

# RECURSOS HÍDRICOS POR SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL: EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

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

## RESUMO

Este relatório apresenta uma seleção de aplicações de Sensoriamento Remoto Orbital em Recursos Hídricos desenvolvidas no Instituto de Pesquisas Espaciais. São descritas as especificações gerais que definem os satélites de Sensoriamento Remoto e apresentadas as características técnicas dos subsistemas dos LANDSATs 1, 2, 3 e 4. São discutidos os atributos espaciais, temporais e espectrais da água nas imagens, bem como os métodos de análise para aplicações em recursos hídricos. Os exemplos de aplicações referem-se ao monitoramento de lâmina d'água, à análise de sedimentos em suspensão, à distribuição espacial de poluentes, ao levantamento de corpos hídricos superficiais e ao mapeamento de aquíferos aluvionares.

## ABSTRACT

This paper reports selected applications of orbital remote sensing to water resources undertaken by INPE. General specifications of earth application satellites and technical characteristics of LANDSAT 1, 2, 3, and 4 subsystems are described. Spatial, temporal and spectral image attributes of water, as well as methods of image analysis for applications to water resources, are discussed. Selected examples are referred to flood monitoring, analysis of water suspended sediments, spatial distribution of pollutants, inventory of surface water bodies and mapping of alluvial aquifers.

## 1. INTRODUÇÃO

O advento do satélite como plataforma de coleta de dados de recursos naturais acaba de completar 10 anos. As aplicações desenvolvidas neste tempo demonstraram que novas perspectivas se abriram aos técnicos e cientistas envolvidos com mapeamento e prospeção dos recursos da Terra.

O INPE vem atuando desde 1968 na área de Sensoriamento Remoto aplicando esta nova tecnologia e desenvolvendo novos métodos de mapeamento. Parte deste trabalho foi realizado na área de recursos hídricos e alguns exemplos relacionados com inventários de mananciais serão aqui apresentados.

## 2. SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO

### 2.1 - DEFINIÇÃO

Desde que Sensoriamento Remoto pode ser definido como a técnica de coleta, processamento e análise da radiação eletromagnética emitida, refletida ou espalhada pelos alvos na superfície da Terra, e que esta técnica por motivos históricos está relacionada com recursos naturais, as plataformas orbitais relacionadas com Sensoriamento Remoto têm características bastantes particulares. Resumidamente, podem ser mencionadas:

- a) Órbita: polar, heliosíncrona.
- b) Resolução espacial: alta resolução, tamanho de "pixel" do sensor deve variar de 80 x 80 m até 30 x 30 m, ou menor.
- c) Largura de bandas: bandas estreitas ( $\leq 1 \mu\text{m}$ ), centradas nos picos de absorção ou reflexão dos principais alvos naturais como água, vegetação, solos, rochas, etc.
- d) Distribuição das bandas espectrais: dentro do espectro emitido ou refletido, várias bandas tanto na região do visível, quanto no infravermelho próximo e médio. Uma banda pelo menos no distante (termal).
- e) Repetitividade: ciclo nominal de recobrimento que varia entre 10 e 20 dias.
- f) Quadro sinótico: imageamento simultâneo ao nível regional e quadros discretos não superiores a 35.000 km<sup>2</sup>.

Estas características entre outras definem os satélites de sensoriamento remoto ou de recursos terrestres. Um outro grande conjunto de satélites que também se utiliza de técnicas de sensoriamento remoto e aquele dos satélites meteorológicos. Divididos em dois grupos, os de órbita geoestacionária da série SMS-GOES e os de órbita polar da série NOAA, estes satélites operam com resolução espacial mais baixa, porém com repetitividade sensivelmente maior. Assim, a resolução espacial dos satélites meteorológicos é de 1 km na série NOAA e 8 km na série GOES, enquanto a repetitividade é respectivamente de 4 horas e de 30 minutos. Estas características diferem bastante os satélites de sensoriamento remoto de recursos terrestres dos satélites meteorológicos. Estes foram desenhados para estudar e monitorar eventos oceanográficos e meteorológicos de grande dinâmica, própria sob o ponto de vista temporal. Embora estas características dos satélites meteorológicos inibam o desenvolvimento de aplicações em recursos terrestres, existem exemplos de utilização de imagens NOAA para levantamento de recursos naturais (Berg et alii, 1981; Tarpley and McGinnis Jr., 1984).

### 2.2 - SATÉLITES DA SÉRIE LANDSAT

O primeiro satélite de Sensoriamento Remoto foi o LANDSAT 1, lançado pela NASA em julho de 1972; dotado de dois subsistemas sensores, um imageador multiespectral (MSS) e um conjunto de três câmeras Vidicon (RBV). O LANDSAT 1 operou até 1975. O LANDSAT 2 lançado neste mesmo ano manteve a configuração do MSS, modificando o número e a faixa de sensibilidade das câmeras Vidicon. Em 1978 foi lançado o LANDSAT 3 que incorporou ao subsistema MSS um canal na faixa do infravermelho termal (10,4-12,6  $\mu\text{m}$ ). (Tabela 1).

TABELA 1

BANDAS ESPECTRAIS E RESOLUÇÕES ESPACIAIS  
DOS SUBSISTEMAS SENSORES DO LANDSAT 1

LANDSAT 3		
	RBV	MSS
CANAL ( $\mu\text{m}$ )	1:0,505 - 0,750	4:0,5 - 0,6 5:0,6 - 0,7 6:0,7 - 0,8 7:0,8 - 1,1 8:10,4 - 12,6
Resolução (metros)	40	80 250 (canal 8)

Em julho de 1982 foi lançado o LANDSAT 4 que manteve a configuração do MSS e marcou o advento de uma nova geração de sensores orbitais através do Mapeador Temático (TM- Thematic Mapper), com características técnicas muito superiores ao MSS, principalmente no que se refere à resolução espacial e ao número e intervalos das bandas espectrais (Tabela 2).

O INPE, desde julho de 1973, portanto um ano após o lançamento do LANDSAT-1, coleta, processa e distribui dados destes satélites através da Estação de Recepção de Cuiabá (MT) e do Laboratório de Processamento Eletrônico e Fotográfico de Cachoeira Paulista.

### 3. DADOS DE SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO

#### 3.1 - IMAGENS

Os dados coletados pelos sistemas sensores destes satélites são níveis de radiação emitidos ou refletidos pelos alvos dentro de determinados intervalos de comprimento de onda. Estes níveis são coletados, linha por linha, na direção transversal ao deslocamento do satélite. São registrados ponto a ponto em fitas magnéticas de alta densidade e, posteriormente, no laboratório de processamento, formatados em fitas compatíveis com computador (CCT) e em negativos ou positivos (1:3.600.000), que permitem reproduções e ampliações fotográficas, em papel, até escalas de 1:250.000 (MSS) ou 1:100.000 (RBV). Na forma digital (fitas CCT) são formatados apenas dados MSS e, nesta forma, são possíveis diversos tipos de manipulação via computador, quer para o realce dos padrões de imagem, quer para a classificação automática destes padrões. Para tanto, o INPE utiliza-se de um Sistema Analisador de Imagens Digitais com o pacote de rotinas cujo "software" foi totalmente desenvolvido na instituição.

TABELA 2

BANDAS ESPECTRAIS E RESOLUÇÕES ESPACIAIS  
DOS SUBSISTEMAS SENSORES DO LANDSAT 4

LANDSAT 4		
	RBV	MSS
Canal ( $\mu\text{m}$ )	4: 0,5 - 0,6	1: 0,45 - 0,52
	5: 0,6 - 0,7	2: 0,52 - 0,60
	6: 0,7 - 0,8	3: 0,63 - 0,69
	7: 0,8 - 1,1	4: 0,76 - 0,90
Resolução (metros)	80	5: 1,55 - 1,75
		6: 10,4 - 12,5
		7: 2,08 - 2,35
		120 (canal 6)

### 3.2 - ATRIBUTOS DE IMAGEM

Podem-se definir *atributos* como elementos mensuráveis ou passíveis de ser extraídos de um conjunto de dados.

As imagens, digitais ou fotográficas, possuem três tipos de atributos: os espaciais, os espectrais e os temporais. Os atributos espaciais são aqueles relacionados com a forma e o tamanho dos alvos. Swain e Davis (1978) assinalaram que a própria distribuição espacial dos níveis de cinza na cena é um atributo espacial. Assim, as formas e as dimensões apresentadas pelas áreas preparadas para cultivo são atributos espaciais das imagens (Figura 1).

Os atributos espectrais são aqueles relacionados com os intervalos espectrais de observação do sensor, ou seja, com o comportamento, em termos de resposta, que um alvo adota em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Assim, as diferentes tonalidades apresentadas pela vegetação, não visível (Figura 2) e no infravermelho (Figura 3), são atributos espectrais dela.

Os atributos temporais estão relacionados com as diferenças que um alvo apresenta, quer do ponto de vista espacial, quer do ponto de vista espectral; quando imageado em diferentes estações ou anos (Figuras 4 e 5).



Fig. 1 - Imagem MSS-5 da região de Santa Vitória do Palmar (RS).

A Figura 1 apresenta imagem MSS do canal 5 do LANDSAT 4 obtida em novembro de 1982. As glebas em tonalidade cinza-claro são áreas preparadas para o cultivo do arroz. Suas formas e dimensões são atributos espaciais características das imagens.

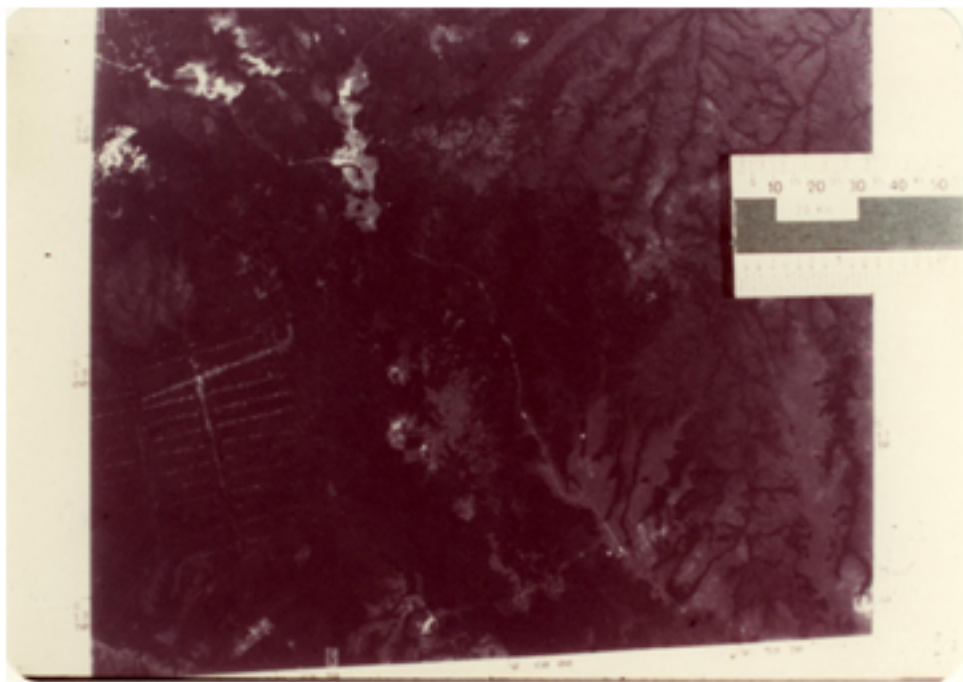


Fig. 2 - Imagem MSS do canal 5 (faixa do visível) da região de Vilhena (RO)

A imagem da figura 2 mostra a região adjacente a BR-364 (Cuiabá-Porto Velho) no trecho entre Vilhena e Barracão Queimado. Quatro tons de cinza estão associados a quatro diferentes tipos de cobertura vegetal: cinza-escuro corresponde à mata densa; cinza-médio à vegetação de cerrado, cinza-claro associado ao campo cerrado, principalmente no quadrante NW da imagem. Neste quadrante os tons de cinza mais claros associam-se a áreas sem qualquer cobertura vegetal.

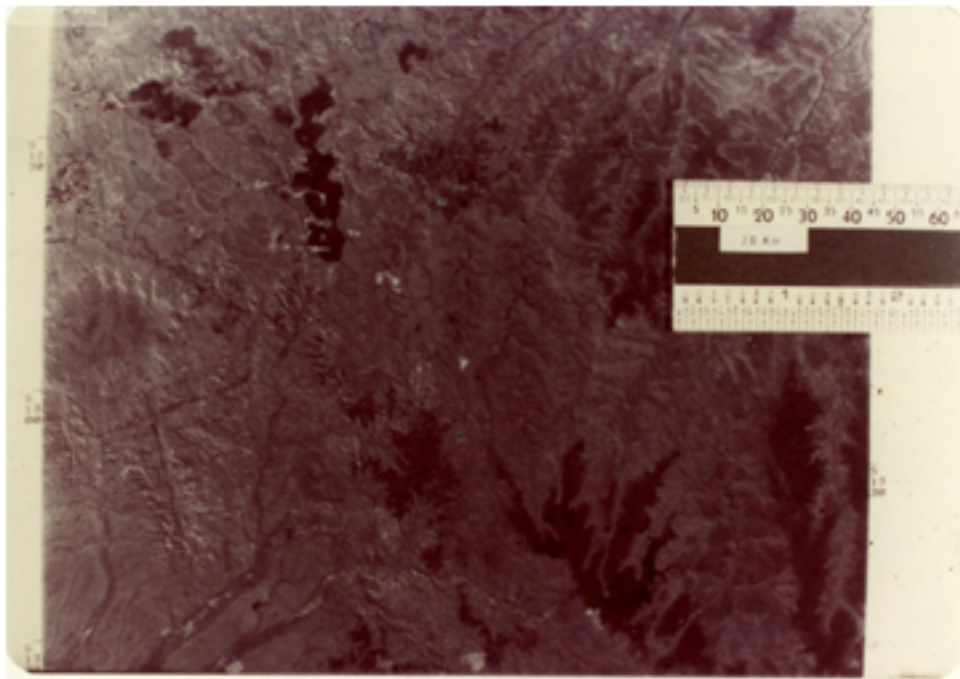


Fig. 3 - Região de Vilhena, Rondônia, imageada, no infravermelho próximo (canal 7).

No canal 7, apresentado na figura 3, o tom de cinza-claro está agora associado à vegetação mais alta e mais densa; o cinza médio ao cerrado e o cinza-escuro ao campo-cerrado. Este comportamento diferente de cobertura vegetal, em diferentes bandas, são atributos espectrais do alvo *vegetação* nas imagens.

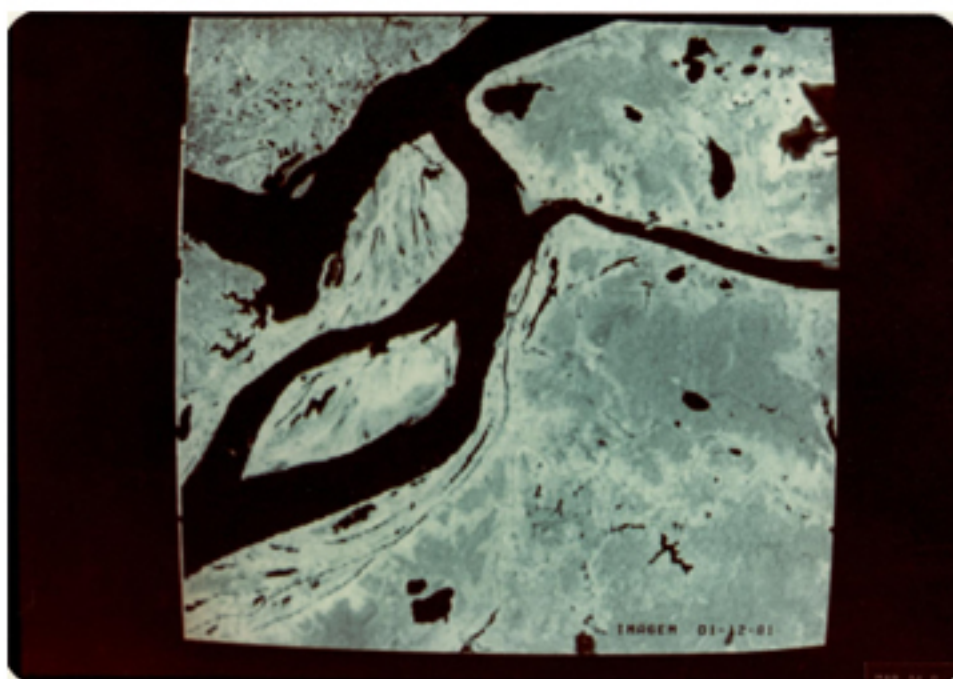


Fig. 4 - Imagem MSS-7 da região do Careiro (AM) na vazante.

A figura 4 apresenta uma imagem do canal 7 do LANDSAT 3, obtida em dezembro de 1981. A imagem mostra as águas do rio Negro, do rio Solimões, do rio Amazonas, do paranã do Careiro e dos lagos interiores por ocasião do final da estação seca na região.



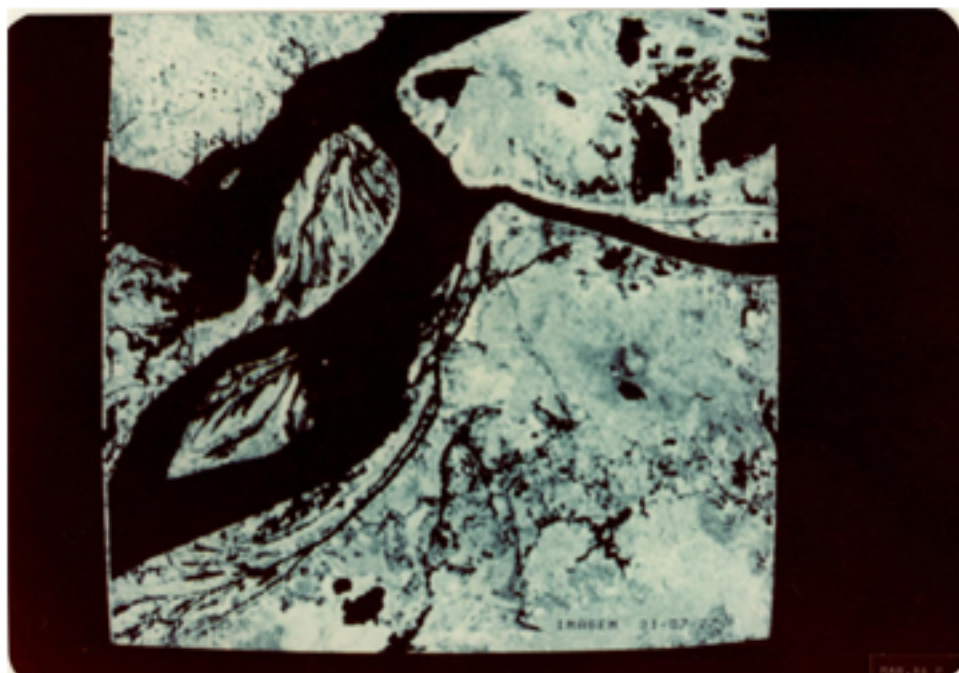


Fig. 5 - Imagem MSS-7 da Região do Careiro (AM) na cheia.

A figura 5 mostra a mesma região da figura 4, imageada em julho de 1977, no início da vazante. Observam-se diferenças marcantes na distribuição da lâmina d'água, principalmente nos rios Negros e Solimões, bem como nos lagos interiores quando comparadas com a figura anterior. Estas diferenças observadas no tempo são exemplos de atributos temporais das imagens.

#### 4. RECURSOS HÍDRICOS E SENSORIAMENTO REMOTO

##### 4.1 - CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Admite-se a superfície da Terra como o domínio imediato do Sensoriamento Remoto, isto porque a informação contida na radiação refletida refere-se aos primeiros milímetros da área imageada pelo sensor que opera na região refletida do espectro eletromagnético. Estas informações referentes à parte iluminada dos alvos, quando convenientemente interpretadas, permitem a análise do domínio interior à paisagem superficial. Neste contexto, tanto os corpos hídricos superficiais como os lençóis subterrâneos podem ser estudados através das imagens de satélites de sensoriamento remoto.

Uma vez conhecidos os atributos da água como alvo, o inventário e o monitoramento dos espelhos d'água superficiais, bem como a discriminação do alvo *água* em relação aos alvos adjacentes, são perfeitamente possíveis pela combinação da análise visual com a análise automática de imagens.

Por outro lado, conhecidos os atributos dos principais condicionadores de aquíferos subterrâneos (estrutura geológica e rochas armazenadoras), é possível indicar as áreas mais favoráveis para ocorrência de água, tanto ao nível de mapeamento regional, a partir da análise visual, quanto de se midetalhe, a partir de análise digital.

##### 4.2 - ATRIBUTOS DA ÁGUA NAS IMAGENS MSS

Segundo Herz (1977) a radiação eletromagnética ao penetrar na água sofre as seguintes interações: parte é refletida e parte é absorvida ou espalhada no meio líquido, num processo seletivo que depende do seu estado físico-químico e do comprimento de onda da radiação. Este efeito conjunto da absorção e espalhamento pode ser denominado atenuação.

Como a atenuação e a refletividade acontecem de maneira seletiva, isto é, condicionam-se ao estado físico-químico da água, pode-se considerar que diferentes tipos de água refletem diferentemente a radiação incidente. Assim, Polcyn e Rollin (1968) apresentaram graficamente curvas de atenuação para diversos tipos de água em função do comprimento de onda (Figura 6).

Através do gráfico da Figura 6 pode-se observar que os menores coeficientes de atenuação correspondem à água destilada e à água oceânica. Os coeficientes crescem à medida que as águas aproximam-se de regiões costeiras, onde a concentração de sedimentos em suspensão aumenta em volume, ocorrendo também um aumento do tamanho da partícula. Tanaka et alii (1982) assinalam que partículas em suspensão e contaminantes na água servem para reduzir a transmissão da luz. Considerando que a transmissão tem uma correlação inversa com a reflectância, o aumento de concentração das partículas em suspensão em corpos d'água tende a aumentar a reflectância (Figura 7).

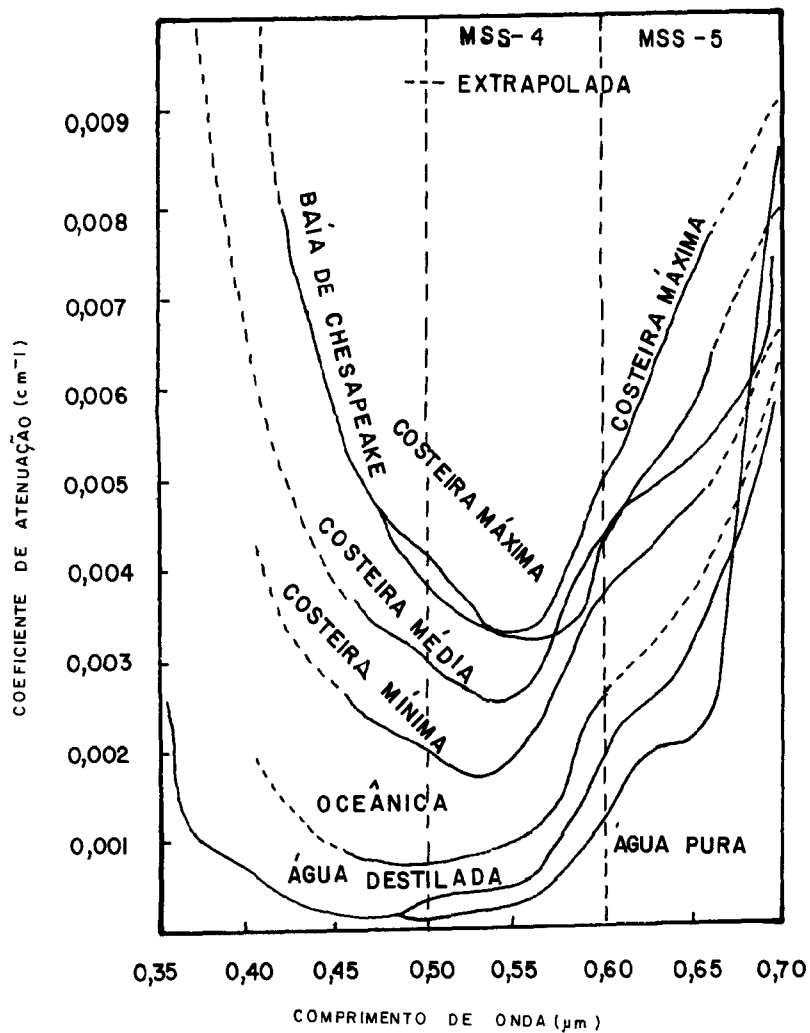


Fig. 6 - Curvas de atenuação de diferentes tipos de água.

FONTE: Polcyn e Rollin (1968).

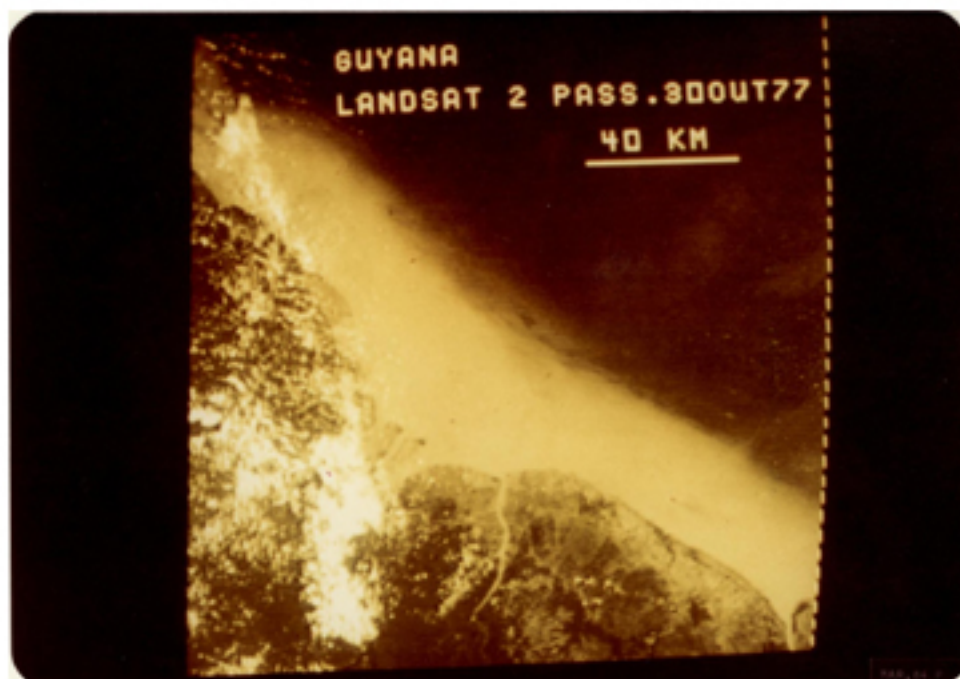


Fig. 7 - Imagem MSS-5 da costa adjacente à Guyana.

A imagem do LANDSAT 2, obtida em outubro de 1977, mostra águas costeiras e oceânicas adjacentes à Guyana. As águas costeiras, com maior volume de sólidos em suspensão, tendem a apresentar uma resposta espectral mais clara nesta região do espectro (reflectância mais alta = tom de cinza mais claro) devido ao índice de atenuação mais alto, quando comparados com as águas oceânicas com menor índice de atenuação e, conseqüentemente, com resposta espectral em tons de cinza escuro.

Nas imagens de satélite este comportamento diferencial da água é traduzido em tons ou em níveis de cinza, principalmente nas faixas do verde (canal 4) e vermelho (canal 5) (Figura 8), onde se localizam as maiores variações em atenuação da Figura 6. Na região do infravermelho localizam-se picos de absorção de radiação de todos os tipos de água. Nas imagens MSS este comportamento traduz-se pelos tons escuros contínuos que os corpos d'água apresentam no canal 7, o que permite uma análise muito detalhada de suas formas e dimensões (Figura 9). Neste sentido é bastante simples inventariar os corpos d'água superficiais quanto à área e localização.

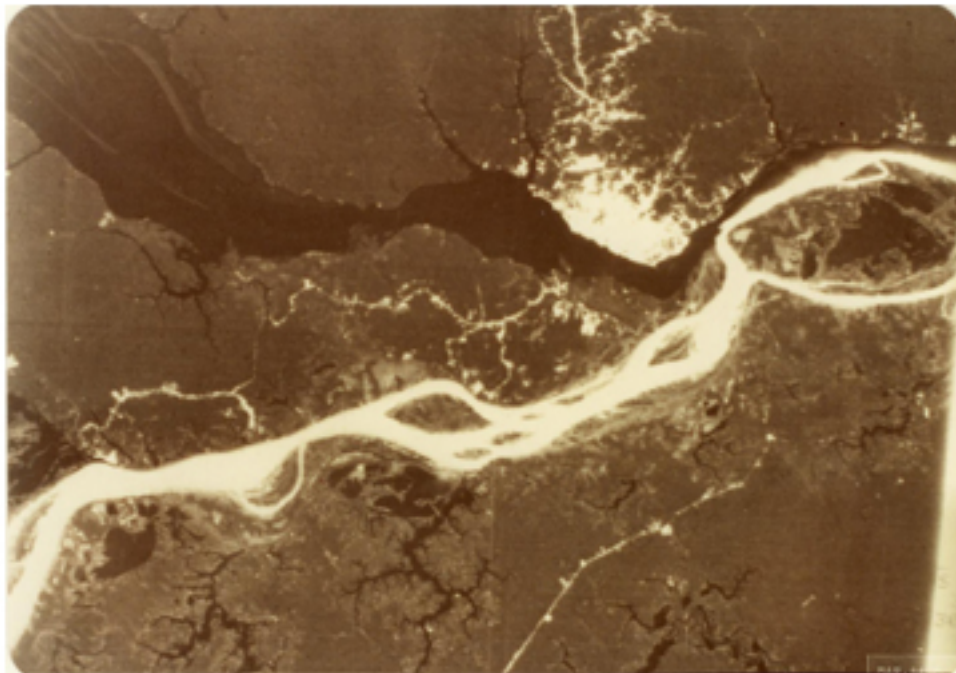


Fig. 8 - Imagem MSS-5 da região de Manaus.

A figura 8 mostra exemplo do comportamento de diferentes tipos de água na banda espectral correspondente ao vermelho ( $0,6 - 0,7 \mu\text{m}$ ). As águas do rio Negro aparecem em tom de cinza marcadamente escuro. As águas do Solimões em cinza muito claro. Os lagos interiores em cinza-escuro. As águas do Amazonas mostram um limite tonal muito nítido entre as águas do Solimões e do Negro.

A repetitividade do imageamento orbital permite a análise sazonal dos corpos d'água tanto em relação à quantidade e ao tipo, bem como quanto à variação da lâmina d'água em função de enchentes.

## 5. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

### 5.1 - MONITORAMENTO DE LÂMINA D'ÁGUA

Novo et alii (1981), utilizando dados digitais do Imageador Multi-espectral (MSS) do LANDSAT, avaliaram a viabilidade de monitorar a lâmina d'água visando o controle de inundações.

A área teste selecionada foi o paranã de Ramos, um braço do rio Amazonas, na região de Barreirinha (AM). O paranã de Ramos, como grande parte dos rios amazônicos, caracteriza-se por amplas várzeas, sazonalmente inundadas, com períodos de cheia e vazante relativamente demorados, em que o processo de inundação é lento. É uma dinâmica portanto bastante diferente daquela encontrada normalmente nos rios da região sul e, bem mais compatível com a resolução temporal dos satélites LANDSAT (16 dias).

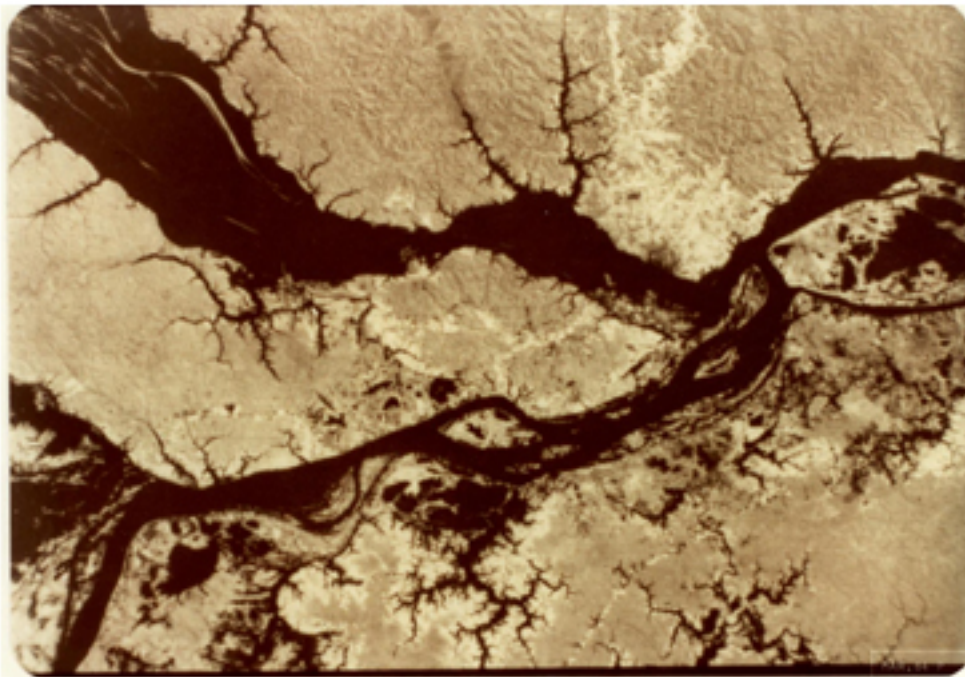


Fig. 9 - Imagem MSS-7 da região de Manaus.

A figura 9 mostra exemplo do comportamento da água na região do infravermelho (0,8 - 1,1  $\mu\text{m}$ ). Independente dos tipos de água, todos os corpos hídricos superficiais apresentam idêntica resposta espectral: forte absorção da radiação infravermelha incidente e tom cinza-escuro generalizado.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionados dados de satélite do período compreendido entre 1973 e 1979. Os dados foram analisados a partir de técnicas de tratamento digital, tanto para classificação temática quanto para a abordagem sazonal/temporal da lâmina d'água. Na classificação automática das diversas passagens do satélite foram identificados e quantificados, em porcentagem, as seguintes classes: Água Preta, Água Barrenta 1, Água Barrenta 2 e Áreas Úmidas.

A análise temporal foi realizada mediante a superposição dos diversos módulos referentes às diferentes épocas.

Foi possível avaliar as larguras máxima e mínima do paranã do Ramos no período, bem como a variação média da largura da lâmina d'água. Assim, a largura máxima do paranã do Ramos foi de 700 m (1976), enquanto a largura mínima foi de 500 m (1973) no trecho analisado.

Análises temporais da lâmina d'água vêm sendo realizadas no INPE mediante técnicas de registro de imagem que permitem a superposição digital de diferentes passagens (Figura 10).

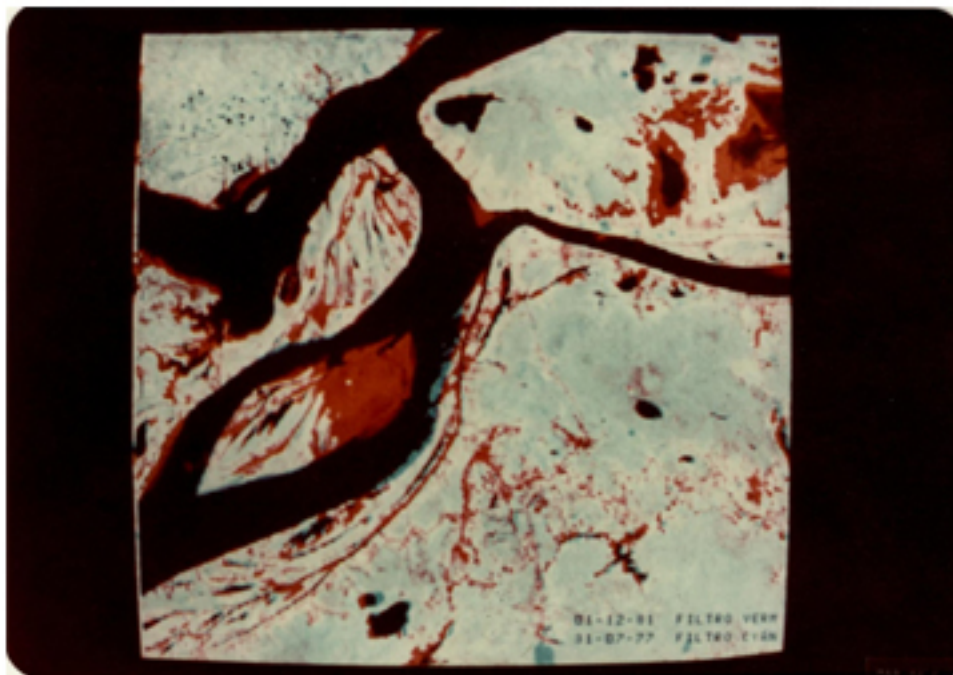


Fig. 10 - Exemplo de superposição de imagens obtidas em diferentes épocas, através da técnica de registro.

No caso da figura 10 a imagem do período de vazante (1 de dezembro de 1980) da região adjacente a Manaus foi superposta à imagem obtida no final do período de cheia (31 de julho de 1977) com diferentes filtros. A diferença da área ocupada pela lâmina d'água entre os dois períodos aparece em vermelho.

## 5.2 - QUALIDADE DA ÁGUA

Sausen (1981) desenvolveu um método de utilização de imagens MSS para verificar o relacionamento entre o comportamento espectral/temporal associado à dispersão/concentração de sedimentos no reservatório de Três Marias e a dinâmica de sua bacia abastecedora. Imagens MSS nos canais 4, 5 e 7 foram utilizadas e analisadas, tanto nas estações secas quanto nas chuvas dos anos de 1973, 1975, 1977 e 1978 para compartimentar a camada superior do reservatório. Esta compartimentação foi desenvolvida em função dos níveis de cinza, os quais foram correlacionados à concentração de sedimentos avaliada com o disco de Secchi e às medidas de radiância in situ da água.

Com base nesta compartimentação, foram reconhecidos os setores do reservatório que recebiam maiores quantidades de detritos. A partir desta constatação foram analisados a rede de drenagem, os padrões de dissecação e o uso do solo da bacia abastecedora.

A utilização das imagens MSS referentes a dois períodos sazonais (seco e chuvoso) evidenciou variações na qualidade das águas no interior do reservatório, comprometendo-o como fonte de água potável e de energia, no tempo. A integração dos atributos sazonais com a análise da rede de drenagem, da morfologia e do uso do solo permitiu a identificação das áreas fontes ou áreas críticas de erosão e transporte na bacia abastecedora do reservatório.

Bentancourt (1981) desenvolveu estudos da qualidade da água da Baía da Guanabara a partir de dados LANDSAT, com base na resposta espectral condicionada por elementos contaminantes ou em suspensão. As diversas classes de concentração de poluentes foram atribuídas cores, sendo classificada toda a região da Baía, bem como a região costeira adjacente (Figura 11).

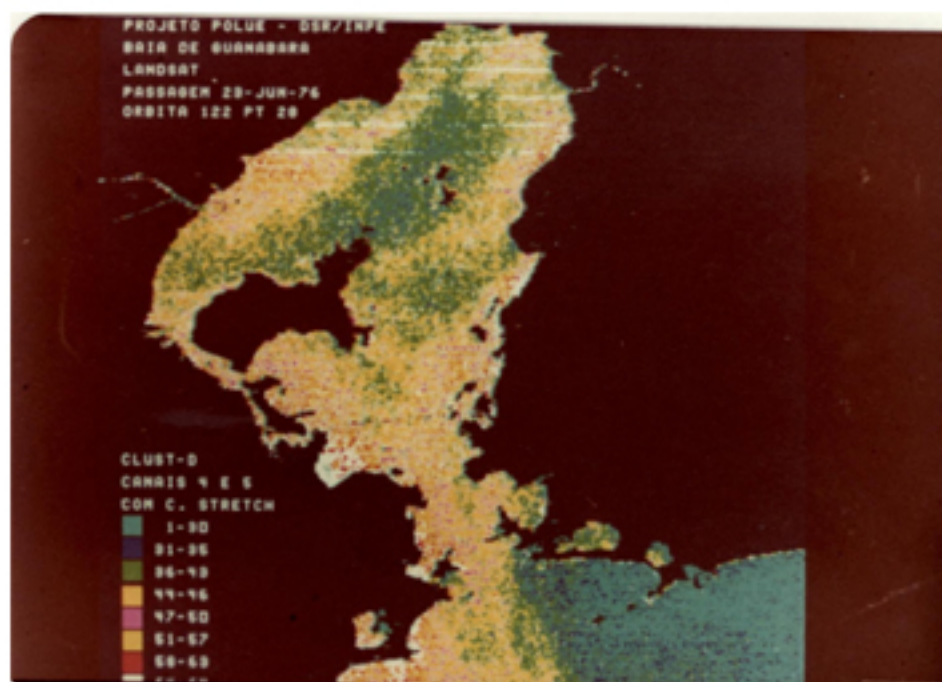


Fig. 11 - Classificação automática das águas da Baía da Guanabará obtida a partir de dados MSS-LANDSAT, de 23 de junho de 1976.

Na figura 11 observa-se que às cores associam-se valores digitais de resposta espectral diretamente correlacionadas à concentração de poluentes na baía. A cor verde corresponde a águas menos poluídas. O branco corresponde aos níveis mais altos de concentração de poluentes.

### 5.3 - EXPERIÊNCIA DO PROJETO CEARÁ

Dentro do quadro crítico do Estado do Ceará em julho de 1983, o Governo do Estado, através da Secretaria de Obras e Serviços Públicos, da Secretaria da Agricultura e da Comissão Especial de Recursos Hídricos, desenvolveu um trabalho de avaliação da situação de abastecimento de água no Estado.

Dentro deste contexto, o INPE propôs-se a contribuir com o desenvolvimento das seguintes atividades no Estado do Ceará:



1) Atividades a curto prazo (60 dias):

- mapeamento de áreas aluvionares como subsídios à locação de poços amazonas;
- mapeamento da rede de açudes para verificar a disponibilidade de água superficial no Estado em julho/agosto de 1983,
- transferência dos métodos aplicados mediante curso de treinamento intensivo a técnicos do Governo do Estado,

2) Atividades a médio prazo:

- mapeamento estrutural de áreas cristalinas como subsídios aos trabalhos de prospecção de água subterrânea,
- inventário dos açudes do Estado nos anos de 1978 e 1983 e cálculo da variação das lâminas d'água no período.

5.3.1 - MAPEAMENTO DE ÁREAS ALUVIONARES

O mapeamento das áreas aluvionares foi baseado no padrão de resposta espectral representado por tons de cinza-claro, bastante característicos, no caso das areias secas e grosseiras, ricas em quartzo que se depositam ao longo das calhas dos rios, principalmente na região do cristalino. Este padrão de resposta é típico, tanto no canal 5 quanto no canal 7 do MSS/LANDSAT (Figura 12).

Desta forma, as áreas aluvionares foram extraídas das imagens MSS 1:250.000 e transpostas para cartas topográficas na escala de 1:100.000. Estas cartas, com a indicação das ocorrências dos aluviões, serviram para orientar os trabalhos de seleção de áreas para locação e construção de cacimbas e cacimbões no Estado do Ceará durante o período crítico de estiagem.

Perfis de campo realizados entre Fortaleza e Jaguaribe, e desta em direção a Santa Quitéria, indicaram a ocorrência de áreas aluvionares em todas as zonas mapeadas a partir das imagens MSS (Barbosa, no prelo).

Durante estes trabalhos de reconhecimento, 40 áreas aluvionares foram observadas em termos de ocorrência d'água, sendo que em 38 foi encontrada água subterrânea numa profundidade que variava entre 2 a 5 metros (Barbosa no prelo).

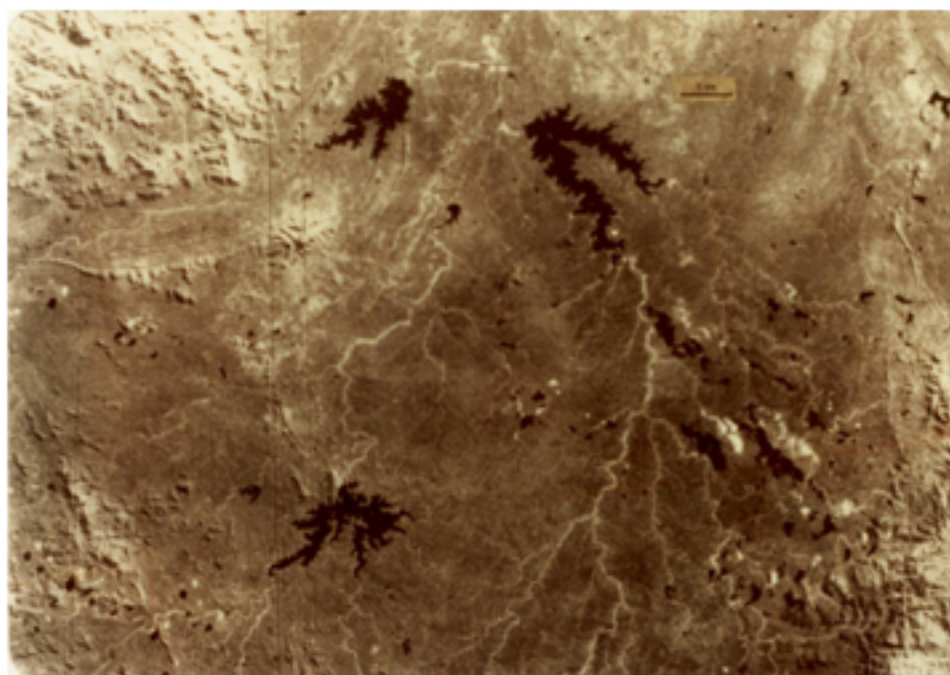


Fig. 12 - Aluviões e lâmina d'água dos açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza em julho de 1978.

A figura 12 apresenta imagem MSS do canal 7 do LANDSAT que mostra os aluviões (faixa de tom cinza claro) nas calhas dos tributários que alimentam os açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza no Estado do Ceará. A imagem obtida em julho de 1978 mostra a situação da lâmina d'água nos reservatórios no início da prolongada estiagem que afetou a região durante 5 anos.

### 5.3.2 - LEVANTAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

O levantamento dos corpos hídricos superficiais do Estado do Ceará baseou-se na análise dos atributos d'água conforme estão descritos nas legendas das Figuras 8 e 9. A análise temporal dos dados contidos nas imagens do canal 7 de 1976 e 1983 permitiu avaliar a variação da lâmina d'água no período de estiagem. A análise do canal 5, por outro lado, permitiu discriminar diferentes graus de turbidez dos reservatórios maiores.

A água superficial do Estado do Ceará, em agosto de 1983, portanto após 5 anos de estiagem, condicionava-se principalmente aos açudes maiores como o de Orós, Araras, Banabuiú, Pentecostes, General Sampaio e Ayres de Souza, bem como aos rios Jaguaribe e Acaraú. Na data analisada os açudes Pentecostes, General Sampaio e Araras apresentaram-se com suas lâminas d'água seriamente comprometidas no que se refere à área (Figuras 12 e 13). Mesmo o açude de Orós mostrava um decréscimo sensível na sua lâmina d'água, se comparada com a lâmina de 1976 (Figuras 14 e 15).

Os açudes pequenos, situados na região dos Inhamuns e na periferia da chapada do Araripe, estavam secos na data analisada, enquanto na zona da mata eles ainda mantinham uma lâmina d'água perceptível por satélite.

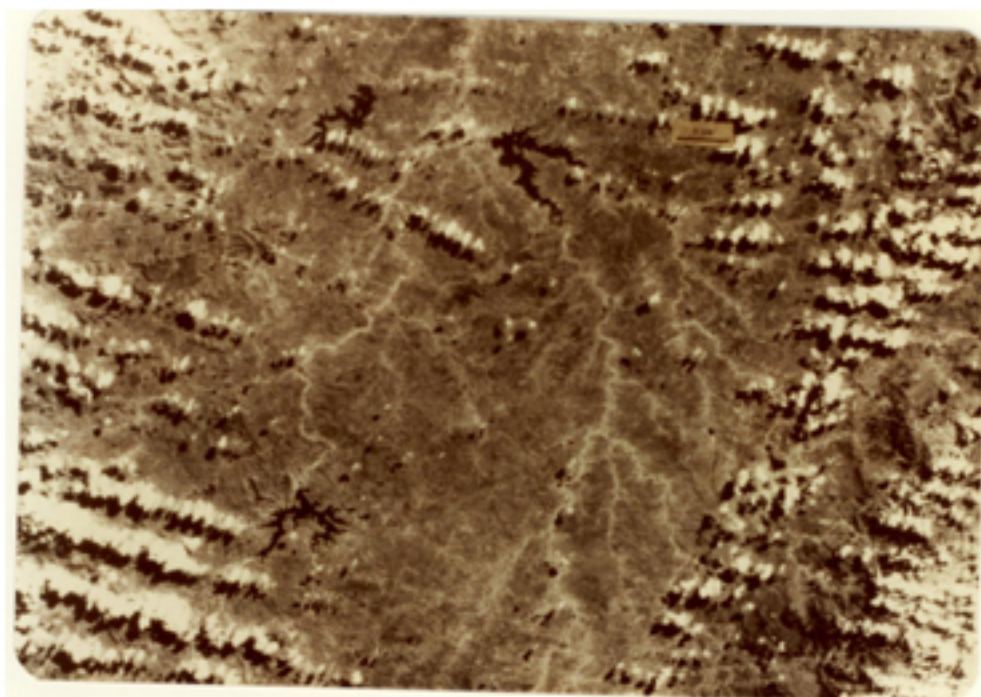


Fig. 13 - Lâmina d'água dos açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza em setembro de 1983.

A figura 13 apresenta imagem MSS do canal 7 do LANDSAT, obtida em setembro de 1983, que mostra a mesma região da figura anterior e, portanto, a situação da lâmina d'água dos açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza depois de cinco anos de estiagem.

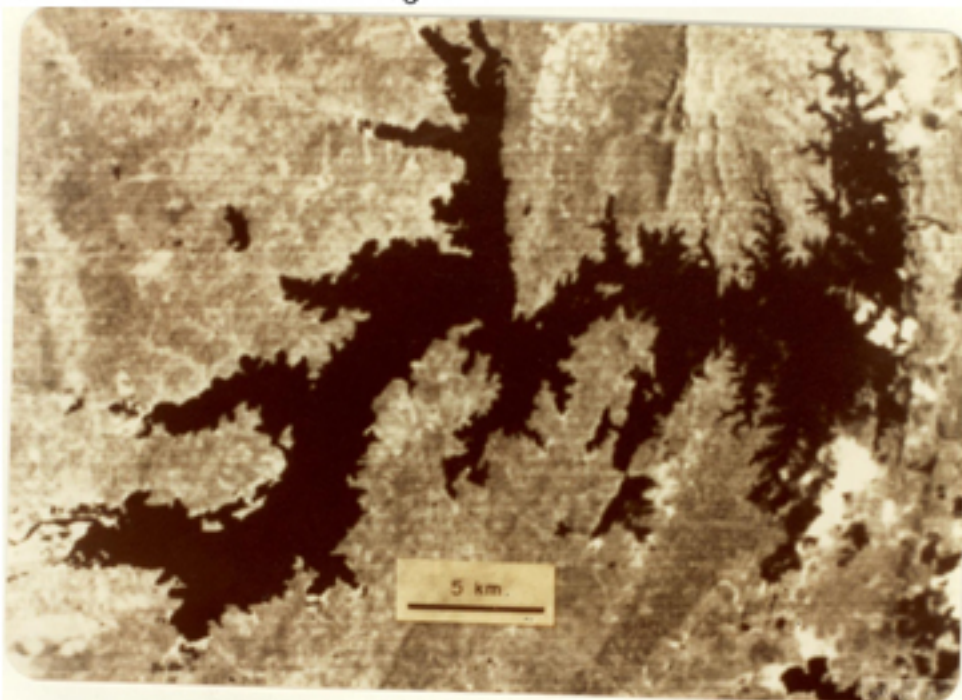


Fig. 14 - Imagem do MSS do canal 7 do LANDSAT, de julho de 1976, que mostra a situação da lâmina d'água do açude Orós.

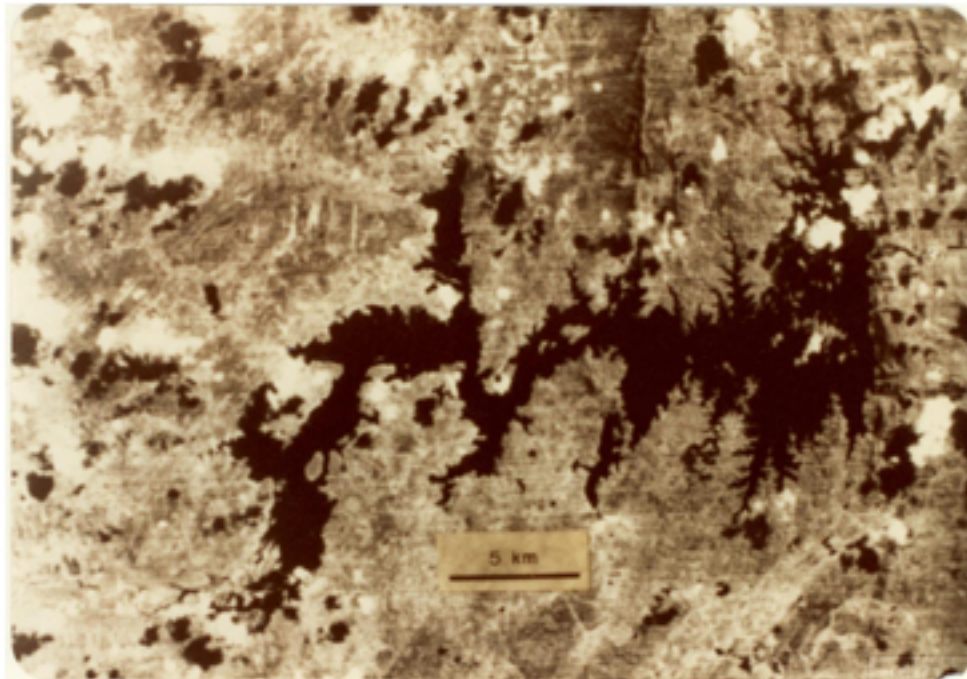


Fig. 15 - Imagem MSS do canal 7, de julho de 1983, que mostra a situação da lâmina d'água do açude Orós depois de 5 anos de estiagem.

#### 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os exemplos aqui apresentados mostram que os dados de satélite permitem abordagens rápidas e precisas, tanto em aspectos qualitativos quanto em aspectos quantitativos dos mananciais. A repetitividade e o imageamento sinótico permitem diagnósticos efetivos de situações críticas como as que afetaram a Região Nordeste.

O advento da segunda geração de sensores remotos orbitais tais como o Mapeador Temático, com resolução espacial de 30 m, e o Visível de Alta Resolução (20 m e 10 m) irá ampliar as perspectivas de aplicações de Sensoriamento Remoto na área de recursos hídricos.

#### 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, M.P. *Relatório do trabalho de reconhecimento de campo de áreas aluvionares no Estado do Ceará. Folhas 1:100.000: Fortaleza, Canindé, Taperuaba, Santa Quitéria, Sobral, Irauçuba, São Luiz do Curu.* São José dos Campos, INPE, 1984. No prelo.
- BERG, P.C.; WIESNET, D.R.; MATSON, M. Assessing the Red River of the North 1978 flooding from NOAA satellite data. In: ANUAL WILLIAM T. PECORA MEMORIAL SYMPOSIUM, 5., Sioux Falls, SD, 1979. *Proceedings.* Minneapolis, MN, AWRA, 1981, p. 309-315.

- BENTANCOURT, J.J.V. *Processamento de dados multiespectrais obtidos por plataformas orbitais da série LANDSAT para estudos de qualidade da água na Baía da Guanabara*. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2181-TDL/058).
- HERZ, R. *Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos. Contribuição metodológica ao estudo de processos lagunares e costeiros do Rio Grande do Sul, através da aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto*. Tese de Doutorado, São Paulo, USP. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, 1977.
- 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, 1981. (INPE-2245-RTR/004).
- NOVO, E.M.L.M.; SANTOS, A.P. *Monitoramento de enchentes através de sensoriamento remoto orbital: exemplo do Vale do Rio Doce*. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2109-RPE/335).
- POLCYN, F.C.; ROLLIN, R.A. *Remote Sensing techniques for location and measurement of shallow water features*, Ann Arbor, MI, University of Michigan, 1968. Willow Run Lab. 196. (Report nº 8973-10-P).
- SAUSEN, T.M. *Estudo da dinâmica do alto rio São Francisco e reservatório de Três Marias através de imagens MSS/LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2249-TDL/066).
- SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote Sensing: the quantitative approach*. New York, McGraw-Hill, 1978.
- TANAKA, K.; INOSTROZA, H.M.; BENTANCOURT, J.J.V. *Interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em Oceanografia*. São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2368-MD/019).
- TARPLEY, J.D.; MCGINNIS JUNIOR, D.F. *Vegetation cover mapping for satellite. LANDSAT Users Notes*. (30): 9-12, Mar. 1984.