

AVALIAÇÃO DE DADOS MULTITEMPORAIS DO LANDSAT NO ACOMPANHAMENTO DA VARIAÇÃO  
DA LÂMINA D'ÁGUA NA ÁREA-PROGRAMA DO CAREIRO-PDRI/AM

Madalena Niero  
Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto  
Paulo Roberto Martini

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq  
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

Glênio Bruck de Andrade

Centro de Desenvolvimento Pesquisa e Tecnologia do Estado do Amazonas  
Rua Emílio Moreira, 1308 - 69000 - Manaus - AM.

RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar a variação da lâmina d'água durante as situações de cheia (julho/1977; julho/1979 e julho/1982) e vazante (dezembro/1981), através da análise multitemporal de dados LANDSAT. Procurou-se verificar, através de processamento digital, a separabilidade espectral das classes caracterizadas pela presença de lâmina d'água com diferentes intensidades de participação na integração da resposta de um "pixel" na faixa do infravermelho próximo. Para isso utilizou-se o programa "Density Slicing" disponível no Sistema I-100. A análise multitemporal dos dados foi feita através da superposição de imagens referentes aos períodos de cheia e vazante. Foram geradas composições coloridas multitemporais utilizando os filtros (azul, verde e vermelho) disponíveis no Sistema Image-100. A área-programa do Careiro, na região adjacente à ilha do Careiro (AM), foi selecionada por ser uma área agrícola importante para a região e afetada periodicamente pelos processos de inundação. Foram analisadas as seguintes classes: lâmina d'água pouco profunda, lâmina d'água/vegetação e umidade. A técnica de classificação "Density Slicing" mostrou-se eficiente no processo de classificação das áreas inundadas. A análise multitemporal dos dados permitiu a detecção de áreas afetadas pelos processos de inundação nos períodos analisados.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the variation of the flooded area during high water situations (July/1977, July/1979 and July/1982) and low water situations (December/1981), through the analysis of multitemporal LANDSAT data. By means of digital processing it was verified the spectral separability of the classes, which were characterized by the presence of water surfaces with different intensities of participation in the

integrating response of a pixel in the near infrared band. A "Density Slicing" algorithm, implemented at the Image-100 system, was applied for this purpose. The multitemporal analysis of the data was accomplished through the registration of the images corresponding to dry and wet periods. Multitemporal color composites were generated utilizing the color filters available at the Image-100 system (blue, green and red). The area of the Careiro Program, in the region adjacent to the Careiro island (AM), was selected because it is an important crop land periodically affected by floods. The following classes were analyzed: water areas, shallow water areas, areas presenting water plus vegetation and humid areas. The "Density Slicing" technique showed efficient in the classification process of flooded areas. The multitemporal analysis of the data allowed the detection of areas affected by the flooding in the analyzed periods.

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos de inundação têm acarretado grandes prejuízos materiais e humanos e merecido ultimamente atenção por parte de órgãos governamentais.

Geralmente a avaliação da inundação, tem sido feita através de técnicas convencionais que não permitem uma visão mais abrangente dos danos causados por este evento.

Diversos autores, dentre os quais podem-se estar Kruus et alii (1981), Rose e Rosendahl (1983), Solomon e Klohn (1978), Novo et alii (1981) têm mostrado a grande potencialidade dos dados orbitais do LANDSAT para estudos de inundação.

No Brasil, a região de várzea Amazônica tem sido afetada periodicamente por processos de inundação, o que tem dificultado o aproveitamento agrícola destas áreas. Desta forma, órgãos governamentais atuantes nesta região têm mostrado interesse, através do PDRI (Projeto de Desenvolvimento Rural Integrado do Estado do Amazonas), em estudos que possibilitem a avaliação das áreas que são atingidas pela inundação.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a variação da lâmina d'água em áreas-programas do Estado do Amazonas, através de processamento digital de dados multitemporais do Sistema LANDSAT.

Para a realização deste trabalho, foi selecionada parte da área programa do Careiro, próxima a Manaus, com uma extensão de aproximadamente 600 km<sup>2</sup> (Figura 1).

A seleção da área é explicada pela necessidade de obtenção de dados referentes à variação da extensão da lâmina d'água para fins de planejamento do uso racional das áreas de várzea.

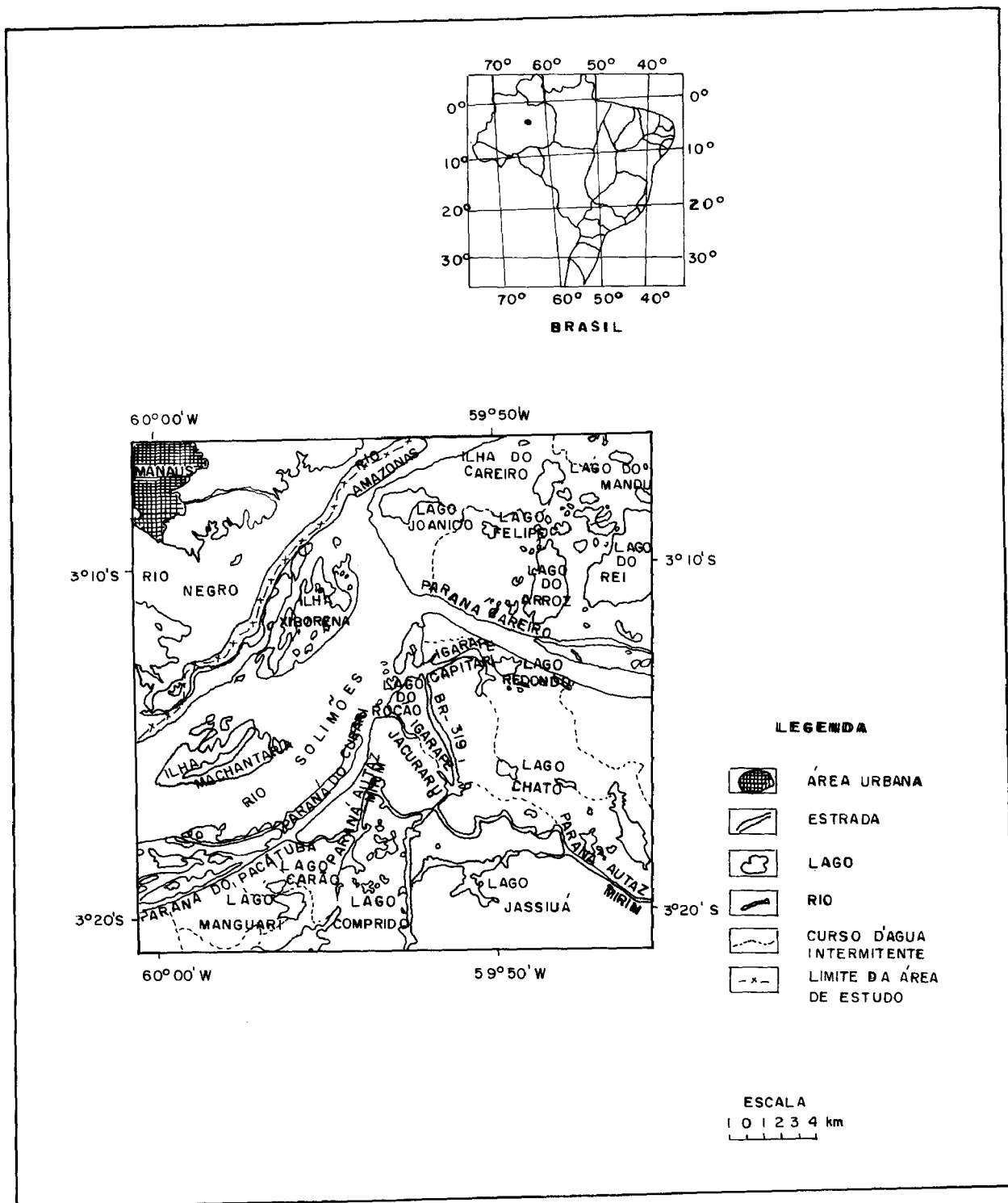


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

### 2.1 - Material

Para a análise da variação da lâmina d'água na área de estudo foram utilizados dados LANDSAT (CCTs) relativos aos períodos de cheia (31 de julho de 1977, 03 de julho de 1979 e 14 de julho de 1982) e vazante (01 de dezembro de 1981).

As imagens de 31 de julho de 1977 e de 01 de dezembro de 1981 exemplificam os dados relativos às situações de cheia e vazante, respectivamente.

A seleção das imagens foi feita através da análise das imagens LANDSAT livres de nuvens e com o apoio de dados hidrológicos disponíveis para a região.

A análise automática dos dados foi realizada através do Sistema Image-100.

### 2.2 - Método

As informações obtidas a partir dos dados LANDSAT referentes ao canal 7 foram adquiridas a partir de técnicas de análise digital de imagens.

A área de estudo foi ampliada na tela do Sistema I-100 até a escala aproximada de 1:100.000.

A análise dos dados obedeceu aos seguintes passos:

#### a) Classificação das áreas inundadas

A separação das diferentes classes de lâmina d'água foi feita a partir da utilização da opção de classificação "Density Slicing", descrita em Ribeiro et alii (1982). Este procedimento foi utilizado por Rose e Rosendahl (1983) na determinação da interface água/terra para avaliar problemas de inundação.

Durante o processamento digital das imagens referentes aos anos de 1981 e 1982 foi feita a análise dos dados utilizando a opção normal, enquanto para os anos de 1977 e 1979 utilizaram-se as opções normal e manual.

Inicialmente foram obtidas na tela do Sistema I-100 8 classes de níveis de cinza que a seguir foram reagrupadas em 4 classes, as quais tinham como referência os temas básicos do objetivo deste trabalho, isto é, lâmina d'água e área úmida.

Através do programa *Cálculo de Área* foram obtidas as áreas abrangidas pelas diferentes classes.

## b) Análise multitemporal dos dados LANDSAT

A superposição temporal dos dados foi feita através da utilização do programa *Registro de Imagens*, disponível no Sistema I-100. Na análise multitemporal utilizou-se o procedimento empregado por Novo (1983), adaptado de Eyton (1983).

No presente trabalho foram superpostas imagens MSS do canal 7, nos períodos de cheia e vazante, para verificar a extensão das mudanças ocorridas nos diferentes períodos analisados.

Para a obtenção das composições coloridas multitemporais foram utilizados os filtros disponíveis no Sistema I-100. O filtro vermelho foi associado à imagem referente ao período de vazante e o filtro "cyan" às imagens relativas à época da cheia.

As áreas com alta reflectância e baixa reflectância nas situações de vazante e cheia, respectivamente, apresentaram-se com coloração vermelha, o que indica, áreas atingidas pelos processos de inundação. Por outro lado, as áreas com baixa reflectância na vazante e alta reflectância na cheia foram associadas à cor "cyan".

As áreas que não sofreram mudanças durante o período de análise apresentaram-se em tons de branco e preto.

## c) Trabalho de Campo

Para a verificação dos resultados obtidos realizou-se um trabalho de campo na área de estudo, durante o período de vazante, devido à maior facilidade de penetração na área de estudo. Durante este trabalho de campo foram realizados perfis através das diferentes classes obtidas a partir de tratamento digital dos dados.

## 3. RESULTADOS

A interpretação e análise dos dados gerados permitiu a obtenção dos resultados abaixo relacionados:

### a) Classificação das áreas inundadas

Através da utilização do programa "Density Slicing" foi possível a obtenção de classes de níveis de cinza que puderam ser associadas às áreas com diferentes graus de ocupação de lâmina d'água e/ou umidade.

Os resultados da classificação utilizando informações obtidas durante as situações de cheia encontram-se exemplificados na Figura 2. Através da análise desta figura pôde-se verificar que a circulação das águas é desordenada durante o período das cheias, o que coincide com as afirmações de Soares (1977).

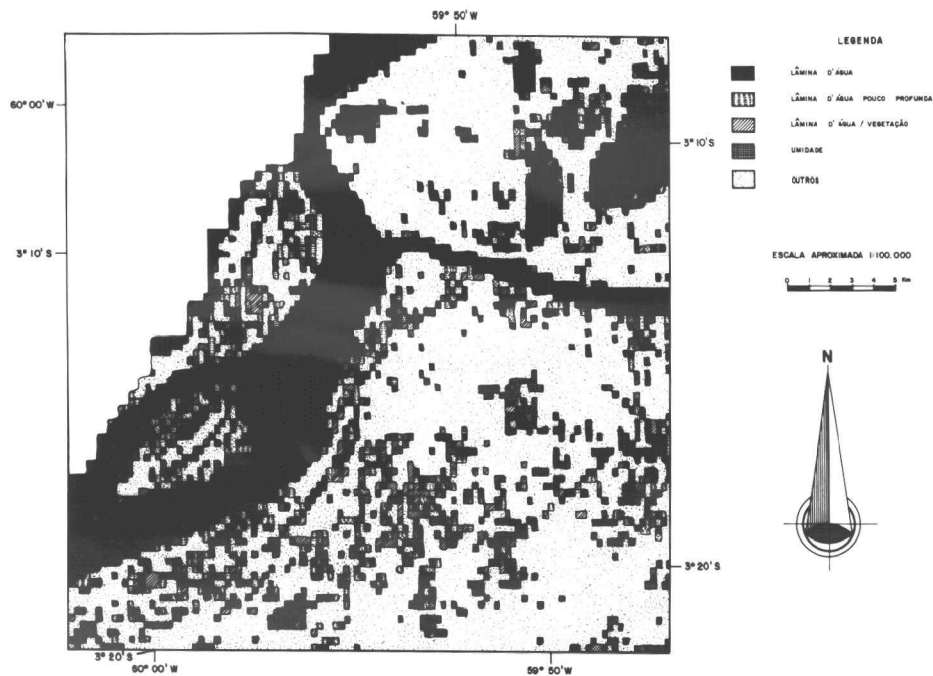


Fig. 2 - Classificação obtida através do programa "Density Slicing" (1977).

As quatro primeiras classes da Figura 2 associam-se à presença de lâmina d'água/umidade enquanto a classe 5 encontra-se relacionada à floresta de várzea, aos campos de várzea e à área de ocupação humana. A resposta espectral associada a cada classe obtida pode ser vista na Tabela 1.

TABELA 1

RESPOSTA ESPECTRAL DAS DIFERENTES CLASSES ANALISADAS NO CANAL 7-1977 (CHEIA)

CLASSE	DENOMINAÇÃO DA CLASSE	CLASSES DE NÍVEIS DE CINZA
1	Lâmina d'água	1-10
2	Lâmina d'água pouco profunda	11-20
3	Lâmina d'água/vegetação	21-30
4	Umidade	31-40
5	Outros	41-98

Através da análise da Tabela 1 pode-se verificar que os níveis de cinza aumentam consideravelmente nas áreas ocupadas com vegetação.

A classe *Lâmina d'água* é representada pelas águas que ocupam os canais fluviais e lagos de várzea existentes na área de estudo. Estes lagos segundo Soares (1977) recolhem parcela da descarga fluvial e funcionam como reservatórios de compensação das cheias dos rios, impedindo que estes alcancem níveis mais elevados.

Esta classe apresenta valores de níveis de cinza mais baixos devido à elevada absorção da radiação eletromagnética pela água na faixa correspondente ao canal 7.

A classe *Lâmina d'água pouco profunda* ocorre preferencialmente em áreas de drenagem superficial, apresentando padrão anastomosado, ou até mesmo caótico, que se instala na região no período da cheia. Esta classe inclui áreas ocupadas por igarapés, paranás e aquelas áreas que bordejam os canais fluviais principais. Apresenta valores baixos de nível de cinza no canal 7 (Tabela 1), embora superiores aos da classe anterior, provavelmente devido à resposta de fundo e aos sedimentos em suspensão. Em vista disto, foi denominada informalmente *lâmina d'água pouco profunda*, apesar de não existirem dados de campo que confirmem esta hipótese.

A classe *Lâmina d'água/vegetação* também aparece em áreas onde a drenagem tem um caráter anastomosado que complementa os cursos de igarapés em seus trechos mais estreitos, onde a resposta espectral é formada pela contribuição da resposta d'água e da vegetação, tendo em vista a resolução espacial do MSS do satélite. No campo verificou-se que esta classe, durante o período da vazante, é ocupada em alguns setores por campos de várzea.

A classe *Umidade* corresponde às áreas úmidas sem a presença explícita da lâmina d'água, sendo definida a partir da comparação com as classes anteriormente mencionadas. Comparando os dados obtidos com o mapa existente na área de estudo, verifica-se que na área de ocorrência desta classe há a presença de cursos d'água identificados como *intermitentes*. Este tema não apresenta uma distribuição preferencial na área de estudo.

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho é estudar a dinâmica da água na várzea, a classe 5 *Outros*, que inclui alvos não contaminados pela presença d'água, não será analisada.

A Tabela 2 mostra a área ocupada pelas diferentes classes analisadas.

TABELA 2

ÁREA OCUPADA PELAS DIFERENTES CLASSES ANALISADAS (1977)

CLASSE	DENOMINAÇÃO DA CLASSE	ÁREA	
		KM <sup>2</sup>	PORCENTAGEM
1	Lâmina d'água	181,385	28,13
2	Lâmina d'água pouco profunda	19,593	3,04
3	Lâmina d'água/Vegetação	24,316	3,77
4	Umidade	58,416	9,07
5	Outros	361,121	56,00

Através da análise da Tabela 2 pode-se verificar que, dentre as classes de interesse, a classe 1 é a que ocupa a maior porcentagem em área seguida pela classe 4. A grande porcentagem apresentada pela classe 1 é explicada pelo fato de a área abranger rios de grande porte. A área ocupada pela classe 4 pode ser associada à sua distribuição espacial, pois esta classe ocorre em toda a área de estudo.

A classificação obtida para a situação de vazante (01 de dezembro de 1981) encontra-se exemplificada pela Figura 3. Como pode ser observado pela análise desta figura, foi obtido menor número de classes que no período da cheia.



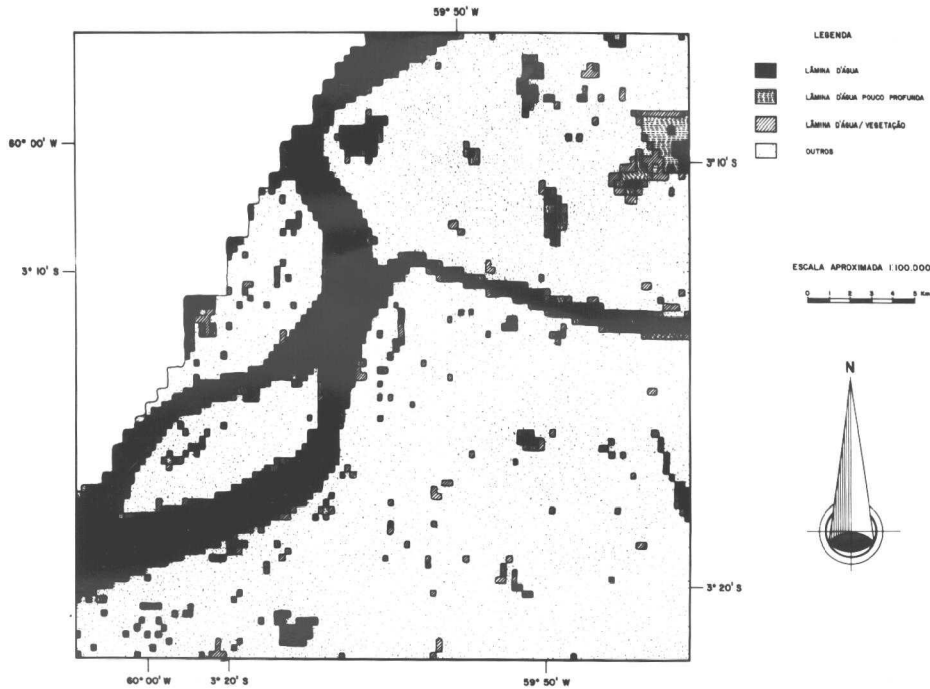


Fig. 3 - Classificação obtida através do programa "Density Slicing" (1981).

Segundo Soares (1977), na vazante os rios voltam aos seus leitos normais, a drenagem torna-se bem definida e os lagos de várzea passam a ocupar as depressões do terreno.

A Tabela 3 mostra a resposta espectral das diferentes classes analisadas no período da vazante.

TABELA 3

RESPOSTA ESPECTRAL DAS DIFERENTES CLASSES ANALISADAS (1981)

CLASSE	DENOMINAÇÃO DA CLASSE	CLASSES DE NÍVEIS DE CINZA
1	Lâmina d'água	1-25
2	Lâmina d'água pouco profunda	26-50
3	Lâmina d'água/vegetação	51-75
4	Outros	76-200

No período da vazante, quando o nível da água se apresenta mais baixo, foram obtidos valores de níveis de cinza mais altos que aqueles obtidos para o período da cheia. Isto pode ser explicado pelo fato de a resposta espectral dos alvos ser afetada pela variação de elevação do ângulo do Sol e pelas condições ambientais do período analisado, como por exemplo a umidade.

A classe 1 (Figura 3) representa áreas ocupadas pelo canal fluvial e pelos lagos de várzea.

Com relação à classe 2, esta aparece na área-limite dos diferentes lagos da região. Esta classe também aparece identificando um dos lagos de grande extensão na região, como pode ser observado na Figura 3.

A classe 3 ocorre junto aos principais corpos d'água da região e aparece definindo os cursos de igarapés que, nesta época do ano, se apresentam mais estreitos e ocupados por vegetação. Durante o trabalho de campo verificou-se que esta classe pode ser definida por uma camada de água rasa ocupada por gramíneas.

A classe 4, para esta situação, aparece representando as classes floresta de várzea, campos de várzea e áreas de ocupação humana. Aqui também a classe 4 não será considerada em face dos objetivos do trabalho.

A Tabela 4 mostra a área ocupada pelas classes definidas através do programa "Density Slicing".

TABELA 4

ÁREA OCUPADA PELAS DIFERENTES CLASSES ANALISADAS (1981)

CLASSE	DENOMINAÇÃO DA CLASSE	KM <sup>2</sup>	PORCENTAGEM
1	Lâmina d'água	106,719	16,55
2	Lâmina d'água pouco profunda	17,029	2,64
3	Lâmina d'água/vegetação	19,644	3,05
4	Outros	501,501	77,76

A classe 1 ocupa a maior porcentagem da área, seguida pela classe 3. A classe 2, embora apresente menor porcentagem, aparece mais restrita ocorrendo em área lacustre.

Comparando as Tabelas 2 e 4 verifica-se um decréscimo da área ocupada pelas classes analisadas durante o período de vazante, com exceção da classe 4. A classe *Lâmina d'água*, por exemplo, sofreu um decréscimo de 74,5 km<sup>2</sup> aproximadamente em sua área.

## b) Análise multitemporal dos dados LANDSAT

Esta fase do trabalho teve como objetivo analisar a variação espacial da lâmina d'água nas situações de cheia e vazante.

O resultado da superposição das informações contidas nas imagens referentes às situações de cheia e vazante pode ser exemplificado pela Figura 4.



Fig. 4 - Composição colorida multitemporal, obtida na tela do Sistema I-100, para os anos de 1977 e 1981.

As áreas representadas por diferentes tonalidades de vermelho indicam regiões ocupadas pela água ou inundadas durante a cheia. A maior intensidade da cor vermelha está associada a mudanças em termos de lâmina d'água entre as datas analisadas. As gradações de vermelho para as tonalidades mais claras provavelmente indicam uma participação menor da lâmina d'água, que pode ser associada a áreas com diferentes teores de umidade.

Por outro lado, as áreas que se apresentam com teores de umidade ou presença de lâmina d'água em dezembro de 1981 (vazante) estão associadas à cor "cyan".

As áreas que se apresentam em preto e branco e em tonalidades mais claras (tendendo ao branco) indicam áreas que não sofreram mudanças significativas de um período para o outro. Estas áreas representam, respectivamente, áreas com lâmina d'água permanente e áreas que aparentemente não foram afetadas pelo processo de inundação.

Analisando a Figura 4, observa-se que a ilha de Machantaria e as áreas marginais aos lagos da ilha do Careiro foram as que sofreram mais intensamente os processos de inundação.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

- a) os dados LANDSAT podem ser utilizados para delimitar a expansão e retração da lâmina d'água durante as situações de cheia e vazante, o que pode fornecer informações importantes para a implantação de projetos agrícolas em áreas de várzea;
- b) a identificação de áreas inundadas é possível através da utilização da opção de classificação "Density Slicing" para o canal 7;
- c) as composições multitemporais são úteis para detecção de níveis de inundação e estimativa da área inundada;
- d) a separação de áreas úmidas foi influenciada pela presença de vegetação densa (formações vegetais florestais);
- e) a resolução do sistema MSS/LANDSAT dificultou a delimitação da lâmina d'água dos rios mais estreitos, cuja resposta espectral provavelmente é afetada pela vegetação que ocupa as margens;
- f) os resultados obtidos foram parcialmente afetados pela ausência de equalização das imagens LANDSAT, pela utilização de procedimento de superposição ainda em fase de operacionalização (apresentam ainda distorções geométricas) e pela baixa frequência de imagens livres de cobertura de nuvens.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

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

KRUUS, J.; DEUTSCH, P.L.; HANSEN, P.L.; FERGUSON, H.L. Flood applications of satellite imagery in: Annual Willian T. Pecora Memorial Symposium on Remote Sensing, 5., SIOUX FALLS, SD, 1979. *Satellite Hydrology*; Proceedings. Minneapolis, MN, AWRA, 1981. p. 292-301.

NOVO, E.M.L.M. Aplicaciones de los sensores remotos a problemas hidrológicos e inundaciones. São José dos Campos, INPE, out., 1983. (INPE-2896-PRE/415).

NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M.; PINTO, S.A.F. Relatório Preliminar do Projeto CNPq-INPE/CEPA-AM (Área Piloto - Terra Preta do Limão). São José dos Campos, INPE, out., 1981. (INPE-2245-RTR/004).

RIBEIRO, E.A.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. Manual de usuários dos sistemas de tratamento de imagens digitais. São José dos Campos, INPE, Departamento de Informática - DSG-LTID. out., 1982. Versão 1. p. 36-37.

ROSE, P.W.; ROSENDAHL, P.C. Classification of LANDSAT Data for Hydrologic Application, Everglades National Park. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49 (4): 505-511, Apr., 1983.

SOARES, L.C. Hidrologia. IN: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil: Região Norte. Rio de Janeiro, 1977. V. 1, p. 95-116.

SOLOMON, S.O.; KLOHN, W. Applications of remote sensing to assessment of water resources. In: ESA. Earth Observation from Space and Management of planetary resources, Toulouse, Mar. 1978. *Proceedings*. Paris. Esa 1978, p. 49-61 (ESA SP-134).