, de julho de 1970 verificando-se que, por exemplo, a forma representada na carta da ilha dos Mouras difere da registrada atualmente numa imagem TM com correção geométrica.

Baseado nestes fatos, foi selecionada a imagem TM/LANDSAT, canal 4, com correção geométrica na projeção UTM, de 19/12/87, que foi aquela imagem TM com maiores valores de área de ilhas, para atualizar o contorno das partes emersas de um trecho da carta náutica DHN-4107A, cujos resultados alcançados são abordados nos próximos itens.

4.2 - RESULTADOS ALCANÇADOS COM A ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DO CONTO RNO DAS PARTES EMERSAS DE UM TRECHO DA CARTA NÁUTICA DHN-4107A

Serão descritos a seguir os resultados alcançados com a metodologia aplicada, que gerou como produto final uma restituição cartográfica, tendo como origem um módulo da imagem TM/LANDSAT. No processo de atualização cartográfica, a metodologia empregou basicamente o registro do módulo da imagem escolhida com a base cartográfica UTM.

4.2.1 - REGISTRO DO MÓDULO DA IMAGEM TM COM A BASE CARTOGRÁFICA UTM

O trecho da imagem TM escolhida para registro com base cartográfica UTM, é semelhante ao Módulo I, usado na metodologia do monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial, por abranger aproximadamente a mesma região geográfica. Este módulo da imagem possui as seguintes características fornecidas pelo programa Leitura de Fita TM-BSQ com Correção Geométrica do SITIM-150, listadas no arquivo de referenciais produzido pelo programa:

- Meridiano central da imagem = 63°W ;
- Datum horizontal = SAD-69;
- Coordenadas UTM do centro do módulo:
 $N = 9644113,676$ e $E = 837880,581$;
- Coordenadas UTM envolventes do módulo:
 $N_1 = 9612723,494$ e $E_1 = 888242,394$;
 $N_2 = 9632099,506$ e $E_2 = 914323,494$;

Após a seleção deste módulo da imagem TM/LANDSAT, aplicou-se o programa Registro de Imagem com Mapa do SITIM-150, utilizando as coordenadas dos pontos de controle obtidos no campo e dos mapas da DSG.

Um dos pontos de controle, obtidos no trabalho de campo, pode ser visto na fotografia constante na Figura 4.43, localizado na extremidade direita do cais RoadWay de Manaus (assinalado com uma seta).

Após serem calculados os coeficientes dos polinômios de mapeamento nos dois casos e, antes da criação da matriz de reamostragem, foi calculada a precisão do registro através do erro médio quadrático. A Tabela 4.10 fornece a precisão do registro para os dois métodos utilizados: o que utilizou os pontos de controle obtidos no campo e o que utilizou os pontos de controle obtidos dos mapas da DSG.



Fig. 4.43 - Ponto de controle RoadWay - Cais do porto de Manaus. Outubro de 1988.

TABELA 4.10

PRECISÃO DO REGISTRO UTILIZANDO OS PONTOS DE CONTROLE ORIUNDOS
DOS MAPAS DA DSG E OS OBTIDOS NO CAMPO

PONTOS DE CONTROLE	ERRO INTERNO HORIZONTAL (METROS)	ERRO INTERNO VERTICAL (METROS)	ERRO INTERNO TOTAL (METROS)
Mapas da DSG	71,67	17,43	73,77
Trabalho de campo	20,40	17,58	25,59

Na análise da Tabela 4.10, observa-se que os pontos de controle obtidos no campo forneceram o menor erro interno total (25,59 metros), inferior a um pixel da imagem TM/LANDSAT. Este resultado era esperado, pois a determina-

ção de coordenadas obtidas no campo empregando técnicas geodésicas, além de contar com a precisão dos equipamentos que medem ângulos e distâncias (ítem 3.1.4), diversas correções são aplicadas no seu cálculo, entre elas a da refração atmosférica e curvatura da Terra no cálculo das distâncias da poligonal (Instrução Permanente H-28, BRASIL.MM.DHN, 1981i). Por sua vez, os mapas estão sujeitos a algumas imprecisões causadas pela deformação do papel, pelas restituições que os originaram, pela qualidade de "hardware" da mesa digitalizadora, pela calibração do mapa com a mesa, etc...

Araújo (1987) obteve um erro de cerca de 6150 pixels TM (184,7 km) após o registro de uma imagem TM com uma base cartográfica UTM, erro este que comprometeu consideravelmente a precisão cartográfica do seu produto. Este autor não especifica se a imagem CCT/TM possuía correções geométricas. Entretanto, este erro elevado, obtido após o registro, poderia ter sido atenuado caso tivesse sido executado um controle geodésico no terreno, na determinação das coordenadas dos pontos de controle utilizados no registro.

Foi escolhido, então, o arquivo registro utilizando os pontos de controle obtidos no campo. O programa, a partir deste ponto, criou a matriz de reamostragem de pixels e gerou a imagem de saída, utilizando o método de interpolação de pixels por convolução cúbica. Nesta fase são definidos os limites da imagem a ser registrada e o programa, de posse destes limites, gera um novo arquivo de referenciais para a imagem registrada, cujas principais características foram:

- Meridiano Central = 63°W;
- Datum horizontal = SAD-69;

- Coordenadas UTM do centro da imagem:
 $N = 9645006,813$ e $E = 837880,581$;
- Coordenadas UTM envolventes do módulo:
 $N_1 = 9634000$, $E_1 = 830000$ e $N_2 = 9654000$,
 $E_2 = 848000$;
- Número de colunas = 600, número de linhas = 660;
- Escalas: horizontal = 1:54857, vertical = 1:67142.

Observa-se que existem diferenças entre as coordenadas UTM do centro da imagem e as envolventes do projeto, citadas anteriormente a estas, obtidas após o registro.

O programa Display de Imagens do SITIM-150 permitiu a visualização da imagem registrada, na tela do monitor da UVI do sistema, e a Figura 4.4 é uma fotografia tirada da tela do monitor com esta imagem. A deformação da mesma na figura foi produzida pelo próprio programa, pois ela possuía um número de linhas e colunas superiores ao da tela, obrigando ao programa a compactá-la para permitir a sua visualização total. Esta deformação somente ocorre para fins de visualização, não afetando a imagem armazenada na memória do Sistema.



Fig. 4.44 - Imagens TM/LANDSAT, canal 4, registrada com a base cartográfica UTM utilizando os pontos de controle obtidos no campo.

Com a finalidade de verificar se após o registro, foi eliminado o problema de posicionamento intrínseco da imagem TM com correção geométrica (produzida pelo DGI/INPE), a mesma foi inserida no SIG e digitalizou-se o cais RoadWay de Manaus obtido do mapa da DSG MI-578/2. Esta feição, sobreposta na imagem, permitiu a verificação de que ela não sofrera nenhum deslocamento aparente em sua posição original. Este procedimento confirmou a eliminação do problema de posicionamento e a atenuação de sua imprecisão interna para 25,29 metros (erro médio quadrático total após o registro).

A partir dessa verificação, a imagem estava pronta para ser submetida ao pré-processamento com fins de eliminar ruídos na classificação executada a posteriori.

4.2.2 - PRÉ-PROCESSAMENTO DA IMAGEM REGISTRADA

No ambiente, do SITIM-150, com a finalidade de suavizar a área urbana de Manaus e preservar as bordas, na imagem registrada, e evitar ruídos que poderiam surgir na fase de tematização da imagem, foi utilizado o programa Filtragem Morfológica com o operador "mediana".

Em seguida, utilizando-se o programa Leitura de Pixel nos locais definidos no item 3.2.2.5, foram escolhidos melhores limiares para o fatiamento dos níveis de cinza da imagem, que foram:

- a) de 00 a 35 e de 36 a 255;
- b) de 00 a 39 e de 40 a 255;
- c) de 00 a 43 e de 44 a 255;
- d) de 00 a 48 e de 49 a 255.

Estes limiares foram testados na fase seguinte e escolhido aquele que permitiu a melhor separação água/terra.

4.2.3 - TRANSFORMAÇÃO DA IMAGEM REGISTRADA EM IMAGEM TEMÁTICA

A imagem depois dessa fase de pré-processamento, estava pronta para ser tematizada; foi então aplicado o

Fatiamento de Níveis de Cinza do SITIM-150 utilizando os limiares obtidos no ítem anterior.

A seleção do melhor limiar foi uma solução de compromisso, pois se a preservação das fronteiras água/terra nos canais principais dos rios Negro e Solimões era o fator mais importante nessa escolha, então, aquele que garantiu essa importância não pôde separar pequenos igarapés e outras feições pequenas como a pista do aeroporto de Ponta Pelada. O limiar escolhido foi o de 43/44, que gerou duas classes: 0-43 (água) e 44-255 (terra). A Tabela 4.11 fornece, após o fatiamento dos níveis de cinza, os limites inferior e superior de cada classe, o número de pontos, a área de cada classe em km² e a proporção ocupada na imagem temática.

TABELA 4.11

DADOS SOBRE AS CLASSES DA IMAGEM TEMÁTICA APÓS APLICAÇÃO
DO FATIAMENTO DOS NÍVEIS DE CINZA

CLASSE	LIMITE INFERIOR DE NC	LIMITE SUPERIOR DE NC	NÚMERO DE PONTOS	ÁREA (km ²)	PROPORÇÃO
Água	0	43	188.125	169,31	46,93%
Terra	44	255	212.742	191,47	53,07%

Em seguida, na imagem temática gerada, foi utilizado o programa Uniformização de Temas (UNITOT) do SITIM-150 (ítem 3.2.2.6) que eliminou alguns ruídos gerados na classificação. A Figura 4.45 mostra a imagem temática após a aplicação deste filtro.



Fig. 4.45 - Imagem temática após a aplicação do UNITOT.

No exame da Figura 4.45, percebe-se que ainda restaram alguns pontos ruidosos, como aqueles localizados na pista do aeroporto de Ponta Pelada. A classificação também não conseguiu detectar o furo do Paracuuba e a fronteira entre a costa e a ilha da Xiborena. Alguns pontos no canal do rio Solimões, causados por sombras de nuvens na imagem original, foram classificados como terra dando a impressão de que eram bancos de areia (assinalados com setas na figura).

A imagem a partir desta fase estava pronta para vetorizada no SIG.

4.2.4 - VETORIZAÇÃO DA IMAGEM TEMÁTICA

A imagem temática em formato "raster" obtida no item anterior foi introduzida no SIG. Em seguida foi submetida ao programa Transformação "Raster"/Vetor do módulo de conversão do SIG, que gerou uma imagem vetorizada suavizada com os contornos originados a partir das fronteiras entre as classes (água e terra) da imagem temática.

Após a fase de vetorização da imagem temática, foi novamente digitalizado, sobre a imagem, o cais RoadWay do mapa da DSG MI-578/2, e verificou-se que o mesmo não sofreu nenhum deslocamento aparente após a vetorização. Este procedimento foi executado em virtude do programa de Transformação "Raster"/Vetor do SIG não possuir, em sua versão atual, parâmetros que permitam avaliar uma provável ocorrência de erro com aplicação do algoritmo. Nesta fase, a imagem vetorizada foi considerada uma restituição, cuja exatidão cartográfica foi analisada a posteriori. Em seguida foi utilizado o programa Gera/Plota Carta do módulo de saída do SIG, que permitiu que a restituição fosse desenhada pela mesa traçadora do SIG, restituição esta que ainda necessitava do desenho de algumas feições não detectadas na fase de tematização da imagem registrada.

4.2.5 - DESENHO MANUAL DE FEIÇÕES SOBRE A RESTITUIÇÃO

As feições, representadas na carta náutica DHN-4107A, que não foram perfeitamente detectadas durante o processo de fatiamento de níveis de cinza, foram: pista do aeroporto de Ponta Pelada, fronteira entre a ilha da Xiborena e a sua costa, o furo do Paracuuba e o limite inundável de cheia da ilha dos Mouras (vide Figura 4.47).

Com a finalidade de representá-las na restituição, introduziram-se duas imagens do canal 4 TM/LANDSAT, em formato de transparências e com correções geométricas/UTM, no equipamento ótico de ajuste de escala, o PROCOM. As imagens eram de 19/12/87 (que foi utilizada na confecção da restituição) e 14/09/87 (imagem de final de cheia) órbitas-ponto 231.62D. A imagem de 14/09/87 foi utilizada apenas para determinar o limite inundável da ilha dos Mouras, em virtude da não disponibilidade de outras imagens de 1987 de períodos de cheia. Nessa fase do trabalho, foram eliminadas da restituição os detalhes traçados no canal fluvial oriundos das sombras de nuvens existentes na imagem, que poderiam suscitar uma falsa interpretação de que eram bancos de areia.

A Figura 4.46 é uma cópia da restituição obtida após esta fase do desenho das feições.



Fig. 4.46 - Restituição após o desenho manual das feições.

A restituição obtida pode ser comparada com o trecho da carta náutica DHN-4107A (segunda edição), constante da Figura 4.47.

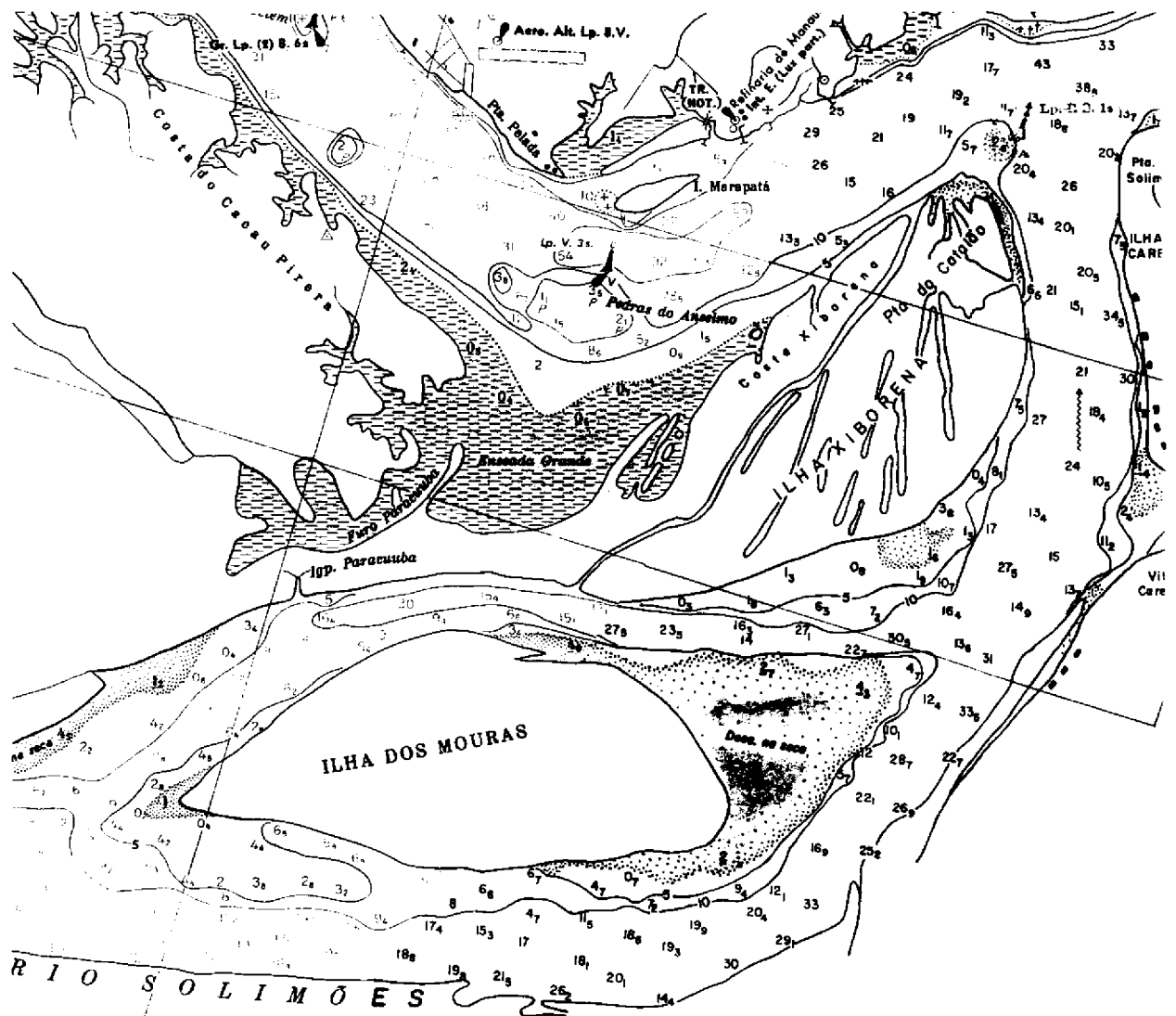


Fig. 4.47 - Trecho da carta náutica DHN-4107A.

FONTE: DHN (1979).

Fig. 4.47 - Trecho da carta náutica DHN-4107A.

FONTE: DHN (1979).

Através da comparação do contorno do trecho da área de estudo contido nas Figuras 4.46 e 4.47, observaram-se as seguintes diferenças:

- no contorno das ilhas dos Mouras, Marapatá e Xiborena;
- no contorno do furo do Paracuuba;
- no contorno dos lagos e paranás localizados na margem do rio Solimões;
- no contorno da costa do Cacau-Pereira do rio Negro.

Essas diferenças justificam a atualização da carta náutica, mas para isso, é necessário que a restituição esteja dentro dos padrões cartográficos estabelecidos na Tabela 2.1 do Capítulo 2. A precisão cartográfica da restituição foi calculada no item seguinte.

4.2.6 - ANÁLISE DA EXATIDÃO CARTOGRÁFICA

Os prováveis erros, que poderiam existir na restituição obtida, seriam os citados no item 3.2.2.9. O conjunto integrado desses erros deve possuir um padrão de exatidão cartográfica, no mínimo, compatível com a classe C de escala 1:100.000 citada na Tabela 2.1.

Na análise desses erros, as seguintes constatações foram feitas:

- O erro de localização no registro (E1) foi igual a 30 metros, que é a própria resolução espacial do sensor TM/LANDSAT;

- os erros de digitalização (E2) e os erros devido à qualidade do material utilizado (E8), caso ocorressem, são de difícil determinação, mas supõem-se, graças ao resultado obtido no registro da imagem TM com a base cartográfica, que foram mínimos e não afetaram a precisão do produto obtido;
- o erro de determinação das coordenadas dos pontos de controle no campo (E4), se ocorreu, estava dentro da precisão de uma poligonal geodésica de terceira ordem, por isto não afetou a qualidade da restituição;
- o erro devido ao deslocamento causado pelo imageamento do relevo (E3) foi pequeno, pois substituindo os valores seguintes valores: $H = 705$ km (altitude do sensor TM/LANDSAT), $h = 75$ m (ponto de maior altitude encontrado na imagem localizado próximo a sua borda), $d = 36,5$ km (distância radial a esse ponto de maior altitude), na Equação 3.1, encontrou-se o valor de 3,63 metros;
- o erro intrínseco da imagem CCT TM/LANDSAT com correção geométrica/UTM produzida pelo DGI/INPE (E5), após o registro da imagem com a base cartográfica, foi de 25,29 metros;
- os erros temático (E6) e devido a transformação "raster"/vetor (E7), no atual estado da arte dos Sistemas empregados, não puderam ser determinados. Entretanto, através da digitalização do cais RoadWay de Manaus sobre a imagem vetorizada, supõe-se que se eles ocorreram não afetaram a precisão cartográfica do produto;

- o erro devido ao datum horizontal (E9) não existiu, pois foi eliminado com a transformação de datum das coordenadas dos pontos de controle, de Córrego Alegre para SAD-69.

o erro total do produto, aplicando a Equação 3.1 é de:

$$\text{ERRO TOTAL} = \sqrt{(E1)^2 + (E3)^2 + (E5)^2}$$

$$\text{ERRO TOTAL} = 39,405 \text{ metros.}$$

O erro total obtido, correspondente à uma carta de escala 1:100.000, segundo a Tabela 2.1, em termos de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), permite a atualização de cartas planimétricas classe A o que possibilita então, a atualização de um trecho do contorno das partes emersas da carta náutica DHN-4107A.

Esse fato então, atesta a qualidade cartográfica do produto e a eficiência da metodologia aplicada. Fica comprovada a afirmação de Welch et al. (1985) sobre a qualidade cartográfica dos dados TM/LANDSAT e sobre a sua principal limitação na atualização de cartas de escalas maiores do que 1:100.000: resolução espacial de trinta (30) metros do sensor TM/LANDSAT.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES SOBRE O MONITORAMENTO DAS ALTERAÇÕES OCORRIDAS NA FORMA DO CANAL FLUVIAL DA ÁREA DE ESTUDO

Após a análise dos resultados alcançados no capítulo anterior, em relação ao monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial da área de estudo, algumas conclusões podem ser obtidas:

- 1) Dentro do trabalho em si, a metodologia aplicada e os resultados obtidos não puderam ser comparados com a bibliografia referenciada, devido as pesquisas realizadas em estudos geomorfológicos empregarem parâmetros de hidráulica do canal fluvial, parâmetros estes que não estavam disponíveis para a área de estudo. Por esta razão, a pesquisa concentrou-se na proposição e no teste de uma metodologia, empregando dados batimétricos e produtos de sensores remotos que realizasse um monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial, através de uma outra abordagem, diferente das clássicas, em termos de detectar as modificações ocorridas no trecho do canal fluvial estudado. Os resultados obtidos comprovaram a eficácia da metodologia empregada, permitindo que a mesma possa ser utilizada em futuros trabalhos sobre geomorfologia fluvial.
- 2) Foi possível detectar e localizar e, por vezes quantificar, diversas deposições de sedimentos e erosões ocorridas no trecho do canal fluvial. Os dados batimétricos inseridos no SIG/INPE e os pro-

duto de sensores remotos inseridos no SITIM-150/INPE, apoiados por dados de vazão, permitiram identificar alguns dos fenômenos envolvidos num trecho do canal do maior rio do planeta.

- 3) As modificações detectadas no trecho estudado do canal fluvial, no intervalo de 1976 a 1988, podem ser divididas em dois grupos: as que foram detectadas utilizando os dados batimétricos no SIG/INPE e as que foram detectadas através do processamento de imagens digitais de sensores remotos no SITIM-150/INPE. Dentre aquelas que foram detectadas no SIG/INPE estão: o crescimento do banco da Conceição; o entalhamento do canal junto à margem esquerda da ilha do Barroso; a erosão do banco de areia adjacente à ilha do Barroso; as diversas modificações de profundidades ocorridas tanto nos modelos digitais de batimetria da ilha do Barroso como nos da ilha dos Mouras; o crescimento do banco a jusante da ilha dos Mouras; o surgimento do banco de areia adjacente à margem direita das ilhas da Xiborena e dos Mouras e a erosão da margem direita do canal fluvial nas proximidades desta ilha. Dentre aquelas que foram detectadas no SITIM-150/INPE estão: deposição de sedimentos na margem direita do canal fluvial nas proximidades da ilha da Paciência; migração de bancos de areia adjacentes às ilhas da Paciência e Muratu; crescimento dos bancos de areia a jusante das ilhas dos Mouras e Maria Antônia; surgimento de bancos de areia à direita das margens das ilhas da Xiborena e dos Mouras e o crescimento do banco da Conceição.

- 4) Ficou comprovado que o uso do Sensoriamento remoto, no estudo de monitoramento de formas de canais

fluviais, deve estar apoiado por outros dados para obter a necessária confiabilidade. Entre esses dados estão:

- dados de vazão diária da área estudada ou de altura da lâmina d'água obtidos de réguas fluviométricas;
 - dados batimétricos precisos que realizem uma verdadeira "radiografia" do leito fluvial, isto é, esses dados não devem possuir áreas não sondadas. No caso da pesquisa, não foi possível analisar a área compreendida pelo paraná do Barroso;
 - dados de sedimentos do canal fluvial, tais como: descarga dos mesmos, análise granulométrica, velocidade de queda, etc... e, medições de velocidade e de direo da corrente fluvial, que não estavam disponíveis por ocasião da pesquisa, mas caso houvesse esta disponibilidade, poderiam ter apoiado conclusões sobre as forças hidrodinâmicas que atuam no canal fluvial.
- 5) Em estudos desta natureza, deve se ter cuidado na utilização de mapas, principalmente os mais antigos, devendo sempre ser verificado a sua exatidão cartográfica, pois caso contrário, quaisquer comparações feitas com os mesmos podem ficar comprometidas. Em se tratando da região amazônica, onde essa carência é mais crítica e os canais fluviais estão em constante ajustagem, as dificuldades nesse tipo de análise tornam-se mais acentuadas.
- 6) Os dois principais aspectos limitantes na seleção dos produtos de sensores remotos utilizados na

pesquisa foram: cobertura de nuvens e resolução temporal dos sensores MSS/TM/LANDSAT, que impediram o imageamento nos dias em que ocorreram os mínimos das vazantes do rio Solimões na área de estudo. Tal fato limitou o monitoramento, por Sensoriamento Remoto, das modificações ocorridas no canal fluvial.

5.2 - CONCLUSÕES SOBRE A ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DE UM TRECHO DA CARTA NÁUTICA DHN-4107A

Após a análise dos resultados alcançados no capítulo anterior, em relação a atualização cartográfica de um trecho da carta náutica da área de estudo, algumas conclusões podem ser obtidas:

- 1) A metodologia proposta, para atualização do contorno das partes emersas de um trecho da carta náutica da área de estudo, mostrou-se eficaz, viabilizando a utilização de dados CCT TM/LANDSAT com correção geométrica na projeção UTM, produzida pelo Departamento de Geração de Imagens (DGI) do Instituto de Pesquisas Espaciais, como fontes de atualização cartográfica de alto nível e por um custo relativamente baixo, comparando com restituições obtidas a partir de fotografias aéreas.
- 2) A imagem TM utilizada, juntamente com o controle geodésico realizado durante o trabalho de campo, proporcionou um erro total de 39,405 metros, permitindo que a restituição obtida estivesse compatível com a classe A, em termos de Padrão de Exatidão Cartográfica para uma escala de 1:100.000. A precisão poderia ser melhorada, caso houvesse a possibilidade na determinação de um maior número de coor-

denadas de pontos de controle. Essa metodologia proposta permite, então, a atualização de contornos de partes emersas de cartas náuticas fluviais e marítimas, sendo útil para locais onde um recobrimento aerofotogramétrico for problemático e se necessitar de atualizações cartográficas constantes, tais como: rios (em particular da região amazônica), costas antárticas, estuários, lagunas costeiras, bancos costeiros, etc, i.e. áreas com atividades sedimentares dinâmicas.

5.3 - SUGESTÕES

- 1) Fica a sugestão para que a Diretoria de Hidrografia e Navegação generalize o método proposto e o teste conclusivamente, definindo em que condições pode adotá-lo. E, em face das necessidades da Diretoria, faça escolha da melhor época para utilizar as imagens com vista às atualizações cartográficas.
- 2) Em termos de "hardware" do SIG/INPE e do SITIM-150/INPE, fica a sugestão para ligar estes Sistemas em rede com computadores de médio ou grande porte. Isto possibilitaria, dentre inúmeras coisas, a execução de correções geométricas em uma cena TM/LANDSAT por inteiro e a sobreposição de maior número de planos de informação.
- 3) O programa de conversão de formato "raster"/vetor existente no SIG que encontra-se em fase final de desenvolvimento, trabalhe com imagens de bordas detectadas. Tal fato, na produção de restituições feitas a partir de dados de sensores orbitais, eliminaria as fases de tematização das imagens e o desenho manual de feições degradadas durante a fase de classificação, tornando o processo totalmente automático.

- 4) A produção em nível comercial, por parte do DGI/INPE, de uma imagem digital HRV/SPOT com correção geométrica na projeção de Mercator, resolução espacial de dez metros e visada vertical, com o controle geodésico realizado no campo utilizando rastreadores-satélite de alta precisão para determinar coordenadas de um número suficiente de pontos de controle, permitiria a produção de restituições com precisão superior à obtida neste trabalho, que poderiam ser utilizadas na atualização cartográfica de cartas náuticas com escalas maiores que 1:100.000.
- 5) O método proposto, principalmente no monitoramento das alterações ocorridas na forma do canal fluvial, apesar de não ter tido o objetivo de analisar geomorfologicamente essas alterações, forneceu um potencial considerável nessa área do conhecimento humano. A sugestão proposta é que os geomorfólogos fluviais aplique esse método, juntamente com os métodos clássicos, lançando luz no estudo dos nossos rios.
- 6) Nas prováveis pesquisas que possam se suceder a esta, em relação ao monitoramento das alterações ocorridas nas formas dos canais fluviais utilizando produtos digitais de sensores remotos, e em que exista uma carência de dados batimétricos, então, as imagens multitemporais selecionadas devem abranger períodos de vazante com a mesma altura fluviométrica de lâmina d'água. Com este procedimento pode-se evitar a influência da lâmina d'água nas conclusões a serem obtidas sobre a forma do canal fluvial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, W.S.; SAUSEN, T.M.; FELGUEIRAS, C.A. Study of the fluvial dynamic in a Solimões river section, by digital processing of Landsat image and cartographic data in the Geographic Information System. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 12., Vancouver, July 9-12, 1989, 16 p. Paper submetido ao Comitê de seleção do IGARSS'89.
- ANDREWS, E.D. Bank stability and channel width adjustment, East Fork river, Wyoming. Water Resources Research, 18(4):1184-1192, 1982.
- ARAÚJO, C.A.G. Uma aplicação da cartografia digital na atualização temática de cartas de média e pequena escala utilizando dados orbitais. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1987. 151 p. (INPE-4460-TDL/317).
- BAKER, V.R.; HOLE, R.K.; HULKE, S.D. A hydrogeomorphic approach to evaluating flood potential in Central Texas from orbital and suborbital remote sensing imagery. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., Apr. 15-19, 1974. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1974, v. 1, p. 629-637.
- BANON, G. Processamento digital de imagens; notas de curso. São José dos Campos, INPE, 1987.
- BERNSTEIN, R. Image geometry and rectification. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Remote Sensing, 2. ed. Falls Church, VA, ASP, 1983. v. 1. cap. 21, p. 873-922.

- BLUNTSCHLI, H. A amazônia como organismo harmônico.
Cadernos da Amazônia, 1:1-37, 1984. Original em alemão.
- BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Caderneta da carta 4107A. Niterói, 1979a, 23 p.
- _____. Carta náutica DHN-4107A. 1 ed. e 2. ed., Niterói, 1979b.
- _____. Dados pluviométricos das estações de Manacapuru e Manaus (AM) de 1973-1987. Niterói, 1987.
- _____. Folhas de Bordo 4107A-001/76, 4107A-002/76, 4107A-001/82, 4107A-001/84, 4107A-001/85, 4107A-001/88. Niterói. Comissão de Levantamentos da Amazônia (COLAM). 1988.
- _____. Manual de Instruções Permanentes; H-8 Verificações e retificações do teodolito WILD T2. Niterói, 1981a. 5 p.
- _____. Manual de Instruções Permanentes; H-9 Medições Angulares. Niterói, 1981b. 13 p.
- _____. Manual de Instruções Permanentes; H-10 Interseções. Niterói, 1981c. 4 p.
- _____. Manual de Instruções Permanentes; H-12 Critérios para redução de sondagens do efeito da maré e aproximação das profundidades para representação ns folhas de bordo. Niterói, 1981d. 4 p.

BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Manual de Instruções Permanentes; H-16 Correção das sondagens devido a variação da velocidade do som na água. Niterói, 1981e. 4 p.

_____. Manual de Instruções Permanentes; H-17 Medição eletrônica de distâncias. Niterói, 1981f. 4 p.

_____. Manual de Instruções Permanentes; H-18 Instalação e operação dos equipamentos Motorola MRS e MRS III. Niterói, 1981g. 6 p.

_____. Manual de Instruções Permanentes; H-24 Elementos para construção e atualização das cartas náuticas e das publicações de segurança da navegação. Niterói, 1981h. 10 p.

_____. Manual de Instruções Permanentes; H-28 Montagem e operação do telurômetro MRA-5. Niterói, 1981i, 6 p.

_____. Manual de Hidrografia; Sondagem. Niterói, 1981j. 369 p., cap. L-5-XXIII.

_____. Relatórios dos levantamentos hidrográficos da carta 4107A nº 006/76, 001/82, 001/84, 001/85. Niterói, Comissão de Levantamentos da Amazônia (COLAM), 1985.

_____. Mapas topográficos MI-578/1, MI-578/2, MI-579/1, MI-579/2, escala 1:50.000. Manaus, Quarta Divisão de Lavantamentos, 1980.

- BRITO, J.L.N.S. Proposta de metodologia para classificação de documentos cartográficos. Revista Brasileira de Cartografia, sv(41):27-42, jan. 1987.
- BURROUGH, P.A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. New York, NY, Oxford University, 1986. 193 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1974. 150 p.
- _____. Geomorfologia fluvial. São Paulo, Edgar Blütcher, 1983. v. 1.
- COLVOCORESS, A. Image mapping with Thematic Mapper. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(9): 1499-1505, Sept. 1986.
- D'ALGE, J.C.L. Qualidade geométrica de imagens TM do LANDSAT-5. Congresso Brasileiro de Cartografia, 13., Brasília, jul. 1987. 16 p. (Paper).
- DEIMEL JR., L.E.; FORNARO, R.S.; McALLISTER, D.F. Techniques for computerized lake and river fills in digital terrain models. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(9):1431-1436, Sept. 1982.
- DOYLE, F.J. Digital terrain models: an overview. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 44(12): 1481-1485, Dec. 1978.
- ENGESPAÇO. Manual do Usuário do Sistema de Tratamento de Imagens, SITIM-150. São José dos Campos, 1987.

ENGESPAÇO. Manual do Usuário do Sistema de Informações Geográficas. São José dos Campos, 1987.

ERTHAL, G.J. Conversão varredura-vetor para dados poligonais. São José dos Campos, INPE. 1988. 10 p. (INPE-4558-PRE/1299).

_____. Registro translacional de imagens: métodos correlacionais e seqüenciais. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, 1985. 120 p. (INPE-3456-TDL/189).

EYTON, J.R. Landsat multitemporal color composites. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(2): 231-235, Feb. 1983.

FELGUEIRAS, C.A. Desenvolvimento de um sistema de modelagem digital de terreno para microcomputadores. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, 1987. 243 p. (INPE-4406-TDL/303).

GRAÇA, L.M.A. A concept for automatic change detection in revision of topographic maps by means of digital image procesing and pattern recognition techniques. Enschede, International Institute of Aerospace Survey and Earth Sciences, 1987. 89 p.

GREEN, A.A.; WHITEHOUSE, G.; OUTMET, O. Causes of flood streamlines observed on Landsat images and their use as indicators of floodways. International Journal Remote Sensing, 4(1):5-16, Feb. 1983.

HALLBURG, G.R.; HAYER, B.E.; RANGO, A. Application of ERTS-1 imagery to flood inundation mapping. In: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM ERTS-1, Mar. 5-9, 1973. Abstracts. Greenbelt, MD, NASA/GSFC, 1973. p. 78.

HOLEMAN, J.N. The sediment yield of major rivers of the world. Water Resources Research, 4(4):737-747, Aug. 1968.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados de precipitação da estação pluviométrica de Manacapuru (AM), de 1973 a 1985. Brasília, 1985.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Departamento de Processamento de Imagens. Sistema de Tratamento de Imagens I-100, manual do usuário. São José dos Campos, Nov. 1985.

INSTITUTO ORSTOM. Dados de vazão da estação fluviométrica de Manacapuru (AM) de 1973 a 1987. Paris, 1987.

LIEGE, F.P. The relations between shear stress and the shapping of the bed of a pebble-loaded river La Rulles-Ardenne. An Interdisciplinary Journal of Soil Science, Hidrology, Geomorphology, 14:453-468, 1987.

MACHADO E SILVA, A.J.F.; II, F.A.M.; CÂMARA NETO, G.; SERRA, P.R.M.; SOUZA, R.C.M. Estudo da qualidade geométrica das imagens MSS/Landsat. São José dos Campos, INPE, 1988. 16 p. (INPE-4653-PRE/1360).

MARBLE, D.F.; PEUQUET, D.J. Geographic information systems and remote sensing. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Remote Sensing, 2. ed. Falls Church, VA, ASP, 1983. v. 1. cap. 22. p. 923-937.

- MARKS, D.; DOZIER, J.; FREW, J. Automated basin delineation from digital terrain data. Washington, DC, NASA/GSFC, 1983. 15 p. (NASA-TM-84984).
- MEADE, R.H.; DUNNE, T.; RICHEY, J.E.; SANTOS, U.M.; SALATI, E. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon river of Brasil. Science, 228(4698):488-490, Apr. 1985.
- MEIRELES, D.S. Aplicação da técnica de sensores remotos na hidrografia com ênfase à batimetria. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1980. 239 p. (INPE-1673-TDL/013).
- MERTES, L.A.K. Floodplain development and sediment transport in the Solimões-Amazon river, Brazil. Thesis of Master of Science in Geological Sciences. Washington, DC, University of Washington, Dec. 1985. 108 p.
- MORISAWA, M. Streams: their dynamics and morphology. New York, NY, McGraw-Hill, 1968. 166 p.
- MORRISON, R.B.; COOLEY, M.E. Assessment of flood damage in Arizona by means of ERTS-1 imagery. In: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM ERTS-1, Mar. 5-9, 1983. Abstracts. Greenbelt, MD, NASA, 1973. p. 753.
- NIERO, M.; PINTO, S.A.F.; MARTINI, P.R.; ANDRADE, G.B. Aplicação de dados multitemporais do Landsat no acompanhamento da variação da lâmina d'água na área do programa Careiro/PDRK-AM. São José dos Campos, INPE, 1984. 56 p. (INPE-3176-RTR/055).

- NOVO, E.M.L.M.; GODOY JR., M. Geomorfologia; modelos digitais de terreno e sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 1985. 42 p. (INPE-3581-PRE/782).
- ORTI, F. Optimal distribution of control points to minimize Landsat image registration errors. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47(1):101-110, Jan. 1981.
- PARKER, D.E.; LEE, G.B.; MILFRED, C.J. Floodplain delineation with pan and color. Photogrammetric Engineering, 36(7-12):1059-1063, 1970.
- PETTINATTI, F. Modelamento digital e representação gráfica de superfícies. Dissertação de Mestrado em Engenharia. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1983. 135 p.
- PHILIPSON, W.R.; HAFKER, W.R. Manual versus digital Landsat analysis for delineating river flooding. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47(9):1351-1356, Sept. 1981.
- PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M.; ROSA, R. Utilização de dados multitemporais para a identificação de setores da planície fluvial sujeitos à inundação. São José dos Campos, INPE, 1985. 25 p. (INPE-3445-PRE/699).
- RICHARDS, J.A. Remote sensing digital image analysis, and introduction. Berlim, Spring-Verlag, 1986. 281 p.
- RICHEY, J.E.; RIBEIRO, M.N.G. Element cycling in the Amazon basin: a riverine perspective. In: DICKINSON, R.E. The Geophysiology of Amazonia - vegetation and climate interactions. New York, NY, John Wiley, 1987. 526 p. cap. 13.

- RICHEY, J.E.; MEADE, R.H.; SALATI, E.; DEVOL, A.H.; NORDIN JR., C.F.; SANTOS, U. Water discharge and suspended sediment concentrations in the Amazon river: 1982-1984. Water Resources Research, 22(5):756-764, May 1986.
- SALO, J.; KALLIOLA, R.; HAKKINEN, I.; MAKINEN, Y.; VIEMELA, P.; PIFAKKA, M.; COLEY, P.D. River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. Nature, 322(6076):254-258, 1986.
- SAZAMONOWICZ, P.H. Satellite orientation and position for geometric correction at scanner imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(4): 491-499, Apr. 1986.
- SCHOWENGERDT, R.A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Orlando, FL, Academic, 1983. 249 p.
- SERRA, P.R.M. Geração de imagens TM/Landsat em fitas compatíveis com computadores geometricamente corrigidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 13., Brasília, jul. 1987. Anais. 13 p. (Paper).
- SIMONS, D.B.; SENTURK, F. Sediment transport technology. Fort Collins, CO, Water Resources Publications, 1976. 808 p.
- SOARES, L.C. Hidrografia. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Geografia do Brasil - Região Norte. Rio de Janeiro, 1977. 462 p. p. 95-155.

- SOLER, T. Differential transformations between cartesian and curvilinear coordinates. Ohio, The Ohio State University, 1976. 82 p. p. 4-22.
- SOLLERS, S.C.; PETTERSEN, G.W.; HENNINGER, D.L.; BORDEN, F.Y. The use of remote sensing and natural indicators to delineate floodplain. Preliminary findings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., Apr. 15-19, 1974. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1974. v. 1. p. 667-681.
- STOW, D.A.; ESTER, J.E. Landsat and digital terrain data for country-level resource management. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47(2):215-222, Feb. 1981.
- SWAIN, P.H. Remote sensing: the quantitative approach. New York, NY, McGraw-Hill, 1978. cap. 5, p. 252-265.
- WALKER, R.E.; ZOBRIST, A.L.; BRYANT, N.A.; BOHKMAN, B.; FRIEDMAN, S.Z.; LOGAN, T.L. An Analysis of Landsat-4 Thematic Mapper geometric properties. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-22(3):188-293, May 1984.
- WELCH, R.A. Integration of photogrammetric, remote sensing and database technologies for mapping applications. Photogrammetric Record, 12(70):409-428, Oct. 1987.
- WELCH, R.A.; USERY, E.L. Cartographic accuracy of Landsat-4 MSS and TM image data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-22(3):281-288, May 1984.

- WELCH, R.A.; JORDAN, T.R.; EHLERS, M. Comparative evaluations of the geodetic accuracy and cartographic potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper image data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(9):1249-1262, Sept. 1985.
- WELCH, R.A.; REMILLARD, M.M.; SLACK, R.B. Remote sensing and geographic information system techniques for aquatic resource. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(2):175-185, Feb. 1988.
- WOLF, P.R. Elements of photogrammetry. 2. ed. New York, NY, 1983. 628 p.
- WRIGLEY, R.C.; CARD, D.H.; HLAVKA, C.A.; HALL, J.; MERTZ, F.C.; ARCITWAMETY, C.; SCHOWENGERDT, R.A. Thematic Mapper image quality: registration, noise and resolution. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-22(3):263-271, May 1984.
- WRIGLEY, R.C.; HLAVKA, C.A.; CARD, D.H.; BUIS, J.S. Evaluation of Thematic Mapper interband registration and noise characteristics. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(9):1417-1425, Sept. 1986.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, J.E. The use of LANDSAT-4 MSS digital data temporal data sets and the evaluation of scene-to-scene registration accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(4):457-462, Apr. 1985.
- ANDRADE, L.A. Metodologia para a confecção de mapas temáticos utilizando dados TM/LANDSAT. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 1986. 137 p. (INPE-3893-TDL/225).
- BORGESON, W.T.; BATSON, R.M.; KIEFFER, H.H. Geometric accuracy of LANDSAT-4 and LANDSAT-5 Thematic Mapper images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(2):1893-1898, 1985.
- BRYANT, M.A.; ZOBRIST, A.L.; WALKER, R.E.; GOKHMAN, B. An analysis of LANDSAT Thematic Mapper P-Product internal geometry and conformity to Earth surface geometry. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(9):1435-1445, Sept. 1985.
- COLE, J.P.; KING, C.A.M. Quantitative geography - techniques and theories in geography. London, John Wiley, 1968, 692 p.
- CUSHNIE, J.L.; ATKINSON, P. Effect of Spatial filtering on scene noise and boundary detail in Thematic Mapper imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(9):1483-1493, Sept. 1985.
- DAVY, B.W. Entropy concepts in fluvial geomorphology: A reevaluation. Water Resources Research, 15(1):103-106, Feb. 1979.

- EBERLEIN, R.B. An iterative gradient edge detection algorithm. Computer Graphics and Image processing, 5(3):245-253, Sept. 1976.
- ERTHAL, G.J.; ALVES, D.S.; CÂMARA NETO, G. Modelos de dados geo-relacionais; uma visão conceitual de um sistema geográfico de informações. São José dos Campos, INPE, 1988. 10 p. (INPE-4612-PRE/1335).
- ERTHAL, G.J.; CÂMARA NETO, G.; ALVES, D.S. A general data model for geographic information systems. São José dos Campos, 1988. 10 p. (INPE-4560-PRE/1302).
- ERTHAL, G.J.; OLIVEIRA, M.O.B.; FELGUEIRAS, C.A.; CÂMARA NETO, G.; PAIVA, J.A.C. O banco de dados geográficos do INPE. São José dos Campos, INPE, 1988. 8 p. (INPE-4636-PRE/1348).
- FELGUEIRAS, C.A.; ERTHAL, G.J.; DIAS, L.A.V. A digital terrain model system for a microcomputer. São José dos Campos, INPE, 1988. 9 p. (INPE-4610-PRE/1333).
- FORD, G.E.; ZANELLI, C.I. Analysis and quantification of erros in the geometric correction of satellite images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(11): 1725-1734, Nov. 1985.
- FRIEDMANN, D.E.; FRIEDEZ, J.P.; MAGNOSSEN, K.L.; KNOWK, R.; RICHARDSON, S. Multiple scene precision rectification of spaceborne imagery with very few ground control points. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(12):1657-1667, Dec. 1983.
- GENERAL ELETRIC (GE). Image 100 manual do usuário. Daytona Beach, FL, 1985.

- GIBBS, R.J. Amazon rivers: environmental factors that control its dissolved and suspend load. Science, 156(1): 731-734, 1967.
- GOODENOUGH, D.G. Thematic Mapper and Spot integration with a geographic information system. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(2):167-176, Feb. 1988.
- GRAF, W.L. Channel instability in a bradeid, sand bed river. Water Resources Research, 17(4):1087-1094, Aug. 1981.
- HARDY, J.R. Geometric quality of Thematic Mapper data of the United Kingdom. In: SOCIETY OF PHOTOOPTICAL INSTRUMENTS ENGINEERS. Earth remote sensing using the Landsat Thematic Mapper and Spot sensor systems.. Bellingham, WA, SPIE, 1986. p. 18-24.
- JUNK, W.J. Amazônia, desenvolvimento, integração, ecologia. São Paulo, Brasiliense, 1983. p. 45-100.
- LISLE, T.E. Effects of agradation and degradation on riffle-pool morphology in natural grevel channels, northwestern California. Water Resources Research, 18(6):1643-1651, Dec. 1982.
- MOSLEY, M.P. Analisis of the effect of changing discharge on channel morphology and instream uses in a bradeid river, Ohau River, New Zeland. Water Resources Research, 18(4):800-812, Aug. 1982.
- PROJETO RADAMBRASIL: Folha SA-20. Rio de Janeiro, DNPM. Programa de Integração Nacional e Levantamento de Recursos Naturais. v. 18, cap. 2, p. 185-222, 1978.

RICHARDS, K.S. A note on changes in channel geometry at tributary junctions. Water Resources Research, 16(1):241-244, Feb. 1980.

SALATI, E. The climatology and hidrology of Amazonia. In: GRILLEANT, T.P.; LOVEJOY, T.E. Key Environments Amazonia. Oxford, Pergamon, 1986. 69 p.

SOLI, H. Amazônia e fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Petrópolis, Vozes, 1985. 72 p., p. 12-32.

VILLELA, S.M.; MATOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 236 p.

YANG, C.T. Potential energy and stream morphology. Water Resources Research, 7(2):311-322, Apr. 1971.