



AUTORES / AUTHORS
Lago Açú
Imagens LANDSAT
Impacto da Ação Antrópica

PALAVRAS CHAVES / KEY WORDS

AUTORIZADA POR / AUTHORIZED BY
Luis Elyvan Meira Fº
Coordenador Geral da
Observação da Terra

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR
Tania Maria Sausen
Tania Maria Sausen

DISTRIBUIÇÃO / DISTRIBUTION
 INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY
Valdete Duarte
Valdete Duarte

CDU/UDC
528.711.7:639.2

DATA / DATE
ABRIL 1991

TÍTULO / TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO INPE-5020-RPE/614
	IMPACTO DA AÇÃO ANTRÓPICA NA BACIA DO LAGO AÇÚ (MA) ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT
AUTORES / AUTHORSHIP	Tania Maria Sausen Kleber de Faria

ORIGEM
ORIGIN
COT

PROJETO
PROJECT
ATCOT

Nº DE PAG.
NO OF PAGES
75

ULTIMA PAG.
LAST PAGE
70

VERSÃO
VERSION

Nº DE MAPAS
NO OF MAPS
03

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Em dezembro de 1987 houve uma alta mortandade de peixes no Lago Açú, causando grande preocupação as autoridades na região encarregada do meio Ambiente. O objeto deste estudo é uma análise multitemporal para avaliar os efeitos da ação antrópica e de alguns fatores naturais na degradação ambiental da bacia do lago Açú, correspondentes aos canais MSS 5 e 7 e aos canais TM 3 e 4, dos períodos de cheia e vasantes, nos anos de 1975, 1981, 1985, 1987 e 1989 foram analisados, considerando-se a rede de drenagem e a evolução do uso do solo na bacia.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Trabalho apresentado no 6º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto em Manaus, AM, em 1990.

ABSTRACT

In december, 1987 there was a very high fish mortality in the Açú Lake, motivating concern in the regional authorities encarge about the environment. The objetctive of this study is a multitemporal analysis to evaluet the antropic action effects and some natural factors in the environmental de gradation in the Lake Açú watershed using LANDSAT/MSS-TM image. Multiespectral images corresponding to bands MSS 5 and 7 and to bands TM 3 and 4, of low water and high water periods, in the years of 1975, 1981, 1985, 1987 and 1989 were analysed considering the drainage network and the land use evolution in the watershed.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS ...	2
3 MATERIAIS E MÉTODOS	6
3.1 - Descrição dos materiais	6
3.1.1 - Imagens LANDSAT	6
3.1.2 - Equipamentos	8
3.1.3 - Dados de precipitação	9
3.1.4 - Dados bibliográficos e cartográficos	9
3.2 - Metodologia	10
3.2.1 - Seleção de imagens	13
3.2.2 - Levantamento de bibliografia, dos documentos cartográficos e dos dados de precipitação ...	14
3.2.3 - Caracterização da rede de drenagem	14
3.2.4 - Caracterização do uso de solo na bacia	16
3.2.5 - Trabalho de verificação de campo	18
3.2.6 - Mapa de isolinhas	18
3.2.7 - Integração dos dados	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
4.1 - Uso do solo	20
4.2 - Precipitação na área de estudo	38
4.3 - Dinâmica do sistema Lago Açú	43
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	67
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Localização da área de estudo - Lago Açú	3
2 - Esboço geomorfológico da bacia do Lago Açú	4
3 - Esboços de solos e geológico da área de estudo ...	5
4 - Mapeamento de áreas prováveis de produção de sedi- mentos através de imagens de satélite	22
5 - Módulo da imagen LANDSAT/TM, de 11 de novembro de 1987 da bacia do sistema Lago Açú	23
6 - Vista aérea da bacia do Lago Açú, vendo-se as áreas desmatadas por ocupação antrópica	23
7 - Representação esquemática da expansão das "Áreas Prováveis de Produção de sedimentos", no período de 1975 a 1987	26
8 - Área de pastagens na bacia do Lago Açú, mescladas com babaçu	30
9 - Áreas de babaçu na bacia do sistema Lago Açú.....	31
10 - Áreas de queimadas na bacia do Lago Açú - 11 de no- vembro de 1987	33
11 - Mapa hipsométrico da bacia do Lago Açú	35
12 - Bloco diagrama da área de estudo, bacia do Lago Açú - MA	37
13 - Distribuição dos postos pluviométricos e órbitas/ pontos das passagens do satélite LANDSAT sobre a região do vale do Mearim - MA	39
14 - Rede de drenagem do sistema Lago Açú - 31 de julho de 1975	44
15 - Rede de drenagem do sistema Lago Açú - 24 de maio de 1981	45
16 - Rede de drenagem do sistema Lago Açú - 11 de novem- bro de 1985	46
17 - Rede de drenagem do sistema Lago Açú - 17 de junho de 1986	48
18 - Rede de drenagem do sistema Lago Açú - 11 de novem- bro de 1987	50
19 - Vista aérea do Lago Açú com a presença de vegeta- ção aquática	51
20 - Composição colorida, imagem TM/LANDSAT, canais 2, 3 e 4, do sistema Lago Açú	52
21 - Mapeamento de áreas prováveis de produção de sedi- mentos através de imagens de satélite	54

	<u>Pág.</u>
22 - Vegetação de aguapés no Lago Açú	55
23 - Vegetalão de aninga no Lago Açú	56
24 - Sobreposição de duas datas de passagem do Satélite LANDSAT (17 de junho de 1986 - 11 de novembro de 1987)	62
25 - Classes de tonalidade de cinza na superfície do Lago Açú - Período de Cheia - 17 de junho de 1986	64
26 - Classes de tonalidade de cinza na superfície do Lago Açú - Período de Vazante - 11 de novembro de 1987	66

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Imagens LANDSAT utilizadas no trabalho	7
2 - Total de hectares financiados pela agência Bacabal do Banco do Brasil	28
3 - Extensão da lâmina d'água do sistema Lago Açú <u>en</u> tre 1975 e 1989	59

1 INTRODUÇÃO

Em dezembro de 1987 foi constatada uma mortandade generalizada de peixes no Lago Açú, tendo sido apontadas várias causas como responsáveis por este fenômeno (Netto et alii, 1988).

Através da "Síntese do Relatório de impacto Ambiental na Bacia do Lago Açú", executado pela secretaria de Minas e Energia e Meio Ambiente (SMEMA) do Governo do Estado do Maranhão, foi sugerido que:

- a morte generalizada de peixes no Lago Açú, é decorrência do processo acelerado de sedimentação do lago.
- a diminuição da espessura da lâmina d'água do lago é mais acentuada nos períodos de estiagem prolongadas, como a que ocorreu no final de 1987.
- o lago está localizado em região de formações recentes do quaternário onde predominam os aluviões, indicando assim, ser uma área de deposição.
- o relevo é de planície flúvio-lacustre, com muito pouca declividade, o que favorece a deposição dos sedimentos trazidos pelos rios.
- na bacia do lago houve desmatamento para a implantação de lavouras itinerantes e pastagens.
- os lagos Carnaúba e Verde, interligados ao Lago Açú, estão sofrendo o mesmo processo de sedimentação.

Em função do exposto foi solicitado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais que executasse em 1988 um Relatório Emergencial Preliminar sobre a bacia do Lago Açú. Neste relatório chegou-se a conclusão de que além dos fatores ambientais da região, a ação antrópica na bacia é um elemento fundamental nos processo de degradação que vem ocorrendo no lago.

Assim passou-se a uma segunda etapa, onde foram feitas análises mais detalhadas da região que deram origem a este relatório.

Portanto, este estudo tem como objetivo fazer uma análise multitemporal da bacia do Lago Açú com vista a caracterizar o impacto da ação antrópica e de alguns fatores naturais, na degradação ambiental verificada na mesma, através de dados do satélite LANDSAT.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

O Lago Açú está localizado entre as coordenadas de $30^{\circ}45'$ a $30^{\circ}51'$ de latitude Sul e $44^{\circ}51'$ a $44^{\circ}51'$ de longitude Oeste, na micro-região homogênia Baixada Ocidental Maranhense, nos municípios de Vitória do Mearim e Pio XII (Figura 1).

A área de estudo apresenta um clima do tipo tropical com chuvas de verão e outono (AW), com períodos de estiagem de 4 a 5 meses.

Os índices pluviométricos anuais são em torno de 2000 mm, com as máximas ocorrendo em março e abril (350 e 380 mm) e as mínimas em julho e agosto (24 a 26 mm).

Os períodos de evaporação mais significativos ocorrem entre janeiro e julho com índices de 160mm/mês e entre outubro e novembro,, com índices de 200mm/mês.

Nos meses de novembro, dezembro e janeiro ocorre a seca agrícola ou veranico, que corresponde aos períodos prolongados de estiagens que antecedem o início das chuvas (SMEMA, 1988).

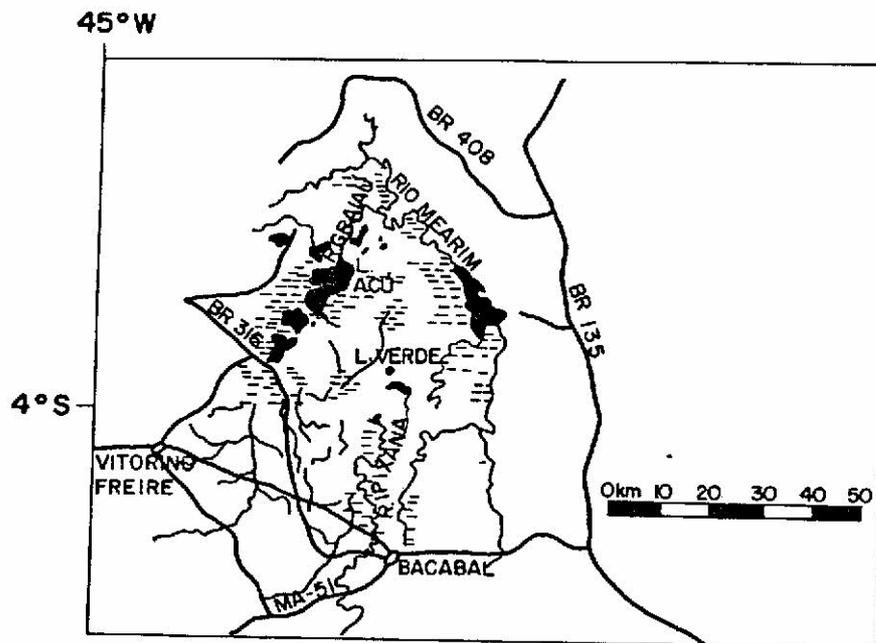


Fig. 1 - Localização da área de estudo - Lago Açú.

De acordo com o relatório do RADAM, a bacia do Lago Açú é composta por terrenos sedimentares terciários (arenitos e argilosos) e quaternários (aluviões, cascalhos, areias e argilas), com altitudes que não ultrapassam os 50 metros, caracterizando-se por uma área típica de deposição (Figura 2).

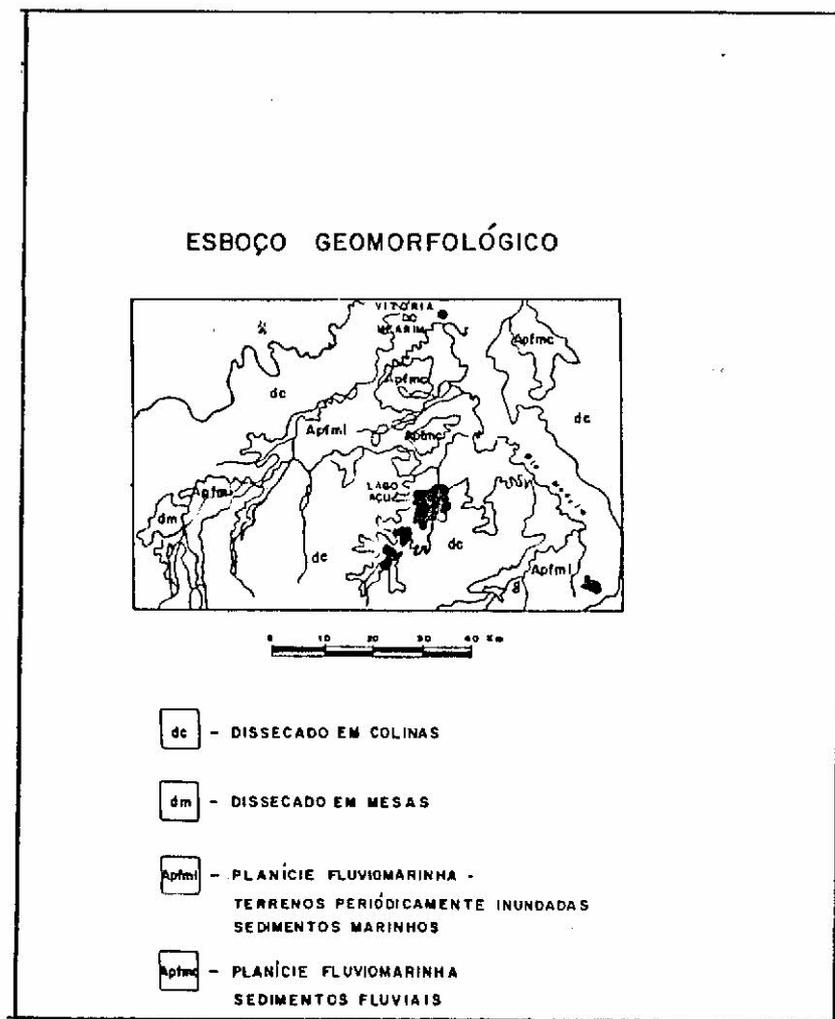


Fig. 2 - Esboço geomorfológico da Bacia do Lago Açú.

O relevo se caracteriza por uma grande área de planície flúvio-marinha, que é periodicamente inundada por ocasião das cheias, e uma parte mais elevada, representada por relevo dissecado em mesas, que funciona como divisor de águas para com as outras bacias da região (Figura 2).

Os solos da área de estudo são típicos de áreas de aluviões e de planície fluviais, conforme visto na Figura 3).

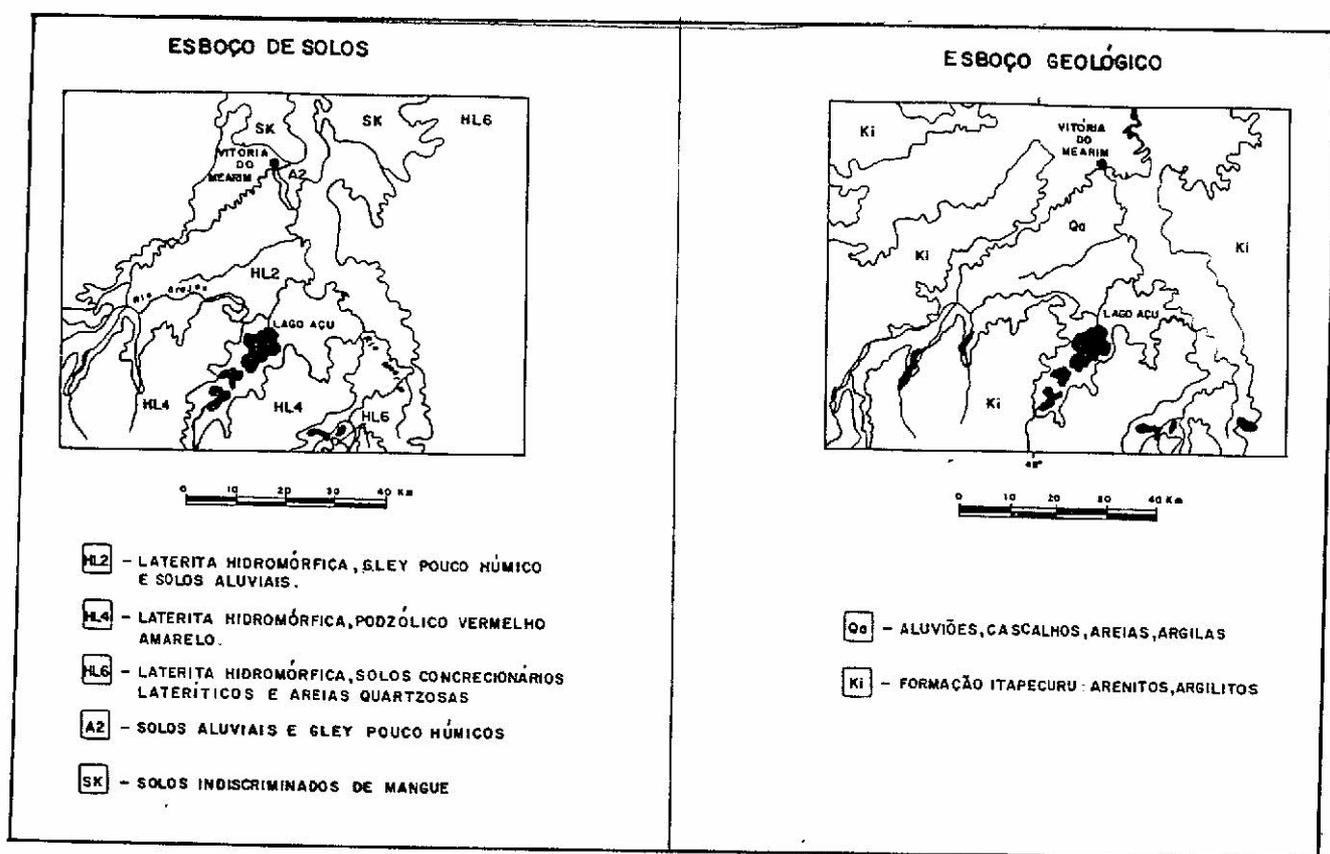


Fig. 3 - Esboços de solos e geológico da área de estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS

Para realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais.

3.1.1 - IMAGENS LANDSAT

Foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho imagens do satélite LANDSAT conforme descrito na Tabela 1.

As imagens na escala 1:250.000 foram utilizadas para obter informações da rede de drenagem e do uso do solo na bacia do Lago Açú.

A imagem TM, na escala 1:100.000 foi utilizada como base no instrumento PROCON, para elaboração dos mapas de níveis de cinza do Lago Açú nos períodos de cheia e vazante, bem como para o mapa comparativo da extensão da lâmina d'água do lago, entre estes dois períodos.

As imagens dos anos de 1986 e 1987 foram utilizadas sob a forma de fitas magnéticas (CCT) no analisador multiespectral (I-100), para fazer a classificação temática do Lago Açú em função dos níveis de cinza da lâmina d'água superficial. Estes dados também foram utilizados para fazer o registro da variação da lâmina d'água, em função dos períodos de cheia e vazante.

TABELA 1

IMAGENS LANDSAT UTILIZADAS NO TRABALHO

ÓRBITA	PONTO	DATA DE PASSAGEM	CANAIS	SENSOR	ESCALA
192	15	31.07.75	5-7	MSS	1:250.000
237	63	24.05.81	5-7	MSS	1:250.000
221	63	11.08.85	3-4	TM	1:250.000
221	63b	11.08.85	3-4	TM	1:100.000
221	63	17.07.86	3-4	TM	1:250.000
221	63	11.11.87	3-4	TM	1:250.000
221	63	11.07.89	COMP. COLOR	TM	1:250.000

3.1.2 - EQUIPAMENTOS

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Analizador Multiespectral I-100. Este sistema extrai informações temáticas de partes da cena ou de toda a cena de imagens multiespectrais através de técnicas estatísticas de classificação e correlação.

O sistema realiza classificação automática das imagens segundo um método interativo (homem/máquina), levando em consideração as informações fornecidas pelo analista e os programas de classificação.

Este equipamento foi utilizado para realçamento de contraste de níveis de cinza. Para a classificação temática da lâmina d'água superficial do Lago Açú foi utilizado o programa de Máxima Verossimilhança. Utilizou-se também o I-100 para o registro das imagens de 1986 (período de cheia) e 1987 (período de vazante).

- Ampliador de imagens PROCON - Este equipamento é um transferidor ótico plano, que auxiliaa aos analistas de recursos naturais a esquadrinhar, ampliar e integrar múltiplos conjuntos de dados de diferentes tipos. Ele foi utilizado para gerar os mapas de níveis da cinza da lâmina d'água do Lago Açú e o mapa comparativo da mesma, nos períodos de cheia e vazante.
- Mesas de luz - Para a interpretação das imagens MSS e TM para uso do solo.

- Sistema de Informação Geográfica - SIG, versão 2.0, desenvolvido pelo INPE (ENGESPAÇO 1989) para a criação de um modelo numérico do terreno (MNT).

3.1.3 - DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Foram obtidos junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC do INPE, dados de precipitação da área de estudos no período de 1975 a 1985.

Através da SMEMA foram obtidos junto a SUDENE dados de precipitação referentes ao período de 1985 a 1988.

3.1.4 - DADOS BIBLIOGRÁFICOS E CARTOGRÁFICOS

Foram utilizadas as seguintes fontes adicionais de informação:

- dados bibliográficos sobre a área de estudo;
- carta topográfica Lago Açu, na escala de 1:100.000, publicada pela DSG, ano de 1984;
- carta topográfica Itapecuru-Mirim na escala de 1:250.000, publicada pela DSG, ano de 1984;
- cartas imagens-radar preliminar Bacabal, Santa Inês e Vitorino Freire, na escala 1:250.000, publicada pela DSG, ano de 1984;
- cartas ao milionésimo, folhas São Luís e Teresina, do Atlas do Brasil ao Milionésimo, publicado pelo IBGE.

- mapa geológico do Estado do Maranhão, na escala de 1:100.000, publicado pelo Ministério das Minas e Energia, ano 1986.
- mapa geológico, geomorfológico e pedológico do Projeto RADAM, na escala de 1:100.000.

3.2 - METODOLOGIA

Para a elaboração da metodologia utilizada no trabalho, foi feita uma revisão bibliográfica sobre o assunto. Nesta revisão observou-se que:

- Becchi et alii (1979) em pesquisas de campo para a produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas, com diferentes usos do solo, em uma região da Itália, constataram que o uso do solo tem considerável influência na produção de sedimentos.

Paralelamente eles observaram também que a influência exercida pelas características litológicas e geomorfológicas são bastante relevantes e, a precipitação e o sistema de desenvolvimento da rede de drenagem aparentam influenciar a produção de sedimentos.

- Onstad et alii (1977) menciona que as fontes produtoras de sedimentos incluem erosão laminar-linear de áreas mais altas, ravinas, margens de rios, canais, locais de construção e rodovias. A relativa magnitude destas fontes em potencial, vai depender de fatores como declividade das vertentes, forma das vertentes, tipos de solos, uso do solo e características da precipitação.

Eles mencionam também que para estudos de produção de sedimentos em bacias de drenagem, devem ser levados em consideração:

- . os fatores climáticos - intensidade de precipitação em todo o período de tempo estudado;
- . fatores de manejo e tipo de solo - tipos de solos condições de cobertura, tipos de uso do solo, tipos de práticas agrícolas;
- . fatores geomorfológicos - topografia (tamanho, forma, aspecto); geologia (padrões de drenagem, substrato, lençol freático) e densidade de drenagem;
- . fatores hidrológicos - as características da bacia de drenagem que aparentam afetar a hidrologia de uma área de drenagem, estão relacionadas à geomorfologia, geologia, solos, uso do solo ou a combinação de todos estes fatores.
- . Trimble et alii (1987), mencionam que as áreas cobertas com vegetação de florestas, consomem mais água e reduzem a produção de água do que os outros tipos de uso do solo. Isto, conseqüentemente reduz o escoamento superficial.

Estes autores constataram que mudanças na cobertura vegetal afeta a produção de água de dois modos: reduções na cobertura florestal aumenta a produção de água, conseqüentemente aumenta o escoamento superficial e os processos erosivos. Aumento na cobertura vegetal, diminui a produção de água, permite maior evapotranspiração, por estar o solo protegido pela vegetação, diminuiu o escoamento superficial, aumenta a infiltração e a interceptação da água pelas árvores, diminuindo os riscos de erosão.

Com a realização em 1988, pelo INPE, do "Relatório Emergencial - Preliminar" sobre a bacia do Lago Açú, foi possível concluir-se que:

- os dados de sensoriamento remoto mostraram uma redução acentuada da lâmina d'água do sistema Lago Açú, para o mês de novembro de 1987. Isto fica mais evidente quando confrontado com a distribuição da lâmina d'água do lago em outros períodos, por exemplo a imagem de 17 de junho de 1986 que corresponde ao final do período de cheia na região;
- nas imagens LANDSAT-TM de 11 de novembro de 1987 foi observado um intenso uso do solo nas regiões de cabeceiras dos sistemas de drenagem dos três lagos;
- na imagem LANDSAT-TM canal 3 pode-se observar que a parte central do Lago Açú apresentou tons de cinza mais escuro, indicativos de uma maior profundidade e menor concentração de sedimentos em suspensão;

Assim, em função dos aspectos mencionados até o momento, a metodologia adotada neste trabalho levou em consideração os seguintes fatores:

- caracterização do uso do solo na área de estudo no período de quatorze anos de intervalo (1975-1989);
- avaliação do incremento do uso do solo na área de estudo no período entre 1975-1989;
- caracterização de prováveis áreas produtoras de sedimentos na bacia abastecedora do sistema lago Açú;

- caracterização do regime de precipitações na área, que fatalmente regem as oscilações da lâmina d'água do sistema lago Açú;
- caracterização da rede de drenagem e as variações na extensão da lâmina d'água do lago, em função dos períodos de cheia e vazante;
- consequências do uso do solo na bacia abastecedora sobre a dinâmica do lago Açú.

As diferentes etapas da metodologia neste trabalho, estão descritas nos próximos itens.

3.2.1 - SELEÇÃO DE IMAGENS

Para este trabalho foram selecionadas imagens MSS e TM do satélite LANDSAT dos anos de 1975, 1981, 1985, 1986, 1987 e 1989 que correspondessem aos períodos de vazante e de cheia, e em função da cobertura de nuvens existentes na área de estudo.

Este critério foi adotado para possibilitar uma avaliação da extensão da lâmina d'água entre os dois períodos.

A imagem de 1989 é da passagem mais próxima ao período de trabalho de campo (agosto 1989) com menor porcentagem (30%) de cobertura de nuvens. Infelizmente boa parte das nuvens cobrem 70% da área de estudo, assim não foi possível obter-se muitas informações sobre o uso do solo nesta imagem.

Fez-se um levantamento das imagens dos anos de 1988 e 1989 no período seco, o mais adequado para o mapeamento de uso do solo, e todas apresentavam cobertura de

nuvens acima de 50%. Por esta razão não foi possível obter-se informações para estes dois anos.

3.2.2 - LEVANTAMENTO DE BIBLIOGRAFIA, DOS DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS E DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Foi feito um levantamento das informações bibliográficas, cartográficas e dados de precipitação da área de estudo, para identificar-se as características naturais da região, tais como: solo, geomorfologia, topografia, geologia, regime de precipitações, etc.

As cartas topográficas na escala 1:100.000 foram utilizadas para obter dados de pontos cotados para a geração do modelo numérico do terreno no Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Foram utilizadas também para caracterizar a toponímia de rios, estradas e cidades da região.

Com base nos dados de precipitação foi construído um mapa com a distribuição dos postos pluviométricos na área de estudo e os gráficos de precipitação referentes aos anos de 1975, 1977, 1981, 1985, 1986, 1987 e 1988. Com estes dados foi possível fazer-se um estudo da distribuição das precipitações na área de estudo, num período de 14 anos.

3.2.3 - CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM

A caracterização da rede de drenagem da área de estudo foi feita através da análise visual das imagens MSS (canais 5 e 7) e TM (canais 3 e 4) do satélite LANDSAT, na escala 1:250.000.

Foram gerados mapas do sistema lago Açú para os períodos de cheia e vazante. Após o mapeamento da rede de drenagem foi possível delimitar-se a bacia do Lago Açú e, conseqüentemente a área de estudo.

Foi feito também o cálculo da área dos Lagos Açú, Verde e da Carnaúba para os períodos de vazante dos anos de 1975, 1981 e 1987, e comparou-se com os dados de precipitação que ocorreram no período. Este tipo de comparação foi feita para que se tivesse uma idéia da retração da lâmina d'água em função dos níveis de precipitação ocorridos na área.

Não foi possível fazer-se esta comparação para o ano de 1989 porque não havia dados de precipitação.

No analisador de Imagens Multiespectrais/I-100 foram gerados módulos do Lago Açú, na escala 1:100.000, para os períodos de cheia (junho 1986) e vazante (novembro 1987), permitindo obter-se os seguintes resultados:

- cálculo da área do Lago Açú no período de cheia;
- cálculo da área do Lago Açú no período de vazante.

Posteriormente fez-se um registro entre as imagens do período de cheia e de vazante, do Lago Açú, para que se pudesse ter uma idéia de quanto era a variação da lâmina d'água entre estes dois períodos.

Foram obtidas classificações temáticas da lamina d'água superficial do lago, para os anos de 1986 e 1987, em função dos níveis de cinza apresentados, através do programa de Máxima Verossimilhança. Estes níveis de cinza são indicativos da maior ou menor concentração de sedimentos

em suspensão na lâmina d'água, podendo também serem indicativos de áreas mais rasas ou menos rasas no lago (Sausen, 1981).

3.2.4 - CARACTERIZAÇÃO DO USO DO SOLO NA BACIA

a) Estabelecimento de legenda

A definição da legenda foi feita tendo por base o interesse em se identificar áreas que, em função do tipo de uso, contribuem de alguma forma como fonte de sedimentos para os lagos que compõem a área de estudo.

Desta forma, denominou-se de "Áreas Prováveis de Produção de Sedimentos", aquelas cujos padrões de respostas espectrais nas imagens LANDSAT analisadas, representassem principalmente as pastagens nativas melhoradas, pastagens implantadas, áreas de cultivo temporário e vegetação herbácea/arbustiva de regeneração.

b) Análise das imagens LANDSAT

Após a delimitação da área de abrangência da bacia hidrográfica do sistema lago Açú, através da rede de drenagem, sobrepôs-se um papel de desenho em filme poliéster para retirada deste limite, mais a malha viária, núcleos urbanos e rede hidrográfica preliminar, gerando desta forma uma base cartográfica na escala 1:250.000.

Quadruplicada esta base, foram sobrepostas as imagens TM/LANDSAT canal 3, onde se atualizou os traçados das estradas e os contornos das cidades através de interpretação visual de cada data de passagem do satélite. Isto foi feito para as imagens dos anos de 1975, 1981, 1985 e 1987.

Não foi possível adotar o mesmo procedimento para o ano de 1989, devido a intensa cobertura de nuvens na imagem.

Finalmente com base nas características espectrais das imagens LANDSAT MSS (canais 5 e 7) e TM (canais 3 e 4), associadas ao aspecto temporal (análise de diferentes datas de passagem), de acordo com Santos et alii (1981) foi identificado o tema descrito no item (a).

Foram mapeados também, para a passagem de 11 de novembro de 1987, no canal TM 4, as áreas de queimadas. Fez-se o mapeamento da queimadas somente nesta passagem por três razões:

- porque somente nesta passagem as áreas de queimada ocorrem com clareza na imagem;
- porque nesta passagem elas ocupam uma área significativa na bacia;
- porque esta passagem antecede em um mês da ocorrência da mortandade de peixes no lago Açú.

Além disso as áreas de queimada podem ser grandes contribuidoras de sedimentos para o sistema lago Açú.

Foram mapeadas para os anos de 1985, 1987 e 1989 as áreas de vegetação aquática no sistema lago Açú.

c) Cálculo de área

Para a avaliação da extensão da área ocupada pelas "Áreas Prováveis de Produção de Sedimentos", para os

anos de 1975, 1981, 1985 e 1987, utilizou-se uma grade de pontos de 1mm02 sobrepostas aos mapas contendo o tema.

Não foi possível fazer-se o cálculo para o ano de 1989, para este tema, uma vez que 70% da bacia está coberta por nuvens.

Fez-se também o cálculo da área de queimada para a passagem de 11 de novembro de 1987.

3.2.5 - TRABALHO DE VERIFICAÇÃO DE CAMPO

Em virtude de algumas dúvidas surgidas durante os trabalhos de interpretação preliminar para o tema proposto, realizou-se um sobrevôo na área de estudo, no mês de junho de 1988. Na ocasião foram correlacionados padrões espectrais de cobertura vegetal estabelecidos durante a fase de interpretação.

No período de 06 a 11 de agosto de 1989, com a colaboração da Secretaria das Minas, Energia e Meio Ambiente - SMEMA e da companhia Vale do Rio Doce - CVRD, foi possível realizar-se um trabalho de campo na área de estudo, onde foram observadas as áreas queimadas do Lago Açú e ocorrência de macrófitas no lago.

3.2.6 - MAPA DE ISOLINHAS

Como a área de estudo apresenta um relevo bastante plano e com altitudes pouco elevadas, tendo a cota máxima de 45 metros, é impossível, na carta topográfica de 1:100.000 serem geradas curvas de níveis com equidistância de 50 metros, havendo na área apenas informações de pontos cotados.

Com isto fica difícil ter-se maiores informações sobre o relevo da área de estudo.

Por esta razão criou-se um mapa de isolinhas da área de estudo, com a equidistância de 5 metros, fazendo uso do algoritmo Modelo Numérico de Terreno, existente no Sistema Informação Geográfica - SIG/INPE.

Para a coleta de dados para a geração de um mapa de isolinhas, foi utilizada a carta do Lago Açú, da DSG, na escala 1:100.000 e uma mesa digitalizadora.

Inicialmente, foi definido na carta Lago Açú, ataravés da mesa digitalizadora, o espaço envoltório onde seriam coletados os dados de cota altimétrica existentes na área de estudo. Este espaço foi definido através das coordenadas de latitude e longitude.

Em seguida iniciou-se a digitalização dos pontos cotados. Logo após estes dados foram organizados em um arquivo tipo árvore, que permite acessar as amostras na fase de interpolação, utilizando-se o programa Organização de Pontos do Módulo de entrada do SIG/INPE (Almeida, 1989). Este tipo de estrutura possibilita um acesso mais rápido aos vizinhos mais próximos de um ponto no espaço bi-dimensional (ENGESPAÇO, 1989).

O passo seguinte foi a criação de uma grade regularmente espaçada de pontos a partir de um conjunto de amostras. Os valores das cotas altimétricas de cada ponto da grade é estimada a partir da interpolação das cotas dos pontos vizinhos mais próximos.

Fez-se os refinamentos da grade regular que permite a obtenção de uma representação de um Modelo Numérico de Terreno (MNT) no formato imagem. Esta imagem é

obtida através de um algoritmo de interpolação bilinear, aplicado sobre a grade regular (ENGESPAÇO, 1989).

Em seguida, foi gerado um mapa de isolinhas da área de estudos, a partir de um MNT na forma de grade refinada. Como passo final foi gerado um bloco diagrama representando um relevo da área de estudo.

3.2.7 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Nesta fase foram feitas correlações entre as informações de uso do solo, rede de drenagem, dados de campo e dados de precipitação da área de estudo.

Com isto pode-se traçar um perfil do comportamento da bacia do Lago Açú nos últimos 14 anos.

Pode-se também fazer uma avaliação do impacto provocado pelo uso do solo na bacia sobre a dinâmica do sistema Lago Açú neste mesmo período.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados obtidos neste trabalho.

4.1 - USO DO SOLO

Ao término da interpretação visual das imagens LANDSAT MSS/TM, foram elaborados mapas de uso do solo da bacia do sistema Lago Açú, para os anos de 1975, 1981, 1985, 1987 e 1989.

Estes mapas estão representados na Figura 4. As informações estão dispostas de forma sequencial, de modo

que seja possível ao leitor fazer um acompanhamento da evolução temporal do uso do solo na bacia.

Não consta no mapa as informações de uso do solo da área de estudo para o ano de 1989, porque 70% da área está coberta com nuvens, tendo sido possível obter-se apenas informações sobre os corpos d'água.

Na Figura 4 há também informações sobre o incremento de rodovias na área, no período de 1975 a 1987, e os principais focos de expansão das "Áreas Prováveis de Produção de Sedimentos" para o sistema lago Açú.

Pelos mapas das Figura 4 observa-se que houve um grande incremento do uso do solo na área de estudo, a ponto de 51,7% da área total da bacia em 1987, ser ocupada por "Áreas Prováveis de Produção de Sedimentos". A quase totalidade destas áreas eram ocupadas por mata natural e babaçu, que cederam lugar a pastagem e as áreas agrícolas.

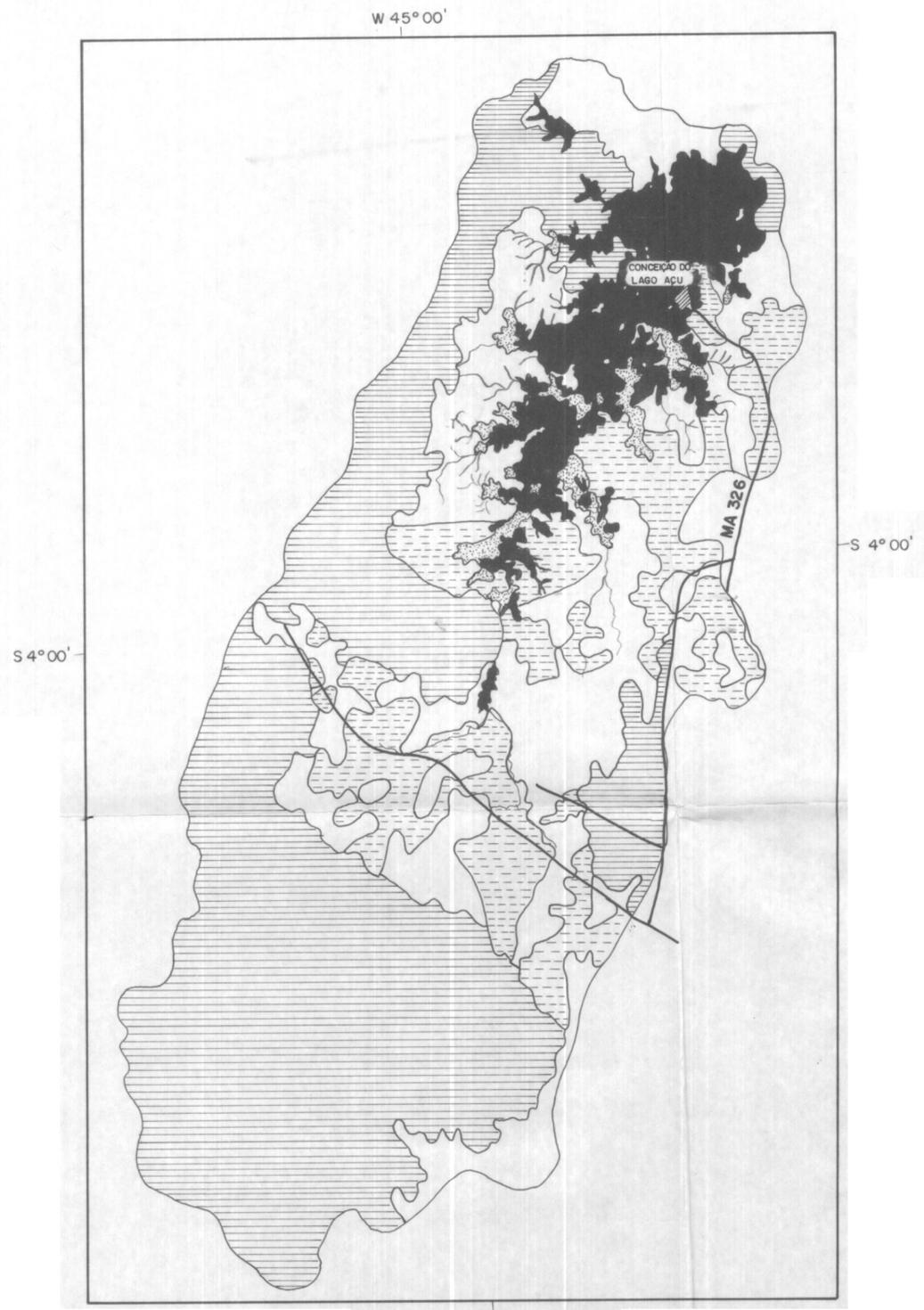
A Figura 5 apresenta um módulo da imagem LANDSAT/TM de 11 de novembro de 1987 da bacia do Lago Açú, com áreas de agricultura e pastagem, obtido no I/100.

Nesta foto as tonalidades de azul com forma geométrica definida correspondem as áreas de pastagem e agricultura. Pode-se observar na foto, que estas áreas distribuem-se especialmente ao longo dos rios e seus interflúvios que apresentam relevos planos que facilitam a sua expansão.

A Figura 6 apresenta uma vista aérea destas áreas, na bacia do Lago Açú.

Fig. 4 - Mapeamento de áreas prováveis de produção de sedimentos através de imagens de satélite.

MAPEAMENTO DE ÁREAS PROVÁVEIS DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS
 ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE
 BACIA DO LAGO AÇU-MA



Escala 1:250.000

0 2,5 5,0 7,5 10 12,5 Km

-  - ÁREAS PROVÁVEIS DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS (Pastagens e Cultivo Temporário)
-  - LAGOS
-  - RIOS
-  - ÁREA URBANA
-  - COBERTURA DE NUVENS
-  - RODOVIAS
-  - VEGETAÇÃO AQUÁTICA
- 

Dados da imagem

Órbita: 221/63 Passag. 11/Jul/89

Composição Colorida: Canais 2,3 e 4

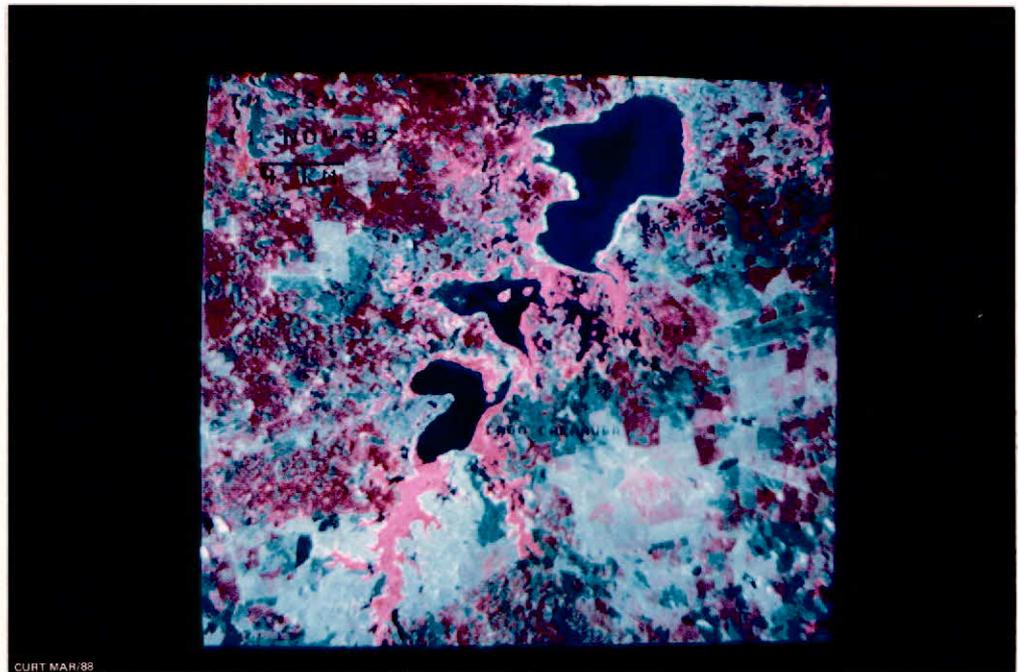


Fig. 5 - Módulo da imagem LANDSAT/TM, de 11 de novembro de 1987 da bacia do sistema Lago Açú.



Fig. 6 - Vista aérea da bacia do Lago Açú, vendo-se as áreas desmatadas por ocupação antrópica.

Comparando-se os mapas de evolução da rede viária e da localização dos principais focos de expansão entre duas datas subsequentes das "Áreas Prováveis de Produção de Sedimentos", na Figura 4, vê-se que esta expansão ocorreu, entre 1975 e 1981, ao longo de rodovias já existentes na região ou implantadas neste período e ao longo de alguns rios.

No período entre 1981 e 1985 ocorreu o mesmo, estando estes focos localizados principalmente ao longo das rodovias nas áreas de cabeceiras, no sudoeste da bacia, e ao longo do rio que abastece sistema Lago Açú.

Já no período entre 1985 e 1987 as áreas de expansão localizaram-se basicamente ao longo de novas rodovias implantadas neste período, mas que estão principalmente próximas ao rio que abastece o sistema Lago Açú.

Isto nos chama atenção para o fato de que além dos relevos planos e a presença da água que pode ser usada para a criação de gado e para a irrigação da agricultura, a expansão da rede viária na região facilitou o incremento das áreas de pastagem e de cultivos, uma vez que a presença de rodovias possibilita o acesso e permite o escoamento da produção agrícola.

Pela Figura 4 verifica-se que foi no período entre 1981 e 1985 que houve o maior incremento da malha viária, tendo sido implantado um total de 135km de estradas, o que equivale a um aumento de 131%, correspondendo a uma taxa anual de 32,7% ao ano, ou seja 33,7km/ano.

Entre os anos de 1985 e 1987 foram implantados mais 52km de estradas, representando um acréscimo de 22% equivalente a uma taxa anual de 11% ou seja, 26km/ano.

A bacia abastecedora do Lado Açú possui uma área aproximada de 121.000ha, sem núcleos urbanos expressivos, cuja ocupação com o tema proposto variou nos últimos 12 anos do seguinte modo:

- em 1975, 22,5% da área total da bacia eram ocupados por "Áreas Prováveis de Produção de Sedimentos";
- em 1981, este valor saltou para 33.8%;
- em 1985, foi para 39,9%;
- e, finalmente em 1987 este valor situou-se na casa dos 51,7%.

A Figura 7 apresenta de forma esquemática a expansão destas áreas no período de 1975 a 1987.

Por estes dados pode-se verificar que houve dois períodos importantes, no incremento da ocupação humana, na bacia do sistema Lago Açú. O primeiro deles foi entre 1975 e 1981, com taxa anual de 8,6% e o segundo e o mais importante foi entre 1985 e 1987 com uma taxa anual de 13,1%.

Este comportamento não corresponde ao mesmo observado para o da malha viária que teve sua maior expansão entre 1981 e 1985, seguida do período de 1985 e 1987.

Mas em parte este comportamento pode ser explicado pelos dados fornecidos pelo setor de Custeio ao Crédito Agrícola do Banco do Brasil, que forneceu dados sobre o Crédito Agrícola concedido pela Agência de Bacabal, no período de 1975 a 1988. Os dados são apresentados na Tabela 2.

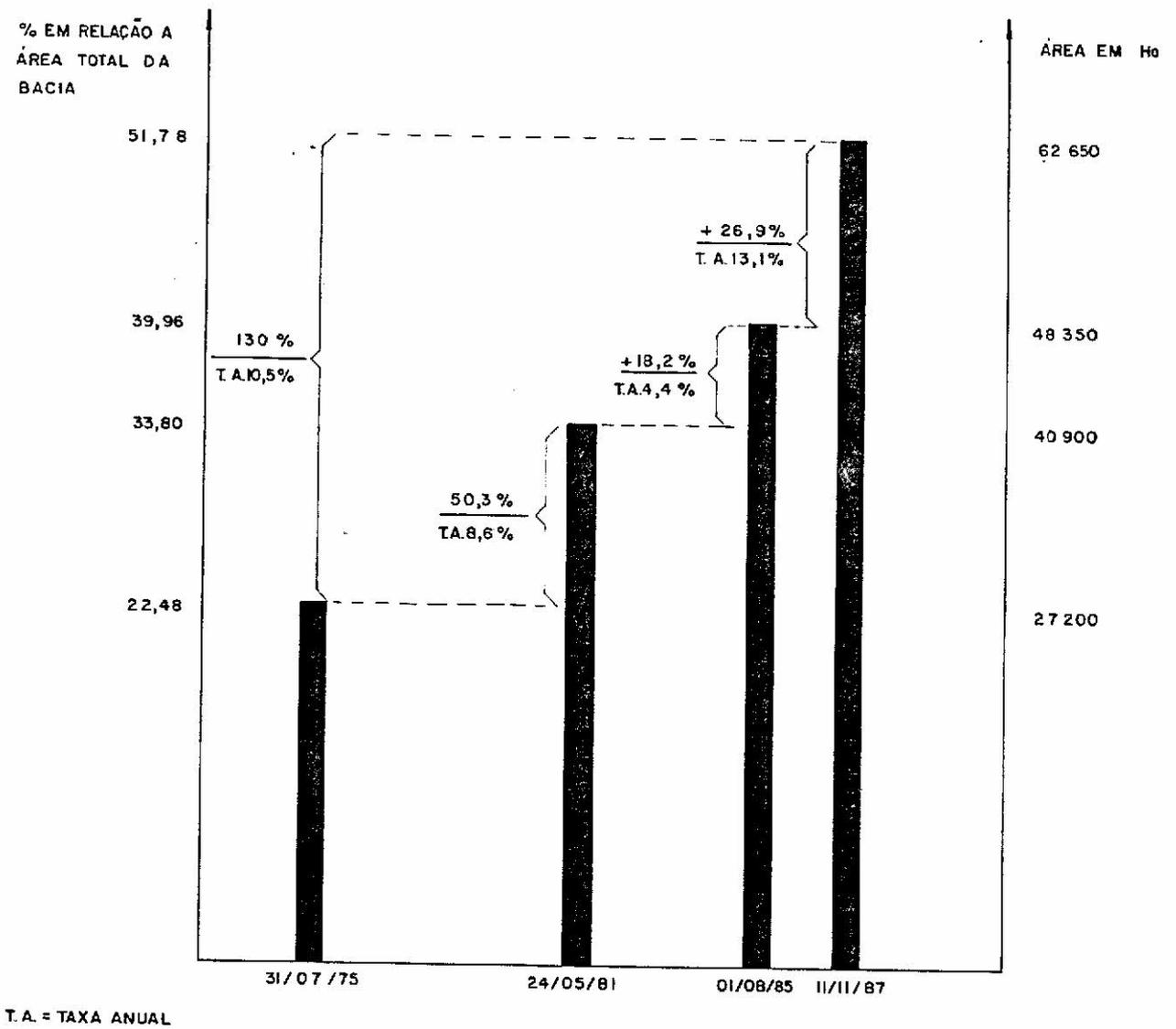


Fig. 7 - Representação esquemática da expansão das "Áreas Prováveis de Produção de sedimentos", no período de 1975 a 1987.

A partir de 1986, com a criação da agência de Vitorino Freire, os dados correspondem aos totais das agências do Banco do Brasil em Bacabal e Vitorino Freire.

Pelos dados apresentados na Tabela 2 observa-se que os anos de 1980 e 1981 foram os mais expressivos em relação ao custeio do crédito agrícola na região, o que certamente deu um grande impulso na implantação de projetos agropecuários na bacia do Lago Açú. Isto, aliado a infraestrutura viária existente ou em implantação, na área, facilitou a expansão das "Áreas Prováveis de Produção de Sedimentos" a partir de 1981.

Das imagens dos anos de 1975, 1981, 1985 e 1987, pode-se verificar que o total das "Áreas Prováveis de Produção de Sedimentos" aumentou de período para período. As áreas estimadas para cada ano são:

- 1975, 27.200ha
- 1981, 40.900ha
- 1985, 48.350ha
- 1987, 62.650ha

Isto representa em termos percentuais, comparando cada período analisado, valores de:

- 50,3% entre 1975 e 1981 (6 anos)
- 18,2% entre 1981 e 1985 (4 anos)
- 29,6% entre 1985 e 1987 (2 anos)

Em relação ao período todo de 1975 a 1987 (12 anos) analisado, houve uma expansão em torno de 130%, da "Áreas Prováveis da Produção de Sedimentos", o que corresponde a um incremento anual de 8,2%, representando 2984ha/ano.

TABELA 2
TOTAL DE HECTARES FINANCIADOS PELA AGÊNCIA
BACABAL DO BANCO DO BRASIL

ANO	HA
1975	25.258
1976	20.946
1977	37.578
1978	29.562
1979	30.589
1980	181.793
1981	140.385
1982	27.409
1983	13.480
1984	5.267
1985	5.534
1986	3.878
1987	2.565
1988	531

Para cada período analisado os valores da taxa anual de incremento foram de:

- 8,6% entre 1975 e 1981, representando 2349ha/ano
- 4,4% entre 1981 e 1985, representando 1788ha/ano
- 13,15 entre 1985 e 1987, representando 3655ha/ano

Durante os trabalhos de campo na área de estudo, pode-se observar que estas áreas ocupadas pela ação antrópica, eram antigamente ocupadas por mata natural, formada por vegetação de porte arbóreo mesclada por babaçu.

Esta vegetação é inicialmente retirada para a implantação de pastagens ou de cultura de subsistência.

Em um segundo estágio pode-se observar que o babaçu renasce no meio da pastagem (Figura 8) dando origem a uma pastagem mesclada com babaçuais. Estas áreas de pastagem, porém, apresentam uma cobertura de gramínea bastante densa não deixando os solos desprotegidos, o que poderia facilitar a ocorrência de processos erosivos.

Em outros trechos das áreas desmatadas, renasce apenas o babaçu formando uma mata densa, conforme pode ser visto na Figura 9.

Mas os trechos ocupados por pastagem e cultura de subsistência representam atualmente mais de 50% da área da bacia.

Isto é um fato bastante preocupante, pois além de ser uma alta taxa de ocupação, o que implica numa diminuição acentuada da área de mata, apresenta também um ritmo bastante acelerado (8,2%/ano), considerando-se que a bacia não é muito grande.



Fig. 8 - Área de pastagens na bacia do Lago Açú, mescladas com babaçu.



Fig. 9 - Áreas de babaçu na bacia do sistema Lago Açú.

Conforme já foi mencionado na seção 3.2, áreas cobertas com vegetação de mata retêm maior quantidade de água no solo, tem maior poder de interceptação das gotas de chuvas, que é um agente erosivo, e possuem um maior potencial de evapotranspiração, o que aumenta o potencial de precipitação na área.

Ora, com a retirada da mata na região em detrimento da pastagem e das áreas agrícolas, os solos passam a ficar mais expostos ao poder erosivo das chuvas. Aumenta também o escoamento superficial, que é um agente erosivo e de arraste de material (sedimentos silte, argila, areia, matéria orgânica) para os corpos d'água.

Com a diminuição da área foliar há uma diminuição na evapotranspiração, podendo alterar os totais de precipitação na região.

Durante os trabalhos de campo na área de estudo, não foram observados pontos de erosão acelerada. Isto provavelmente devem-se a dois fatores fundamentais:

- o relevo da área de estudo é bastante plano, com gradientes suaves.
- em geral as áreas de pastagem apresentam uma densa cobertura de gramíneas;

Mas na imagem de 11 de novembro de 1987 foi observado um fato muito preocupante que é a ocorrência, de forma acentuada, de queimadas na área de estudo (Figura 10).

As áreas de queimadas nesta passagem ocupam um total de 36.237ha do total de 121.000ha da área da bacia, o que equivale a 30% da bacia do Lago Açú.

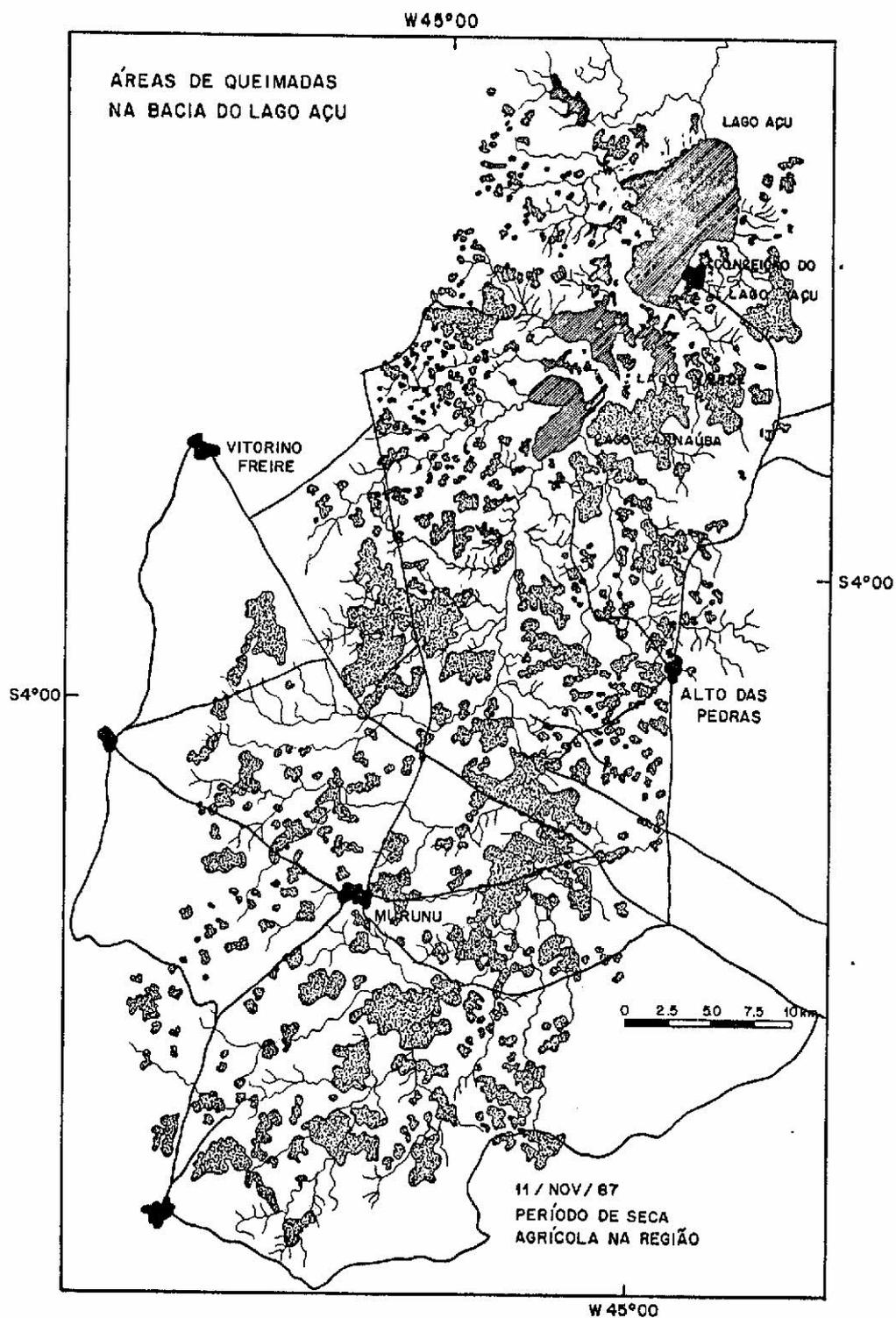


Fig. 10 - Áreas de queimadas na Bacia do Lago Açú - 11 de novembro de 1987.

O mais preocupante é que estas queimadas além de serem em número elevado, devem ocorrer nos meses de outubro e novembro, que correspondem ao início do período chuvoso na região pois não foram observadas nas outras imagens analisadas.

As áreas de queimadas além de produzirem cinzas, que é um material fácil de ser arrastado para os rios e lagos pelo escoamento superficial, empobrecem o solo e o deixam desprotegido, à ação dos agentes erosivos.

Paralelamente, sendo realizadas pouco antes do período chuvoso, podem mais facilmente serem arrastadas pelas águas das chuvas. Este tipo de material não oferece sérios riscos a sedimentação dos corpos d'água, mas por constituir-se em matéria orgânica, pode causar problemas na qualidade d'água favorecendo a eutrofização.

Para que se pudesse ter uma idéia de como estão distribuídas as "Áreas Prováveis de Produção de Sedimentos" em relação ao relevo e ao gradiente da área de estudo, fez-se um mapa hipsométrico da bacia do lago Açú, a partir de mapas de isolinhas, na escala 1:100.000. Logo após gerou-se este mesmo mapa na escala 1:250.000 e sobrepôs-se as informações de uso do solo do ano 1987.

A Figura 11 apresenta o mapa hipsométrico e o de isolinhas e uso do solo da bacia do Sistema Lago Açú.

Neste mapa os intervalos entre as isolinhas é de 5 em 5 metros, a altitude máxima verificada na área é de 45 metros, estando no extremo da porção SW da bacia.

A área caracteriza-se por terrenos bastante planos e gradientes suaves, estando as maiores altitudes na porção sul da área de estudo.

Fig. 11 - Mapa hipsométrico da bacia do Lago Açú.

Observando-se o mapa de uso do solo e isolinhas, percebe-se que nos trechos onde o espaçamento das isolinhas é menor, portanto de gradientes um pouco mais acentuados, não há uma presença muito grande de uso do solo. As áreas mais ocupadas estão localizadas nos trechos mais planos, de gradiente mais suaves, que facilitam a sua instalação e oferecem menor risco a erosão.

Um fato que chama a atenção é a presença destas áreas dentro da planície de inundação, o que é pouco recomendável. Caso as mesmas sejam áreas de cultivos e estejam usando defensivos agrícolas, este material pode chegar com muito mais facilidade nos lagos, do que o material que possa vir das áreas de interflúvios. Estes defensivos podem alterar a qualidade d'água.

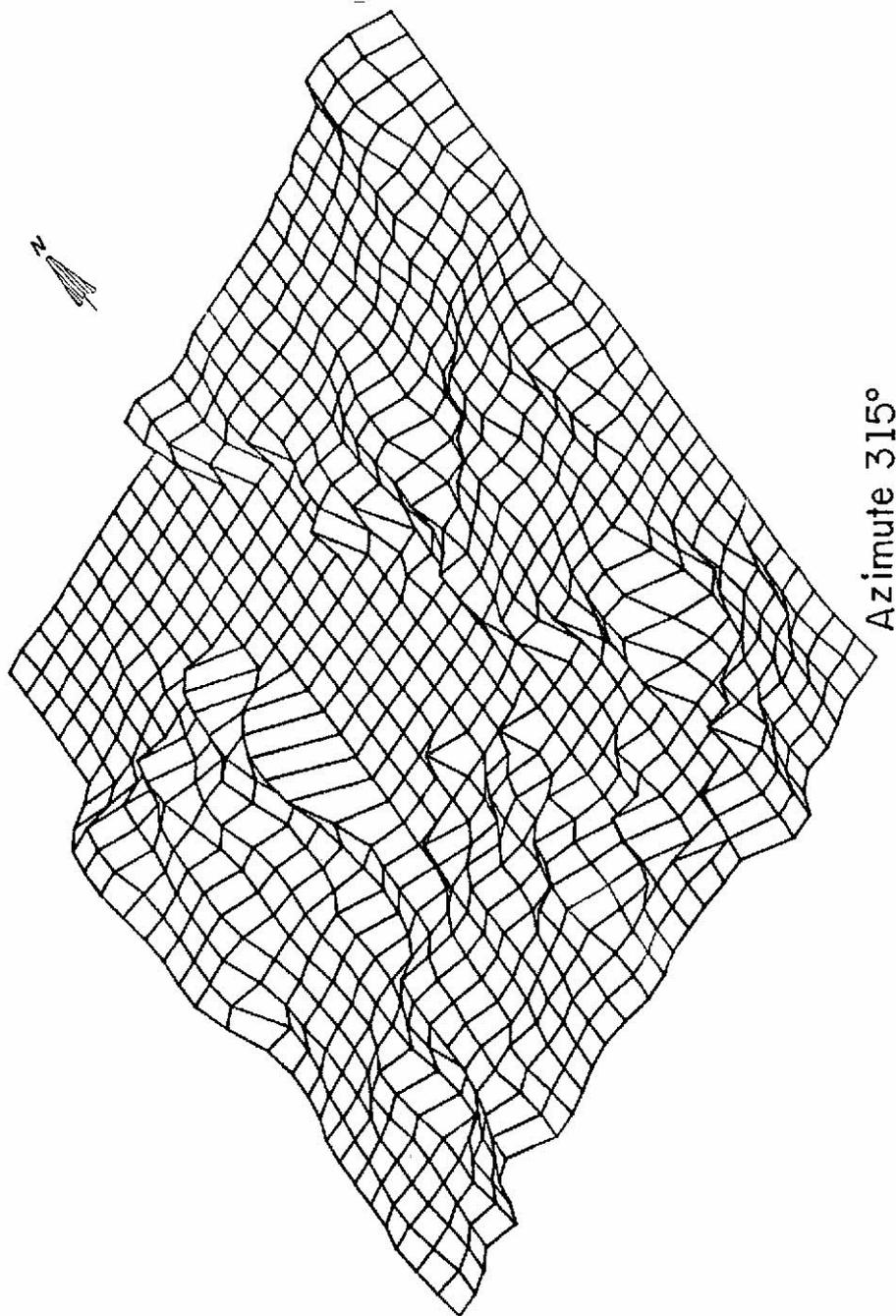
Além disso, foi observado na imagem de 11 de novembro de 1987 a presença de queimadas na planície de inundação.

Para ilustrar melhor o relevo da área, criou-se um bloco diagrama a partir dos pontos cotados na carta 1:100.000 (Figura 12).

A área ocupada pelos lagos está bem caracterizada, sendo rodeadas por interflúvios suavemente ondulados, sem grandes expressões em termos de altitudes e rupturas de relevo abruptas.

Isto porém não significa que a área não possa estar sujeita a processos de erosão. Deve-se lembrar que a área é formada por argilitos e arenitos, principalmente nos trechos mais elevados, constituindo-se em terrenos impermeáveis facilitando pois, o escoamento superficial. Sem

BLOCO DIAGRAMA DA ÁREA DE ESTUDO
BACIA DO LAGO ACU-MA



Azímute 315°

Fig. 12 - Bloco diagrama da área de estudo, Bacia do Lago Açú - MA.

um manejo adequado, elas podem tornar-se áreas favoráveis a produção de sedimentos.

4.2 - PRECIPITAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

Com os dados de precipitação da área de estudo e a rede de drenagem, retirada do Atlas do Brasil ao Milionésimo, fez-se gráficos de precipitações (1975 a 1988), que foram dispostos num mapa de acordo com sua localização. A Figura 13 apresenta este mapa.

Neste mapa estão representadas as porções do alto até o médio-baixo vale da bacia do rio Mearim, área que está sendo estudada numa segunda fase desta pesquisa e a área da bacia do sistema lago Açú.

Analisando-se os gráficos de precipitação referentes aos postos pluviométricos de Vitorino Freire, Pio XII e Bacabal, que devem ter uma atuação mais direta sobre a área de estudo, constata-se que:

- A área apresenta um clima tropical com duas estações bem definidas, a chuvosa indo de novembro a abril e a seca indo de maio a outubro;
- o pico das precipitações ocorre geralmente em março e abril e o mínimo em agosto e setembro;
- as precipitações são má distribuídas ao longo do ano, concentrando-se em um ou dois meses (março/abril), muitas vezes com picos elevados, como aconteceu no de 1986 (850mm). Em contra-partida nos meses secos, as precipitações não atingem muitas vezes a 50mm.

Fig. 13 - Distribuição dos postos pluviométricos e órbitas/
pontos das pastagens do satélite LANTSAT sobre a
região do Vale do Mearim - MA.

DISTRIBUIÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS, E ÓRBITAS/PONTOS DA PASSAGEM DO SATÉLITE LANDSAT SOBRE REGIÃO DO VALE DO MEARIM - MA



- LAGO
- ÁREA DE INUNDAÇÃO
- ~ RIOS PERENES
- RIOS DE REGIME INTERMITENTE
- CIDADES
- POVOADOS
- RODOVIAS FEDERAIS
- RODOVIAS ESTADUAIS
- ÓRBITA / PONTO DA PASSAGEM DO SATÉLITE
- LIMITE
- DATA DA PASSAGEM DO SATÉLITE

LEVANTAMENTO DA REDE DE DRENAGEM ATRAVÉS DAS CARTAS 5A-23 E 5B-23
ESCALA : 1:1.000.000



Apenas no ano de 1973 em Vitorino Freire, as precipitações distribuíram-se ao longo dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio, com índices de 400mm.

Nos anos de 1973, 1985, 1986, 1987 e 1988 em Vitorino Freire, a estação seca estendeu-se até novembro. O mesmo ocorreu para o posto de Bacabal nos anos de 1973, 1986 e 1987 e para Pio XII, nos anos de 1973 e 1975.

Pode-se observar neste mapa que o ano de 1987 foi um ano especialmente seco, com um máximo de precipitação de apenas 270mm em Vitorino Freire e 381mm em Bacabal. Estes postos em anos mais chuvosos chegam a apresentar máximos em torno de 600 a 850mm e 550 a 600mm, respectivamente.

Analisando-se os postos pluviométricos pertencentes a bacia do rio Mearim, verifica-se que também em Pedreira, Barra do Corda e Grajaú, o ano de 1987 foi bastante seco, com os máximos de precipitação em torno de 270 mm e com a estação seca indo de abril a outubro, em alguns casos com 0 mm de chuva. No posto de Pedreira a estação começou em abril e estendeu-se até dezembro.

Estas baixas precipitações em toda a região devem ter exercido uma grande influência na quantidade d'água dos rios e lagos da região.

Em Vitorino Freire o total de precipitações em 1987 foi em torno de 1085mm e em Bacabal foi de 1494mm.

Em 1975, em Pio XII, os dados de precipitação acusam também diminuições no total das precipitações (1716mm), com o máximo de chuvas em março, estando em torno de 293mm, não havendo porém uma ampliação da estação seca.

Neste mesmo ano o total de precipitações em Vitorino Freire foi de 1800mm e em Bacabal foi de 1768mm. Os máximos de precipitações foram de 383mm em Pio XII em fevereiro, 418mm em abril em Vitorino Freire e 482mm em março em Bacabal.

Comparando-se com o ano de 1987, o ano de 1975 apesar de seco para a região, ainda sim foi mais chuvoso.

Em Vitorino Freire os dados de precipitação nos mostram que 1981 foi um ano mais seco que 1987 (total 1085mm, precipitação máxima em março - 270mm). O total de precipitações neste ano foram de 988mm e o máximo de precipitações foi de 276mm em março.

Este comportamento é observado também para os postos de Pedreira, Presidente Dutra, Barra do Corda e Grajaú, caracterizando-se assim 1981 como outro ano seco na região.

Infelizmente não temos dados de evaporação total e temperatura da área de estudo que nos permitiriam analisar com mais detalhe estes dois anos de seca. Estes dados nos dariam informações em que ano houve maior evaporação e portanto maior perda de água dos corpos d'água na região.

O ano de 1985 apresentou-se chuvoso tanto em Vitorino Freire como em Bacabal. Em Vitorino Freire o total de precipitações foi em torno de 2790mm, com máximo de chuvas em abril, com 527mm. Em Bacabal o total de chuvas foi de 2766mm, com o pico máximo em torno de 585mm no mês de março.

Os anos de 1986 e 1988 foram anos chuvosos, com os postos pluviométricos apresentando os seguintes valores:

a) Vitorino Freire

- 1986 - total de precipitação 2302mm
precipitação máxima em abril, com 860mm
- 1988 - total de precipitação 2170mm
precipitação máxima março, com 537mm

b) Bacabal

- 1986 - total de precipitação 2131mm
precipitação máxima em março, com 574mm
- 1988 - total de precipitação 1912mm
precipitação máxima em abril com 404mm

Infelizmente não temos uma série completa de dados de precipitação, para os três postos pluviométricos no período de 1975 a 1988. Por esta razão utilizou-se principalmente os dados dos anos coincidentes com as imagens de satélite.

Uma série completa de dados de precipitação no período analisado permitiria que se tivesse informações, se houve ou não modificações de precipitação da área.

Esta é uma informação importante uma vez que as precipitações regem a dinâmica dos corpos d'água.

4.3 - DINÂMICA DO SISTEMA LAGO AÇÚ

Ao final da interpretação das imagens LANDSAT MSS/TM foi possível gerar um mapa de drenagem do sistema lago Açú para os anos de 1975, 1981, 1985, 1986, 1987 e 1988.

A Figura 14 apresenta o mapa de drenagem correspondente a passagem de 31 de julho de 1975. Esta figura corresponde a estação seca na região e a um período de vazante no sistema lago Açú. Por esta razão é possível ver-se separadamente os três lagos que o constituem, isto é, o lago Açú, o lago Verde e o lago da Carnaúba.

Na imagem de 1975, referente ao canal MSS7, podem ser observadas tonalidades de cinza claro em alguns pontos junto aos lagos, indicativas de ocorrência de vegetação aquática. As imagens LANDSAT porém possuem uma resolução espacial (80m) pequena, o que não permite que se obtenha informações mais detalhadas sobre este tema.

A Figura 15 corresponde a passagem de 24 de maio de 1981, início do período de vazante nos lagos. Neste mapa, bem como no mapa do ano de 1975, é possível observar-se a presença de açudes na bacia do sistema Lago Açú, que são utilizados como fonte abastecedora de água, para as atividades agropecuárias na região.

A Figura 16 apresenta o mapa de drenagem correspondente a passagem de 11 de agosto de 1985, estação seca na área e um período de cheia do sistema lago Açú. Nesta figura, por ser de um período de cheia, não é possível distinguir-se os lagos separadamente.

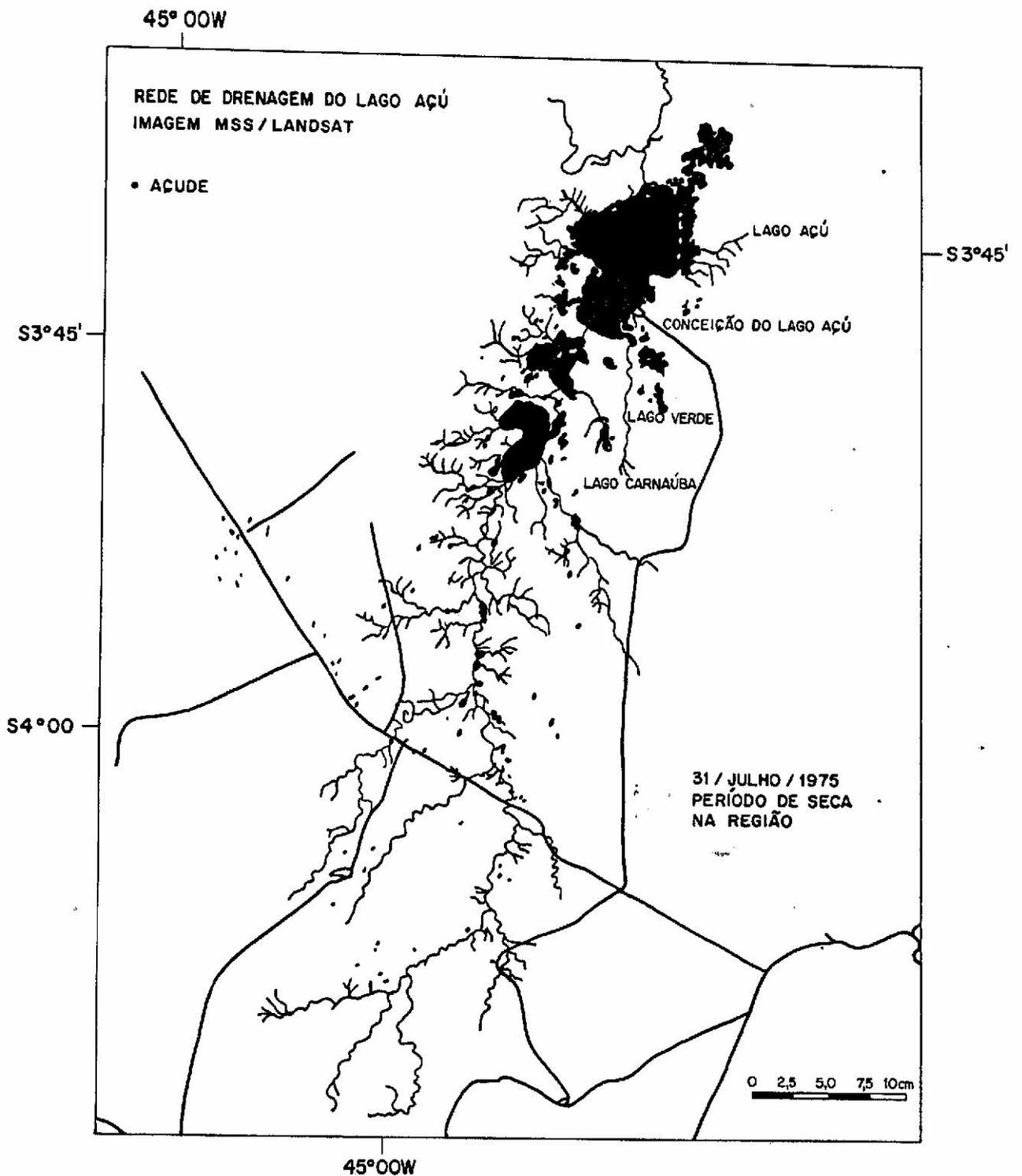


Fig. 14 - Rede de drenagem do sistema Lago Açú - 31 de julho de 1975.

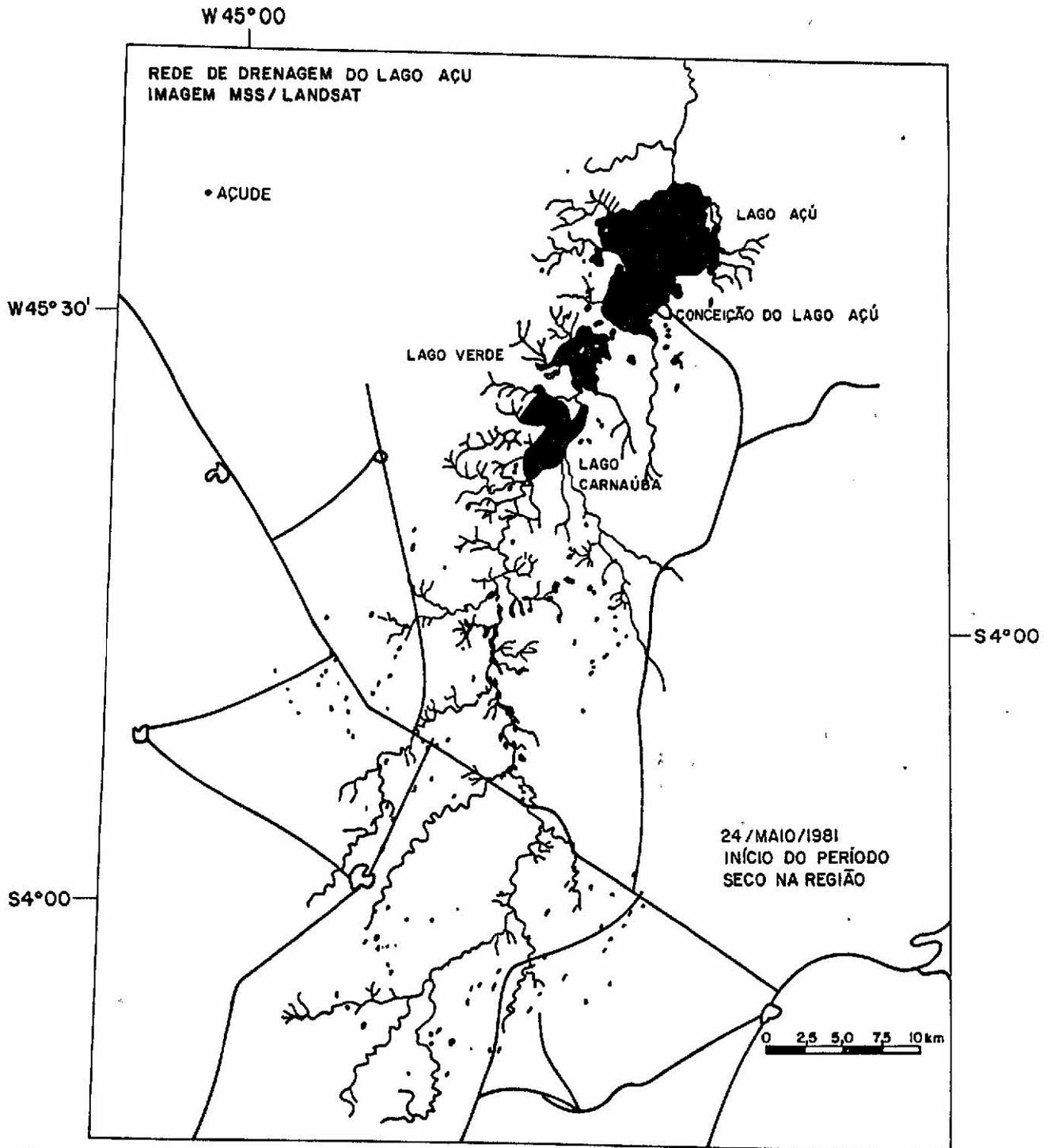


Fig. 15 - Rede de drenagem do sistema Lago Açu - 24 de maio de 1981.

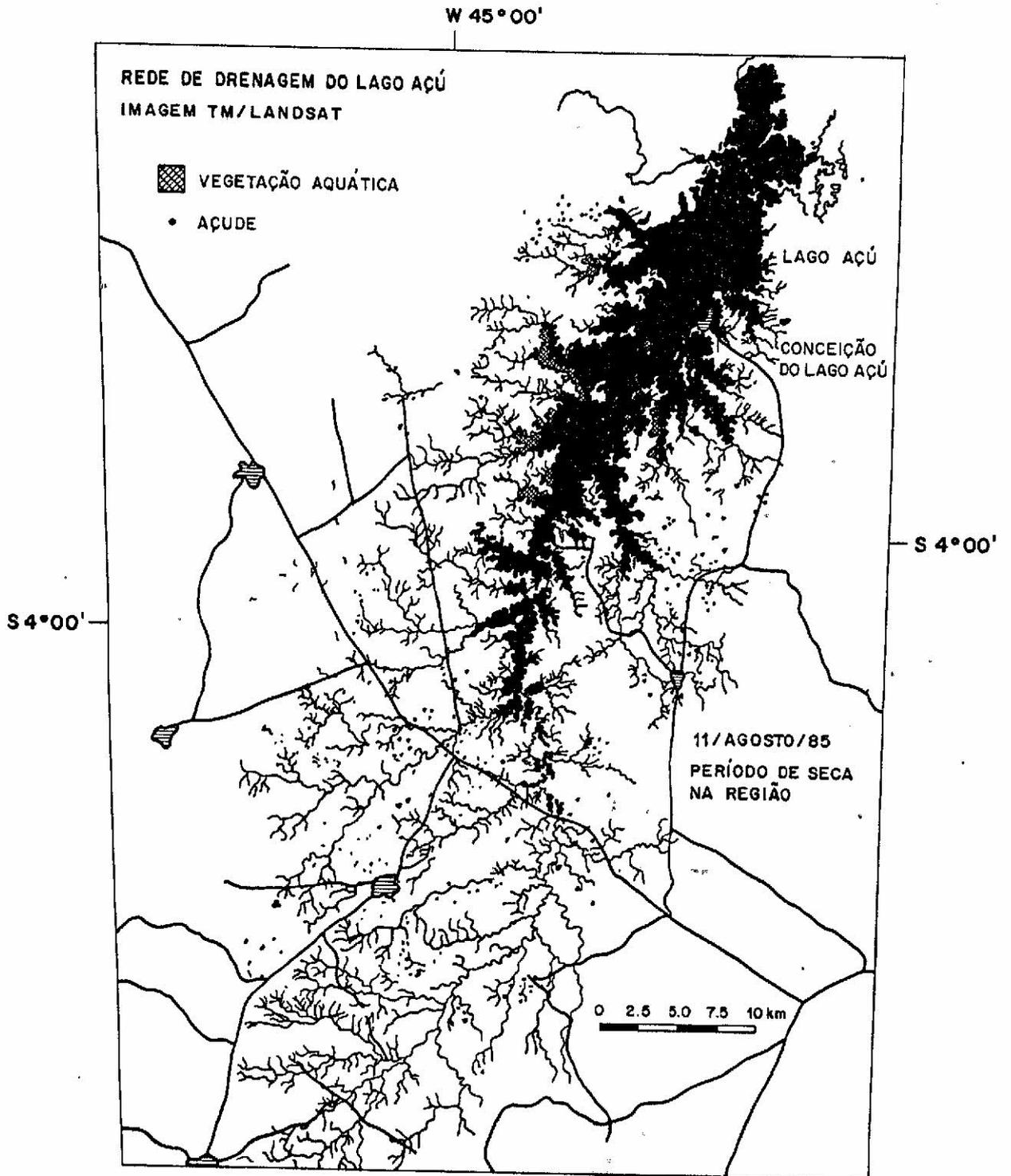


Fig. 16 - Rede de drenagem do sistema Lago Açú - 11 de novembro de 1985.

Conforme já salientada seção 4.2, 1985 foi um ano chuvoso e por esta razão, apesar de agosto ser período seco, os lagos ainda estão cheios.

Na Figura 16 pode-se observar que houve um aumento acentuado do número de açudes na bacia, em relação aos anos de 1975 e 1981. Pode-se notar também a presença de vegetação aquática no lago Açú, principalmente em sua margem esquerda.

Salienta-se que os mapas de drenagem dos anos de 1975 e 1981 foram gerados a partir de imagens MSS/LANDSAT e os de 1985, 1986, 1987 e 1989 foram gerados a partir de imagens TM/LANDSAT que apresentam maior resolução espacial. Por esta razão foi possível obter-se maior detalhamento da rede de drenagem nestas imagens do que nas MSS, proporcionando assim mapas de drenagem mais detalhados.

A Figura 17 apresenta o mapa de drenagem da passagem de 17 de julho de 1986, sendo o início da estação seca na região e um período de cheia, no sistema Lago Açú. O ano de 1986 também foi um ano chuvoso na região.

Neste mapa é observado um aumento do número de açudes, na bacia abastecedora do sistema Lago Açú, em relação ao ano de 1985, principalmente na porção Oeste e Sul da bacia. Este aumento do número de açudes a partir de 1985, coincide com o aumento das áreas de pastagem e agricultura na área de estudo.

É observado também neste mapa, a presença de vegetação aquática no Lago Açú. A área de ocorrência desta vegetação vem-se ampliando, de ano a ano, junto aos lagos. As imagens TM/LANDSAT, por sua maior resolução espacial, também permitiram que se mapeasse com mais facilidade este tipo de vegetação.

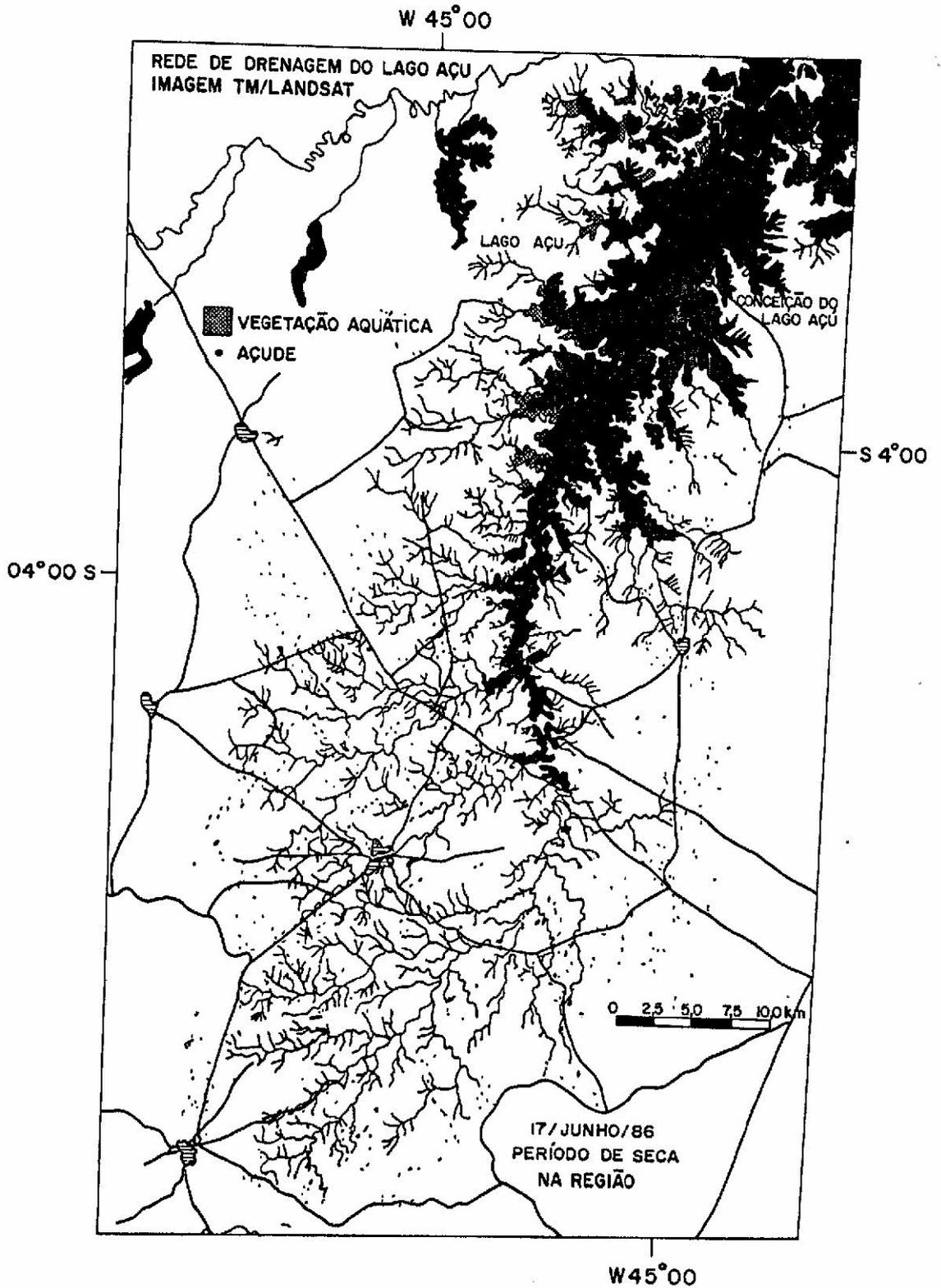


Fig. 17 - Rede de drenagem do sistema Lago Açu - 17 de junho de 1986.

A Figura 18 corresponde ao mapa de drenagem da passagem de 11 de novembro de 1987, sendo este um período de vazante do lago Açú e de início da estação chuvosa na região.

Na seção 4.2 já foi salientado que o ano de 1987 foi um ano seco para toda a área da bacia do sistema lago Açú e rio Mearim e, sendo início do período chuvoso é natural que os lagos ainda se encontrem com pouca água.

Nesta imagem não foi possível mapear os açudes na bacia do sistema lago Açú, devido a alta ocorrência de queimadas, que no canal TM4, apresenta a mesma tonalidade de cinza escuro que os corpos d'água. Os açudes por serem muito pequeno, acabam sendo confundidos com áreas de queimadas.

Neste mapa pode-se observar que grande parte da planície de inundação aparenta estar ocupada por vegetação aquática e/ou por vegetação do tipo gramínea que nasce durante o período de vazante, conforme pode ser observado durante os trabalhos de campo, na região.

A Figura 19 apresenta uma fotografia aérea de um trecho do lago Açú com presença de vegetação aquática.

A Figura 20 apresenta uma composição colorida TM/LANDSAT, do sistema lago Açú onde as tonalidades alaranjadas na planície de inundação correspondem a vegetação aquática e de gramínea própria de áreas alagadas temporariamente.

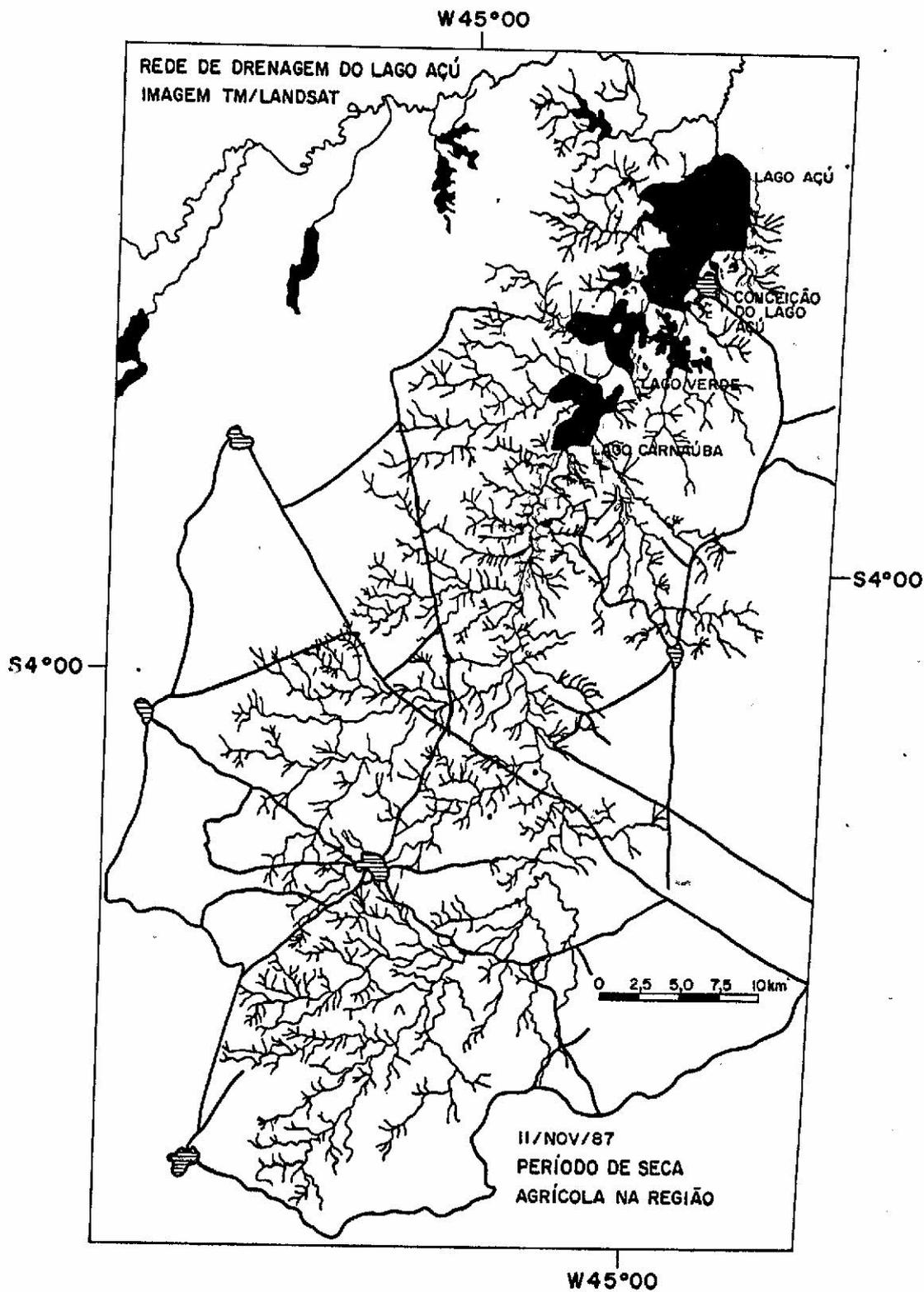


Fig. 18 - Rede de drenagem do sistema Lago Açú - 11 de novembro de 1987.

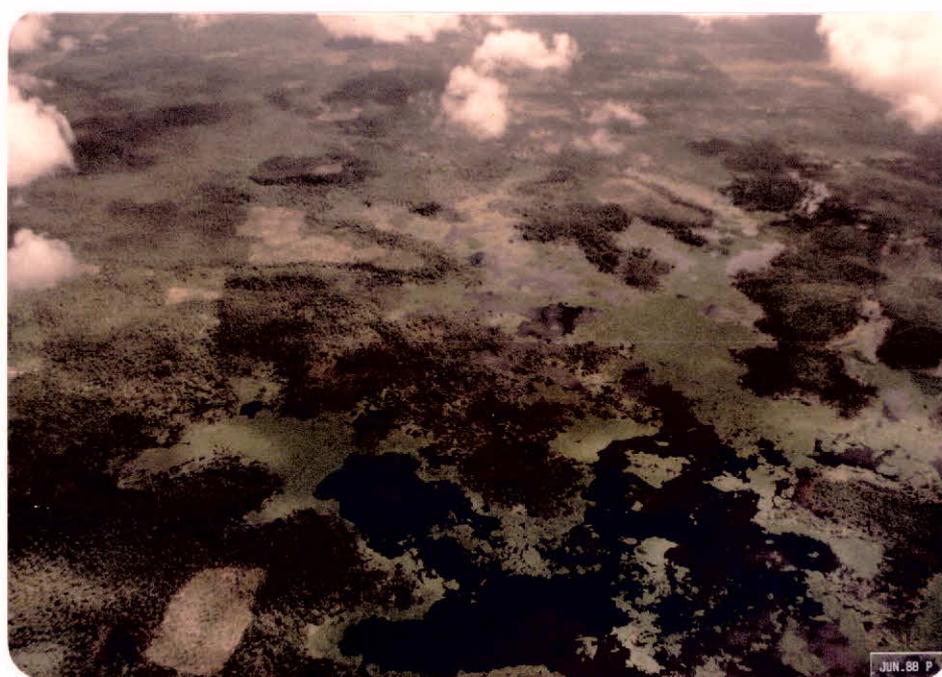


Fig. 19 - Vista aérea do Lago Açú com a presença de vege_ tação aquática.

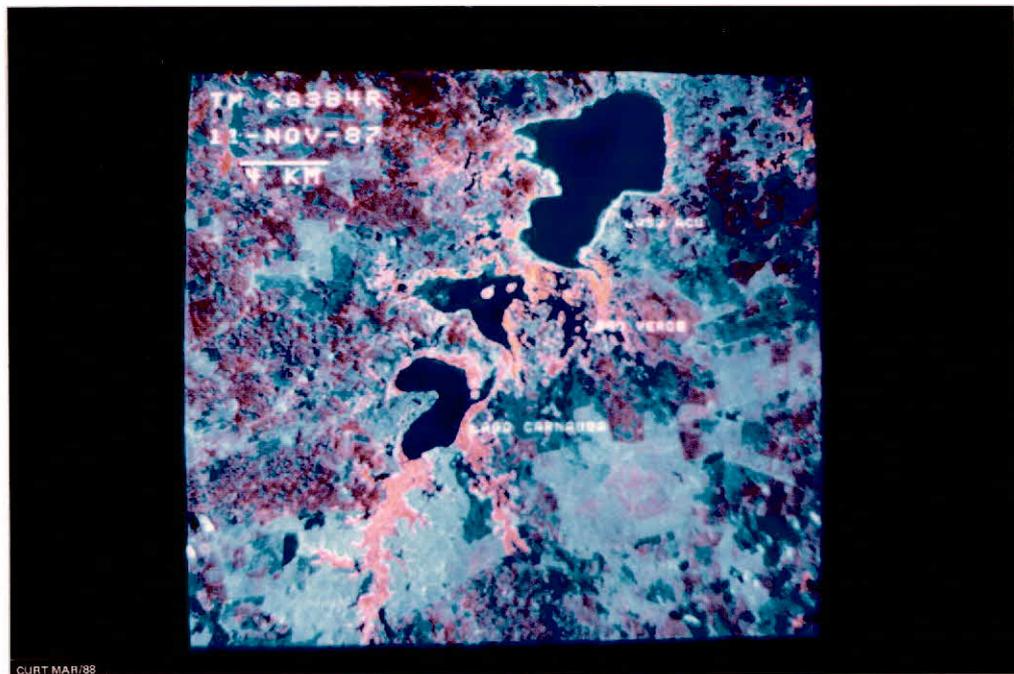


Fig. 20 - Composição colorida, imagem TM/LANDSAT, canais 2, 3 e 4, do sistema Lago Açú.

- Em vermelha a vegetação da mata, em azul claro com formas geométricas, as áreas de uso do solo e em laranja, a planície de inundação com a vegetação aquática e gramíneas.

A Figura 21 apresenta o mapa correspondente a passagem de 11 de julho de 1989, estação seca na área, início da vazante. Esta imagem apresentou uma grande cobertura de nuvens, o que impediu que se mapeasse adequadamente, tanto a rede de drenagem como o uso do solo na área.

Neste mapa pode-se observar também uma grande presença de vegetação aquática nas margens dos lagos.

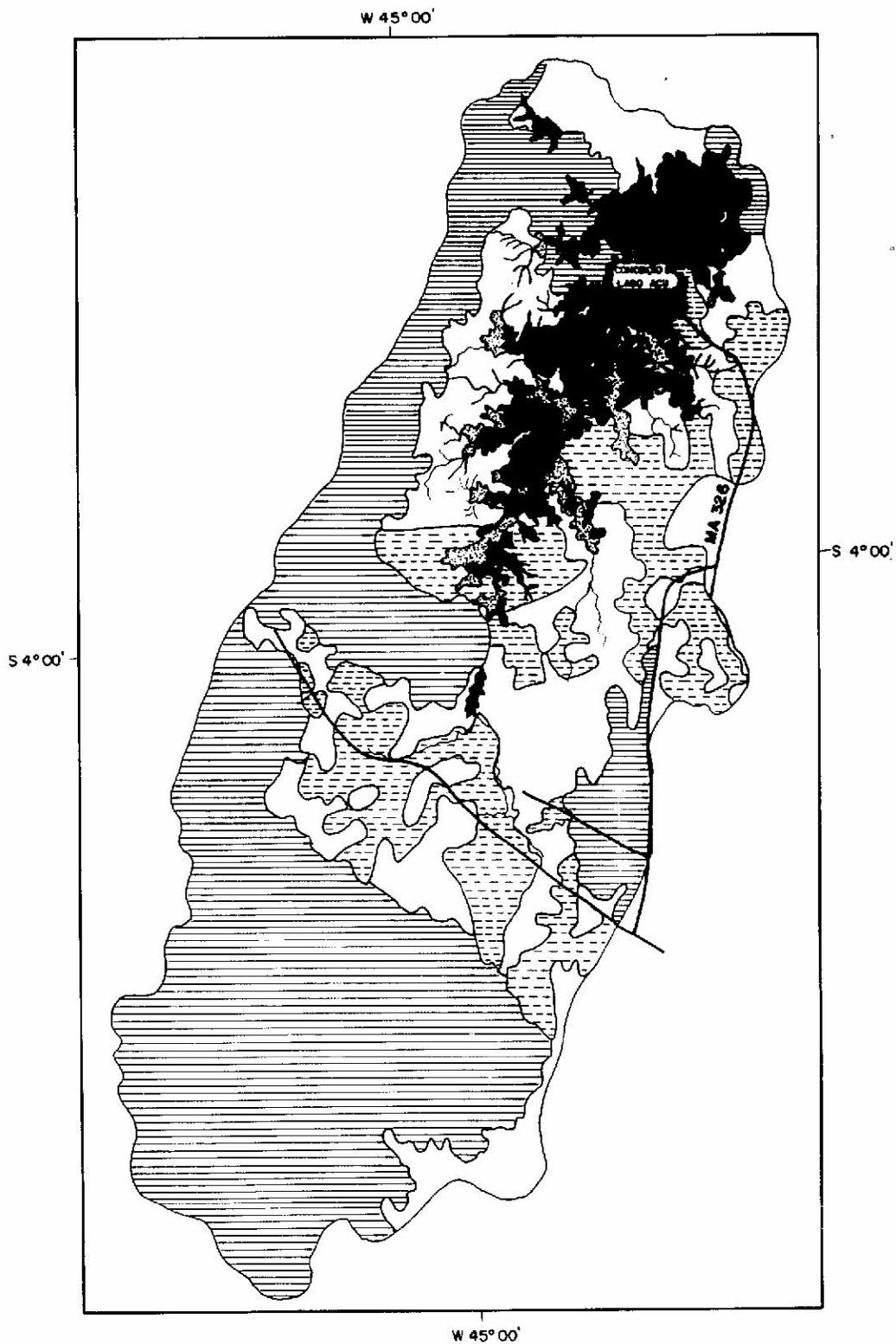
Durante os trabalhos de campo realizados no mês de agosto de 1989, constatou-se que esta vegetação é principalmente constituída de aguapês e aningas que as vezes atingem 1,5 metros de altura fora d'água, como pode ser vistos nas Figuras 22 e 23.

A vegetação de aguapês no lago Açú ocorre em grande quantidade e de forma densa, dificultando muitas vezes a navegação nos furos e igarapês que ligam o lago ao rio Grajaú.

Analisando-se temporalmente as imagens pode-se constatar que a ocorrência deste tipo de vegetação vem aumentando, sugerindo que pode estar ocorrendo mudanças na qualidade d'água do lago, que pode estar ocorrendo um processo de eutrofização.

A eutrofização é um processo natural, de enriquecimento de um corpo d'água, frequentemente acelerado pelas atividades humanas.

MAPEAMENTO DE ÁREAS PROVÁVEIS DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS
ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATELITE
BACIA DO LAGO AÇU-MA



Escala 1:250 000

0 2,5 5,0 7,5 10 12,5 Km

-  - ÁREAS PROVÁVEIS DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS (Pastagens e Cultivo Temporário)
 -  - LAGOS
 -  - RIOS
 -  - ÁREA URBANA
 -  - COBERTURA DE NUVENS
 -  - RODOVIAS
 -  - VEGETAÇÃO AQUÁTICA
- Dados da imagem
Órbita 221/63 Passag 11/Jul/89
Composição Colorida: Canais 2,3 e 4

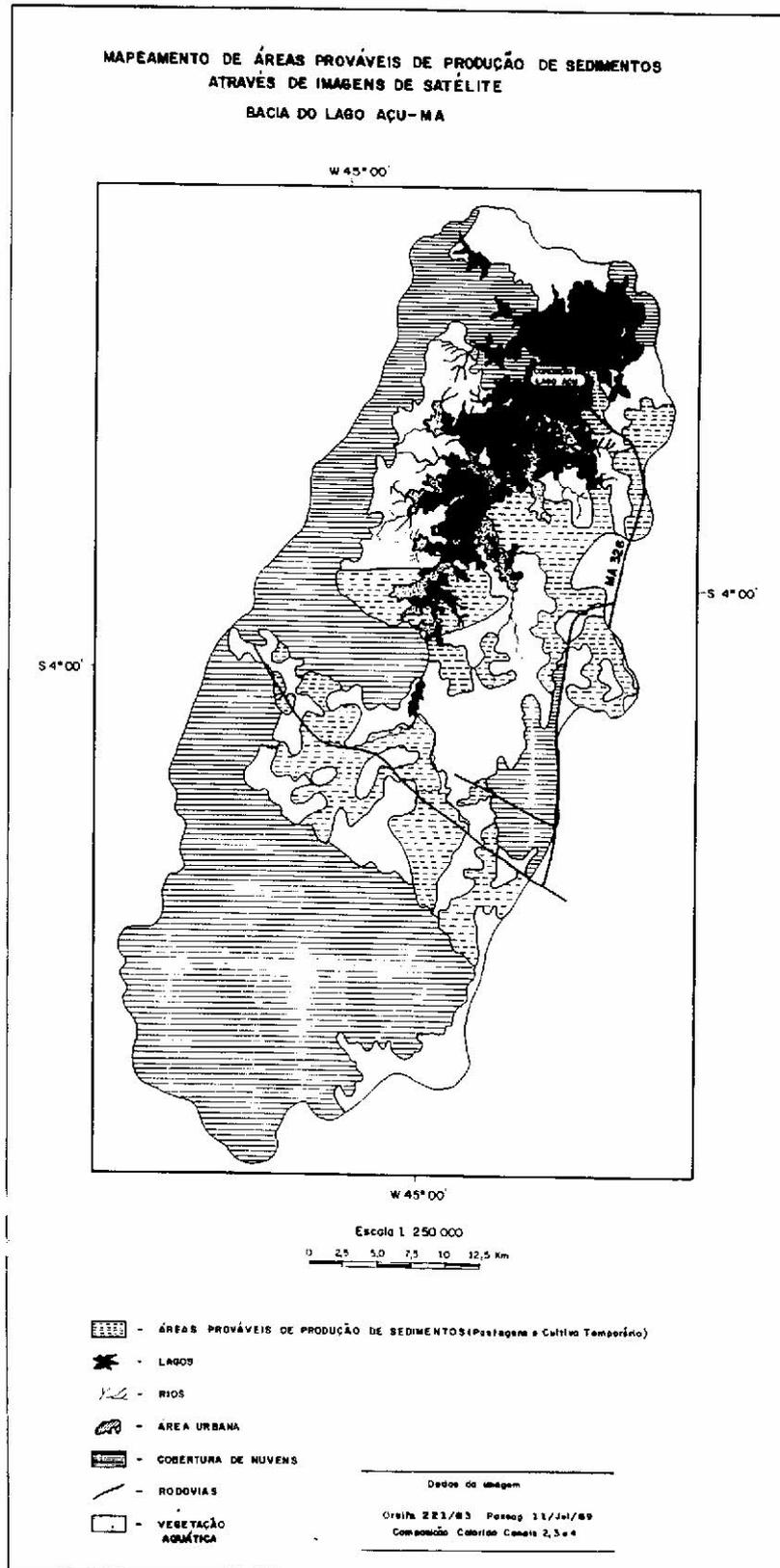


Fig. 21 - Mapeamento de áreas prováveis de produção de se dimentos através de imagens de satélite.



Fig. 22 - Vegetação de aguapés no Lago Açú.

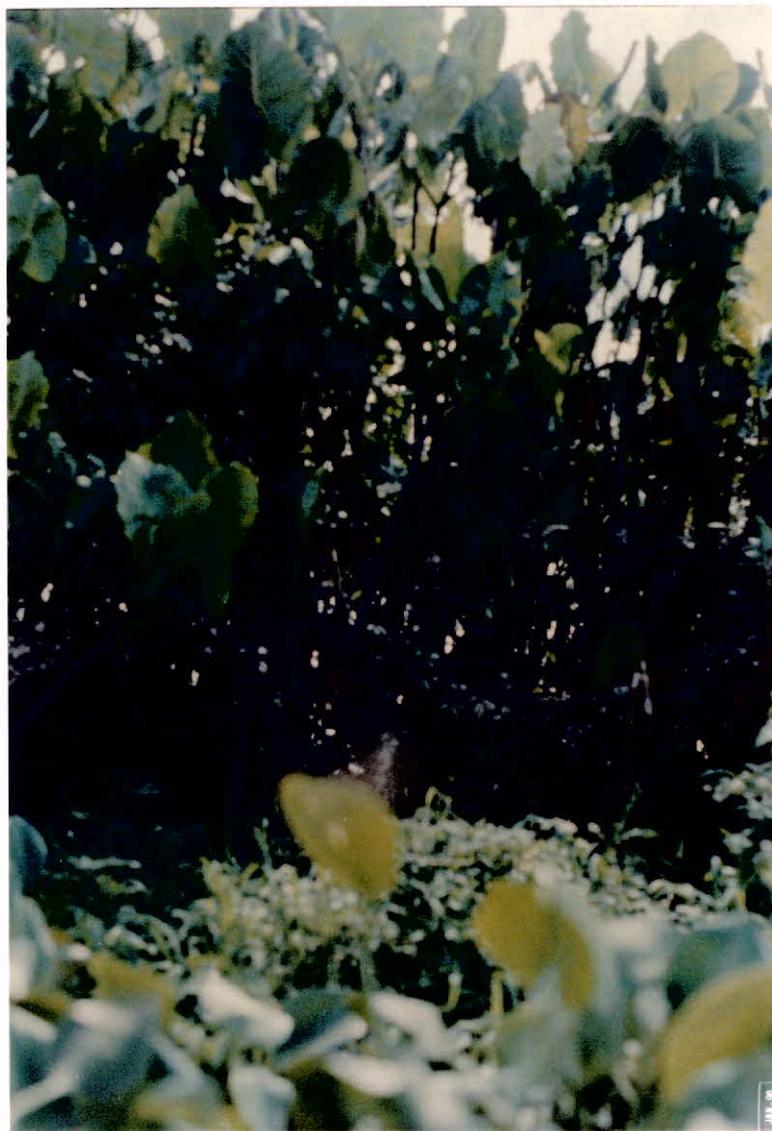


Fig. 23 - Vegetação de aninga no Lago Açú.

A principal manifestação da eutrofização é verificada pelo aumento da produtividade (variação da biomassa algal em função do tempo e/ou da vegetação aquática superior (aguapês)). Esse aumento de produtividade altera as propriedades ópticas da massa de água, chegando mesmo a alterar a sua transparência.

Este processo atua como um círculo vicioso, onde um aumento na quantidade de nutrientes, aumenta a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na água. O aumento na quantidade de nutrientes aumenta a quantidade de aguapês, que por sua vez aumenta a quantidade de matéria orgânica na água, que aumenta o DBO e assim sucessivamente.

O aumento da quantidade de nutrientes geralmente é acelerado pelas atividades humanas tais como, uso de agrotóxicos, desmatamento, produção de cinzas pelas queimadas, atividades agrícolas, efluentes domésticos e industriais, etc. Assim quanto mais intensa for a atividade humana na bacia, maior será a produção de nutrientes para os corpos d'água.

Isto pode levar a degradação da qualidade d'água e indiretamente atingir a fauna presente nos rios e lagos. Este talvez tenha sido um dos fatores causadores da mortandade de peixes no lago Açú, pois como já foi salientado na seção 4.1 as atividades humanas na bacia acentuaram-se rapidamente nos últimos 14 anos, o que certamente contribuiu com sedimentos orgânicos e inorgânicos para os lagos, principalmente os primeiros, favorecendo a produção de nutrientes.

Para que se possa ter uma visão mais detalhada da dinâmica do sistema lago Açú, nos últimos 14 anos, fez-se o cálculo da área ocupada pela lâmina d'água

nos diferentes anos analisados. A Tabela 3 apresenta estas medidas.

Analisando-se a Tabela 3 verifica-se que 1981 e 1987 foram os anos em que o sistema lago Açú apresenta as menores áreas, $62,2\text{km}^2$ e $55,4\text{km}^2$. Relacionando-se com os índices de precipitação ocorridos nestes anos tem-se que estes foram os dois anos mais secos no período analisado.

A imagem de 1981 corresponde ao mês de maio. Analisando-se os índices de precipitação, verifica-se que neste mês o total de precipitação foi de 32,6 mm, ou seja, muito abaixo da média (151,6mm) para o período de 1965-1988, na estação de Vitorino Freire.

Verifica-se também que nos meses que antecederam a maio, os totais de precipitação também situaram-se bastante abaixo da média. Assim tem-se para:

- janeiro - total 227,4 mm; média - 262,5 mm
- fevereiro - total 105,1 mm; média - 272,5 mm
- março - total 276,7 mm; média - 380,0 mm
- abril - total 118,4 mm; média - 313,4 mm

Com isto é natural que os lagos tivessem uma diminuição na área ocupada pela lâmina d'água, principalmente o lago Açú.

Para o ano de 1987 a imagem correspondente ao mês de novembro, um mês antes da ocorrência do fenômeno de mortandade de peixes no Lago Açú.

Verifica-se na Tabela 3 que foi neste ano que a lâmina d'água do lago Açú apresentou a menor extensão ($34,7\text{ km}^2$) assim como a área total ($55,4\text{ km}^2$) dos lagos.

TABELA 3

EXTENSÃO DA LÂMINA D'ÁGUA DO SISTEMA LAGO AÇÚ ENTRE

1975 e 1989

LAGOS/DATAS	AÇU KM ²	VERDE KM ²	CARNAU KM ²	TOTAL KM ²	PERÍODO	ESTAÇÃO
31.07.75	53,3	7,9	12,7	73,9	Vazante	Seca
24.05.81	43,8	8,7	9,7	62,2	Vazante	Seca*
01.09.85	184,8	-0-	-0-	184,8	Cheia	Seca
17.06.86	253,0	-0-	-0-	253,0	Cheia	Seca
11.11.87	34,7	11,0	9,8	55,4	Vazante	Chovosa*
11.07.89	142,6	-0-	-0-	142,6	Vazante*	Seca

OBS: (*) Início

Analisando-se os dados de precipitação para o ano de 1987, constata-se que em novembro o total de precipitações foi de 44,1 mm, estando um pouco abaixo da média (53,4 mm) para este período do ano. Os dois meses que antecederam novembro também apresentaram índices de precipitação muito aquém da média, tendo ocorrido 0,0 mm em setembro (média 12,6 mm) e 1,2 mm em outubro (média 29,3 mm).

Dezembro foi outro mês que também apresentou um total de precipitações (67,2 mm) muito inferior a média (125,4 mm).

Estes dados podem estar caracterizando um fenômeno comum a área, que é o Verânico ou seca agrícola que corresponde aos períodos prolongados de estiagem, que ocorrem quando do início do período típico de início das chuvas (novembro, dezembro e janeiro).

De acordo com o relatório da SHEMA (1988) a evaporação na área apresenta o seguinte comportamento: 160 mm/mês entre janeiro e julho e 220 mm/mês entre outubro e novembro, ou seja, além de ter ocorrido baixas precipitações entre setembro e dezembro este também é o período de maior evaporação na área.

Além disso as temperaturas na região são elevadas, estando as médias em torno de 28°C. Aliando-se todos estes fatores, poucas chuvas, período de alta evaporação e região de altas temperaturas, as perdas de água no lago, neste ano devem ter sido grandes.

Se compararmos os totais de precipitação entre o ano de 1981 e 1987, teremos respectivamente 988 mm e 1357 mm, ou seja, o ano de 1981 foi mais seco que o de 1987. Mas se analisarmos os totais mensais de chuvas para os meses

de outubro, novembro e dezembro, ou seja, início da estação chuvosa e período que ocorreu a mortandade dos peixes, temos:

	1981	1987	MÉDIA
- OUTUBRO	24,6	1,2	29,3
- NOVEMBRO	91,2	44,1	53,4
- DEZEMBRO	81,8	67,2	125,4

Pelos dados de precipitação verifica-se que o ano de 1981, ao contrário do ano 1987, apresentou totais mensais mais próximos da média, estando inclusive o mês de novembro muito acima da média. Além disso os menores totais mensais de precipitação em 1981, ocorreram nos meses de julho, agosto e setembro, isto é, fora do período de máxima evaporação na área, que é outubro e novembro.

Assim, apesar de 1981 ter sido um ano mais seco do que 1987, ele seguiu o regime normal das precipitações na área. Por esta razão acredita-se que não houve tanta perda d'água pelos lagos, como deve ter ocorrido no ano de 1987.

Para que se tenha uma visão mais clara da dinâmica do lago Açú, entre os períodos de cheia e vazante, fez-se a sobreposição das imagens TM/LANDSAT para as passagens de 17 de junho de 1986 e 11 de novembro de 1987. A Figura 24 apresenta o resultado desta sobreposição.

Em 1986 (cheia) o lago Açú ocupa uma área de 253 km², formando um corpo d'água único coalescente com os lagos Verde e da Carnaúba. Em 1987, os três lagos podem ser vistos separadamente. Juntos eles ocupam uma área de 55,4km², o que representa uma diferença de 197,6km², ou seja, 79% da área total no período de cheia.

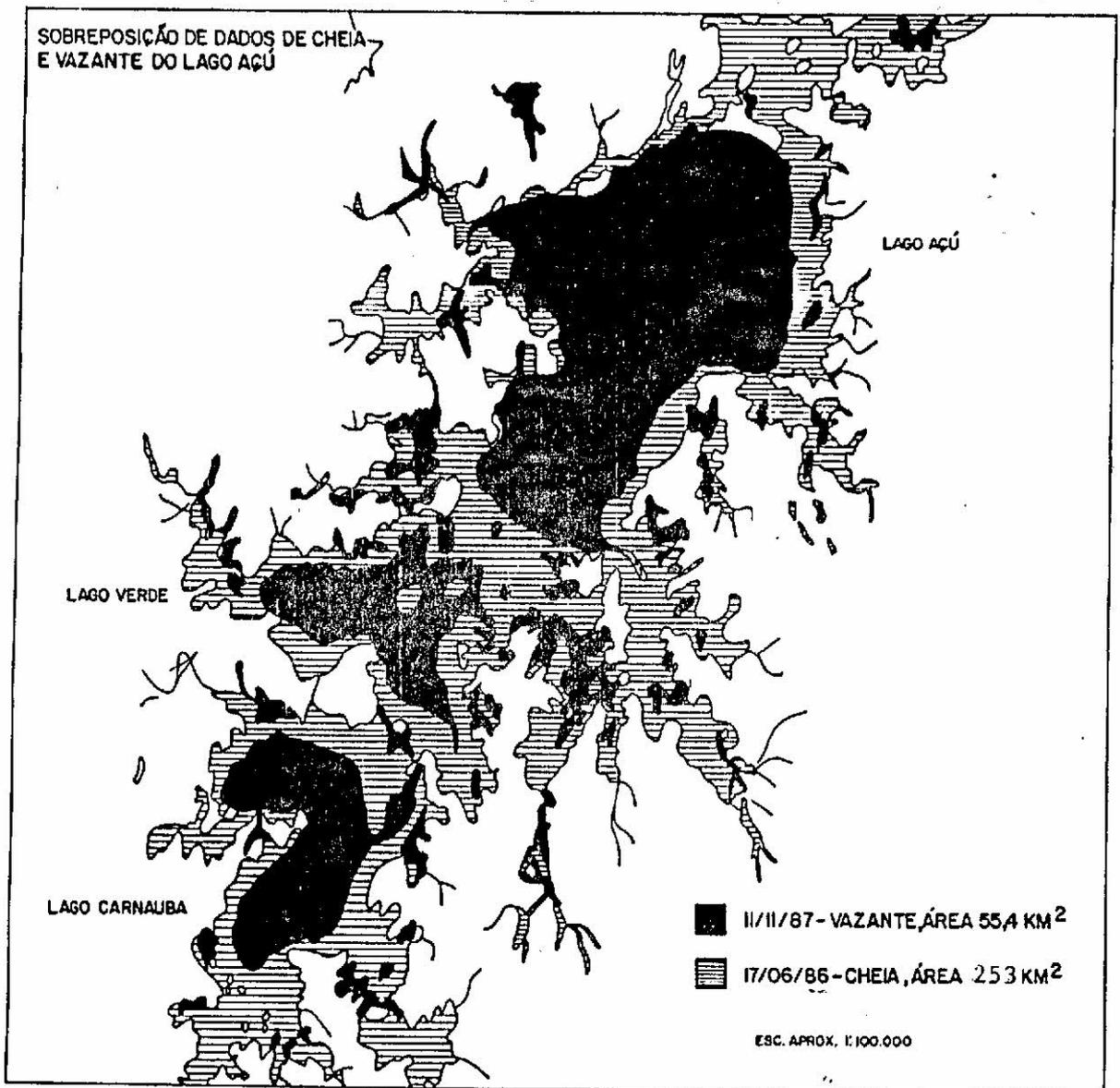


Fig. 24 - Sobreposição de duas datas de passagem do satélite LANDSAT (17 de junho de 1986 - 11 de novembro de 1987).

Sabe-se que a variação de tonalidade de cinza na superfície d'água, nas imagens LANDSAT na faixa do visível do espectro eletromagnético, é indicativa de maior ou menor concentração de sedimentos em suspensão na água. Estas tonalidades também podem fornecer indicações de trechos de menor profundidade, no corpo d'água.

Quando o material em suspensão na água (sedimentos orgânicos e/ou inorgânicos) afeta as suas propriedades óticas, alterando a transparência e aumentando a turbidez, é possível detectar-se esta variação através das imagens LANDSAT.

Assim, fez-se uma classificação temática, através do programa de Máxima Verossimilhança, para as imagens do lago Açú de 1986 (cheia) e 1987 (vazante).

A Figura 25 corresponde a imagem de junho de 1986. Por esta figura pode-se constatar que a porção norte do lago apresentou tonalidades de cinza mais claras que a porção sul. Isto, nos indica que as maiores concentrações de sedimento estão principalmente no trecho, correspondente ao lago Açú. As tonalidades mais escuras (menos sedimentos) correspondem aos trechos ocupados pelos lagos Verde e da Carnaúba.

Na margem direita do sistema lago Açú, estão localizadas as porções correspondente aos níveis mais claros de cinza, certamente com maiores concentrações de sedimentos e áreas mais rasas. São as áreas correspondentes as margens dos lagos.

Na margem esquerda vê-se a ocorrência de vegetação aquática.

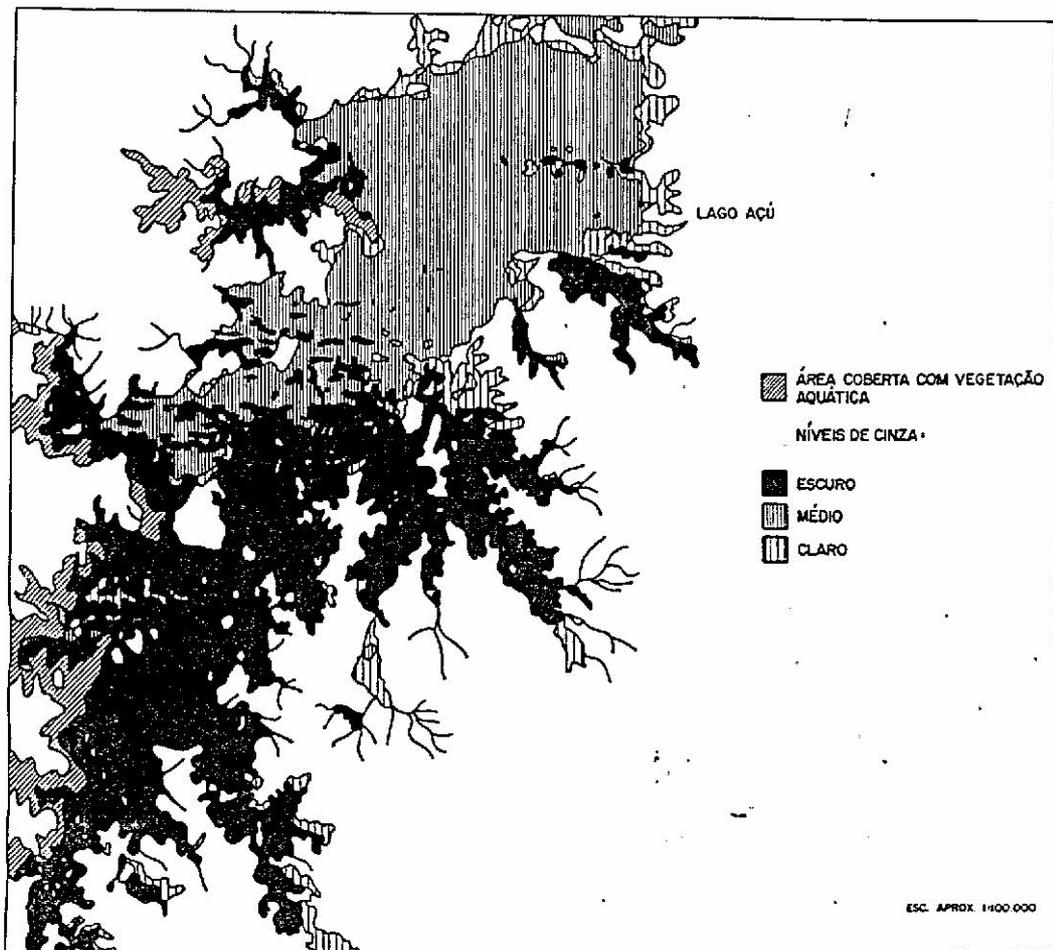


Fig. 25 - Classes de tonalidade de cinza na superfície do Lago Açú - Período de Cheia - 17 de junho de 1986.

A Figura 26 corresponde a imagem de 11 de novembro de 1987, período de vazante no lago. Por esta figura pode-se constatar que a tonalidade de cinza escuro, indicativa de menor concentração de sedimentos, restringe-se a uma pequena porção central do lago Açú. Isto provavelmente corresponde a áreas mais profundas, onde geralmente os sedimentos já depositaram; pode estar condicionado pela direção das correntes no lago ou pela direção dos ventos na área, que empurram os sedimentos para diferentes regiões.

O restante do lago corresponde a áreas de maiores concentrações de sedimentos, com tonalidades de cinza médio.

Nos lagos Verde e da Carnaúba é possível observar-se áreas de tonalidades claras e muito claras, indicando alta concentração de sedimentos em suspensão ou áreas com pouquíssima profundidade, como no caso do lago Verde que aparenta, nas imagens, ter sofrido uma grande perda d'água.

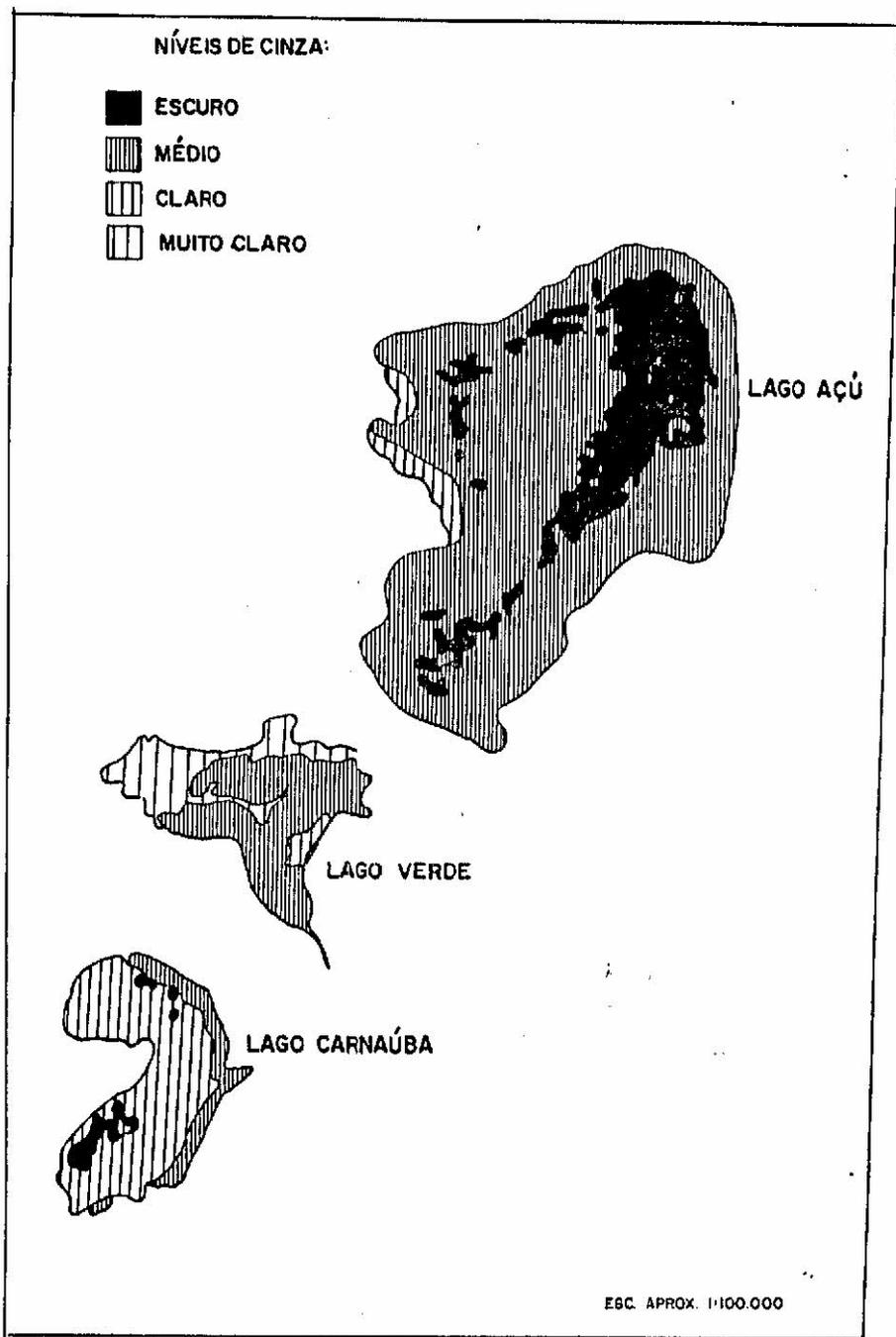


Fig. 26 - Classes de tonalidade de cinza na superfície do Lago Açú - Período de Vazante - 11 de novembro de 1987.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Ao final deste trabalho pode-se chegar as seguintes conclusões:

- O impacto da ação antrópica na bacia do lago Açú é bastante grande. Nos últimos 14 anos esta bacia vem sofrendo uma ocupação muito intensa, que está sendo ampliada nos últimos 4 anos. Esta ocupação caracteriza-se principalmente por desmatamentos acelerados, em função da implantação de pastagens.

Se este tipo de ação continuar sendo feita sem nenhum controle e no ritmo acelerado como o atual, poderá provocar transformações no meio físico da região que poderão agredir ao meio ambiente. Estas transformações podem ser a diminuição das precipitações pela retirada da floresta; dar início a processos erosivos na bacia; empobrecimento dos solos pelas queimadas; alteração da qualidade das águas; elevação das temperaturas, diminuição da umidade do ar e maior insolação e aquecimento dos solos pela retirada da mata.

- O incremento da malha viária na região é um dos fatores que facilitaram a expansão da ocupação da bacia do sistema lago Açú. Paralelamente tem-se a grande quantidade de projetos agrícolas financiados até 1983 que deve ter incentivado a expansão das áreas de pastagens. Aliado a estes dois fatores tem-se a presença de pastagens e áreas agrícolas.
- Ainda não são observados processos de erosão acelerada, tais como ravinas e voçorocas, na bacia do sistema lago Açú. Porém se as áreas de pastagem e agricultura não observarem técnicas adequadas de

manejo e as queimadas continuarem a ocorrer com a mesma grande frequência, os processos erosivos mais intenso poderão dar início na bacia. Vale lembrar que os solos antes cobertos e protegidos pela vegetação de floresta, hoje estão mais expostos, sujeitos ao escoamento superficial. Isto poderá dar origem a produção de sedimentos inorgânicos (silte e argila) para os lagos. Estes unindo-se ao já produzido pelo uso de agrotóxicos e nutrientes sintéticos, oriundos das pastagens e áreas agrícolas, serão carregados para os corpos d'água.

- Salienta-se que o lago não deve estar sofrendo um processo de sedimentação acelerado por deposição de silte e argila, pois conforme já salientado, não foram observados processos erosivos acelerados na bacia e além do mais, a área não possui relevos de gradientes acentuados que facilitariam este processo. Esta é uma área de planície fluvial, formada principalmente por material do quaternário (aluviões), portanto uma área natural de deposição.
- Tentar preservar ou incentivar o plantio da mata de galeria na região, para que os rios, córregos e arroios sejam preservados. Esta é praticamente inexistente na área.
- Realizar um estudo do regime das precipitações para verificar se elas estão sofrendo alterações devido ao desmatamento na área. Sabe-se que a retirada da mata altera a evapotranspiração e a temperatura. Uma das principais funções da mata é manter o equilíbrio entre os dois elementos.
- Realizar um estudo e manter maior controle sobre a vazão do rio que abastece o sistema lago Açú, para

verificar se está sofrendo modificações devido ao uso do solo na bacia, bem como para planejar ações futuras nos lagos.

- Manter um controle do aporte de sedimentos que chegam ao sistema lago Açú, oriundos da bacia abastecedora. Isto pode ser feito nos rios e córregos que abastecem os lagos e ser correlacionado com a taxa de ocupação da bacia. Esta informação permite que se faça um maior controle nos processos de sedimentação nos lagos.
- Avaliar o aporte de sedimentos orgânicos e inorgânicos que chegam ao lago, para poder fazer um controle da qualidade da água do lago.
- Monitorar a qualidade da água dos lagos para verificar se está sendo alterada em função da ocupação humana na bacia. Manter um controle na mesma para evitar que ela atinja graus de deterioração que possam afetar a fauna local.
- Realizar estudos batimétricos nos lagos, para verificar se realmente ele está sofrendo processos de sedimentação. Se possível obter dados de batimetria mais antigos, para realizar comparações com dados recentes.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, W.S. Metodologia de Sensoriamento Remoto no Monitoramento de Modificações no Canal Fluvial e Atualização de Cartas Náuticas. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 1989. (INPE-4863-TDL/374).

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Mapa Geológico do Estado do Maranhão.** 1986

ENGESPAÇO. **Manual do Usuário do Sistema de Informações Geográficas.** São José dos Campos, 1989.

KUHLMANN, E. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil. Região Nordeste,** Rio de Janeiro, SERGRAFF, 1977. v.2, p. 85-110.

MARANHÃO. Secretaria das Minas e Energia e Meio Ambiente (SMEMA). **Síntese do relatório do impacto ambiental na bacia do Lago Açú.** São Luiz, 1988, p. 1-30.

MOREIRA, A.A.N. Relevo. In: IBGE: **Geografia do Brasil: Região Nordeste.** Rio de Janeiro, SERGRAF, 1977. v.2, p. 1-30.

NIMER, E. Clima. In: IBGE. **Geografia do Brasil: Região Nordeste.** Rio de Janeiro, SERGRAF, 1977. v.2, p. 47-59.

SAUSEN, T.M.; FARIA, K. **Impacto da Ação Antrópica na Bacia do Lago Açú (MA) Através de Imagens LANDSAT.** INPE-520-REP/614. São José dos Campos, fev. 1990.

TRIMBLE, S.W.; WIEICH, F.H.; HOAG, B.L. **Reforestation and the reduction of water yield on the southern piedmont since Circa 1940.** Water Resources Researches, 23(3):425-437, Mar. 1987