

Utilização de Imagens Orbitais no Gerenciamento de Bacias Hidrográficas

CARLOS DE CASTRO BOTELHO
EDNA MASCARENHAS SANT'ANNA
MARIA HELENA WHATELY*

1 — INTRODUÇÃO

O SENSOREAMENTO remoto orbital vem abrindo novos caminhos para levantamento de recursos terrestres, previsão e acompanhamento de casos naturais ou não. Dadas as características dos sistemas de teledeteção — reconhecimento regional, sensibilidade a várias faixas do espectro eletromagnético e periodicidade das informações — suas imagens são de grande utilidade nos mais variados tipos de levantamento, análise e pesquisa. O reconhecimento do Landsat (satélite que dispõe de sensores imageadores, objeto de nosso interesse) produz cenas com uma área aproximada de 35.000 km² de superfície terrestre e resolução média de 80 metros. O sensor principal, o MSS, varredor multi-espectral, opera em diversas faixas do espectro eletromagnético, permitindo a coleta de informações e o registro das características espectrais dos alvos. O processo de extração de informações das fitas e imagens geradas consiste, basicamente, na observação e identificação visual e automática dos diferentes padrões tonais e texturais de cada faixa e na comparação dessas faixas.

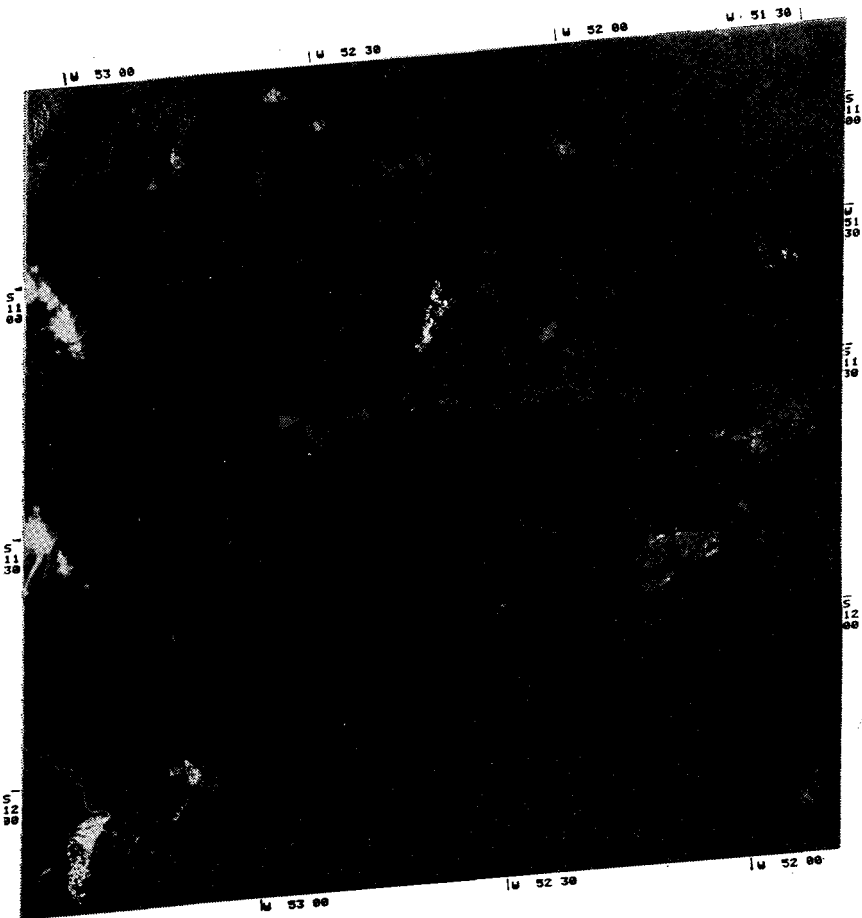
Como a repetitividade do LANDSAT ocorre num intervalo de 18 dias, existe a possibilidade de obtenção de imagens sem cobertura de nuvens.

* Os autores desta comunicação são analistas especializados (geógrafos) da Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN/IBGE) e estão integrados no recém-criado Grupo de Pesquisa em Aplicações de Imagens.

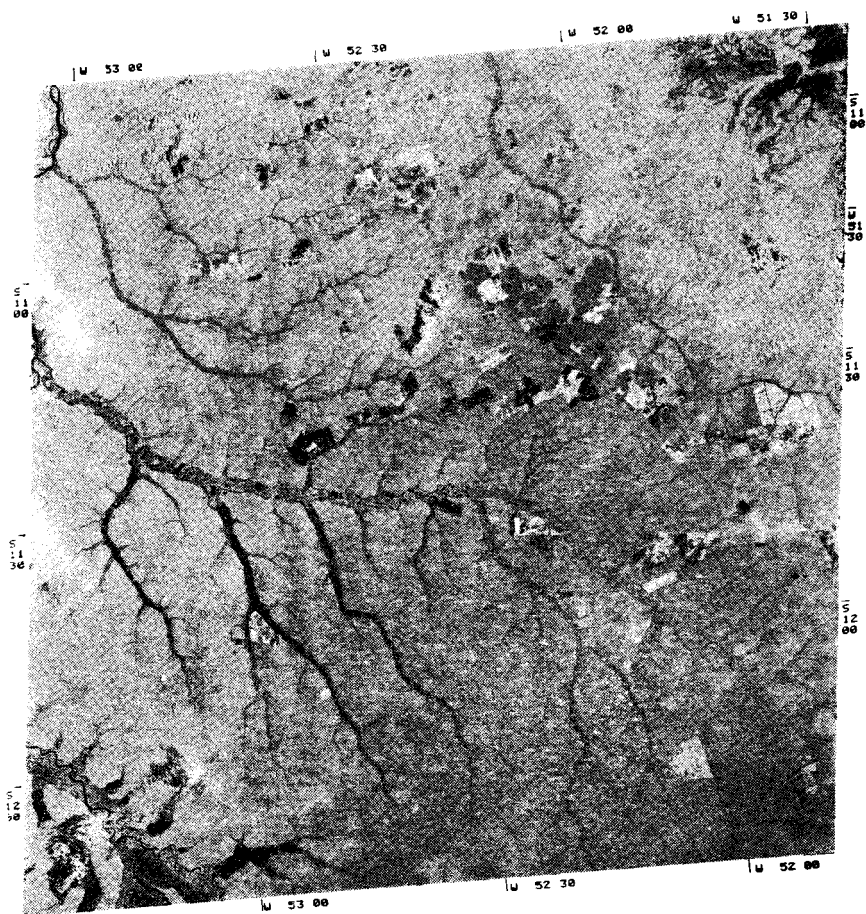
As dificuldades surgidas em função desse tipo de interferência atmosférica poderão ser minimizadas utilizando-se imagens do satélite NOAA, cujo sensor registra as propriedades térmicas do alvo, na faixa do infravermelho, imageando a mesma área duas vezes num espaço de vinte e quatro horas. Suas aplicações isoladas ou conjugadas com as imagens do MSS do LANDSAT, seriam objeto de outra comunicação que não foi possível concluir para esta oportunidade. Sua principal característica é a de permitir a obtenção de imagens na região do infravermelho distante (infravermelho termal), possibilitando o estudo da radiação emitida pelos alvos à superfície quer durante o dia quer durante a noite.

2 — CONCEITO DE INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS

A interpretação de imagens *Landsat* consiste na obtenção de informações sobre um determinado alvo da superfície terrestre analisando-se sua resposta nos canais do MSS.



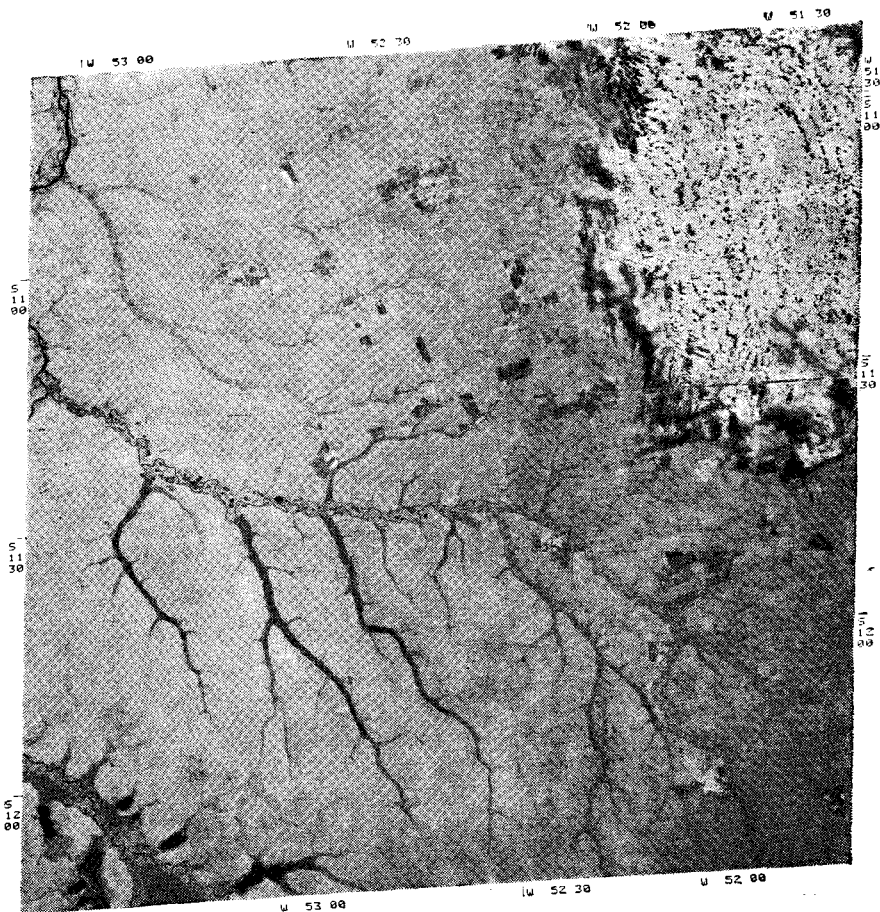
09FEV76 WRS: 241/68 C: S11-33/W052-27 MSS 5 SOL: EL42 AZ099 B 190 LC N CNPQ/INPE/LANDSAT 176040-122817-5
PEF G=3 SRB: 248/20 N: S11-34/W052-20 1-18069 R02 =BRASIL= 25ABR78 CENA 003



09FEV76 WRS: 241/68 C: S11-33/W052-27 MSS 7 SOL: EL42 AZ059 B 190 LL N CNPQ/INPE/LANDSAT 176040-122817-7
PEF G=3 SRB: 248/20 N: S11-34/W052-20 1-18069 R02 =BRASIL= 25ABR78 CENA 003

Os diversos materiais na superfície da terra — naturais ou não — irradiam ou refletem, de forma diferente, a energia que sobre eles incide nas diversas faixas do espectro eletromagnético. Essas respostas são denominadas “assinaturas espectrais” e caracterizam cada tipo de material. A resposta espectral permite a identificação de feições particulares da superfície terrestre, e cada ponto de cada imagem relativa aos canais do MSS apresenta níveis de energia refletida ou irradiada numa faixa específica do espectro eletromagnético.

Cada nível é definido em termos de valor de nível de cinza para cada ponto. Desde que o MSS coleta 4 imagens simultaneamente, há 4 valores para cada ponto, isto não se considerando o LANDSAT-3, o qual possui um quinto canal, cada valor representando uma dada reflectância numa porção do espectro eletromagnético que vai do visível até o infra-vermelho próximo. Portanto o MSS imageia a superfície da terra em 4 faixas espectrais; 0,5 — 0,6 (verde — laranja); 0,6 — 0,7 (laranja — vermelho); 0,7 — 0,8 (vermelho e infravermelho); e 0,8 — 1,1 (infravermelho próximo) micrômetros, correspondendo, respectivamente, aos



01JUL75 C S11-32/W052-28 N S11-33/W052-24 MSS 7 SOL EL35 AZ051 189 15057 P L1 2 01 INPE LANDSAT-175189-124130-7
PROCESSADO 15JAN76 CENA 011

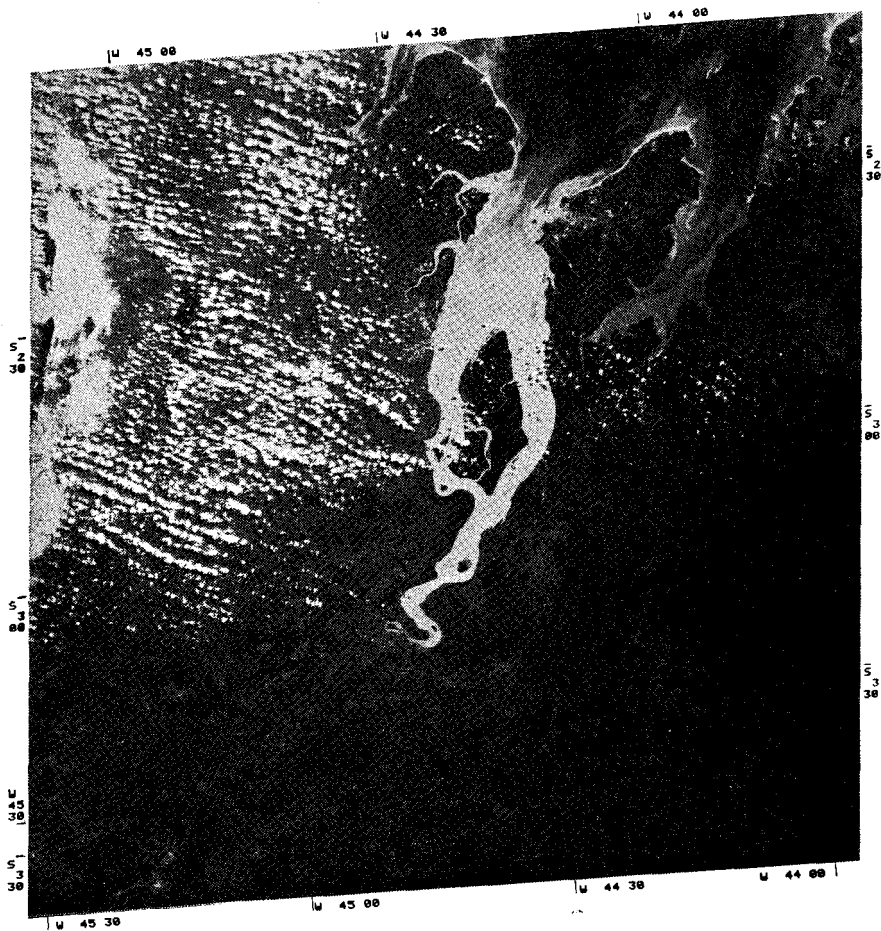
canais 4, 5, 6 e 7 (o MSS passou a operar com o canal 8 somente a partir do terceiro satélite — infravermelho terminal de 10,4 — 12,6) ¹.

O sensoriamento remoto abrange a observação e medida de energia no espaço e no tempo, envolvendo características espectrais, temporais e espaciais dos alvos.

O caráter espectral do MSS permite a coleta de informações nas 4 faixas distintas do espectro eletromagnético registrando, assim, as características espectrais dos alvos nas diferentes faixas, o que torna possível a identificação de alvos diferentes através da comparação entre os canais, no mesmo instante do imageamento. Mas se acrescentarmos a sua propriedade repetitiva, adquire-se a capacidade de observação cíclica dos fenômenos, naturais ou não.

Esta é uma das grandes vantagens do imageamento orbital, a qual somada à visão regional pode sobrepujar o sensoriamento a partir de aeronaves, nem sempre um empreendimento economicamente viável.

¹ Nossos exemplos e explicações só estarão considerando as imagens fornecidas pelos LANDSAT 1 e 2.



31JUL75 ORB 192 PT 14 C: S02-55/W044-33 MSS 4 SOL: EL45 AZ059 B 189 LC 02646 INPE/LANDSAT 275212-122733-4
 N: S02-54/W044-36 R04 =BRASIL= 11MA177 CENA 003

Como o volume de informações existentes nas quatro imagens da mesma cena é maior que a capacidade visual de interpretá-las, há, quase sempre, a necessidade de recorrer à utilização, seja de composições coloridas, seja de equipamentos específicos.

A utilização de imagens coloridas permite a aquisição de maior número de informações já que o olho humano é mais sensível a cores que a níveis de cinza.

A análise automática dos dados, principalmente quando ela está partindo das fitas magnéticas (compatíveis com computador) contidos na imagem, sob o nosso controle visual, além de oferecer um número maior de informações, permite a obtenção de resultados com maior rapidez, bem como a implementação de modelos de classificação mais precisos e objetivos. A interpretação automática oferece bons resultados, vez que o reconhecimento e classificação dos padrões tonais nas imagens do MSS, a partir desse processamento, identifica convergências tonais muito próximas e que visualmente não oferecem contraste suficiente para sua justificação. Dentre os vários sistemas de identificação automática de grande resolução está o Image-100, da General Electric, cuja



31JUL75 ORB 192 PT 14 C: S02-55/W044-33 MSS 5 SOL: EL45 AZ059 B 189 LC 02646 INPE/LANDSAT 275212-122733-5
 N: S02-54/W044-36 R04 N =BRASIL= 11MAI77 CENA003

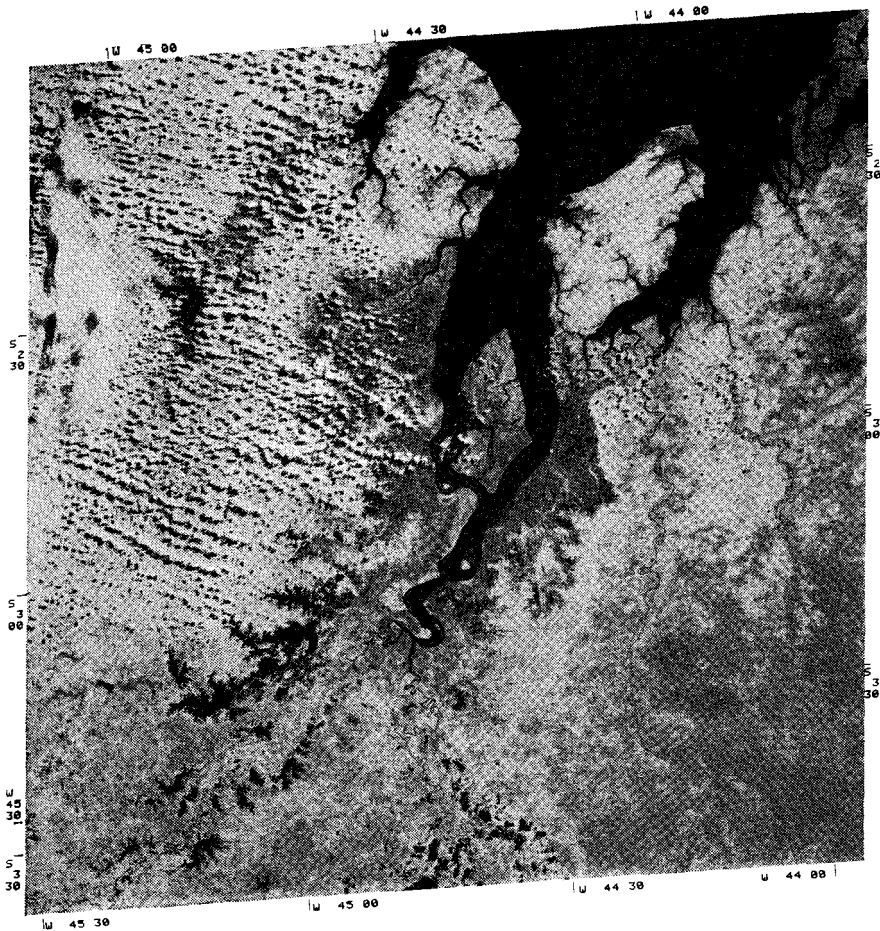
principal função é extrair informações temáticas da imagem, podendo, ainda, ser utilizado para sua ampliação e melhoramento. A obtenção das informações é normalmente feita através de um processo supervisionado e interativo, sendo também disponíveis técnicas de extração não supervisionadas.

3 — SELEÇÃO DE CANAIS, ÉPOCA E ESCALA

A seleção dos canais a serem utilizados na análise das imagens é de grande importância no levantamento dos dados que se deseja obter.

Os objetivos são, de um modo geral, melhor atingidos quando as imagens dos 4 canais MSS são analisadas conjuntamente. Entretanto, o conhecimento prévio das características do alvo, em cada canal, facilita a escolha dos mais adequados aos objetivos a atingir. Assim, os levantamentos dos diferentes tipos de cobertura vegetal mostraram que os canais 5 e 7 são melhores para esse tipo de identificação.

Cobertura vegetal com predominância de espécies arbóreas apresenta alta taxa de absorção no canal 5 e alto nível de reflectância no

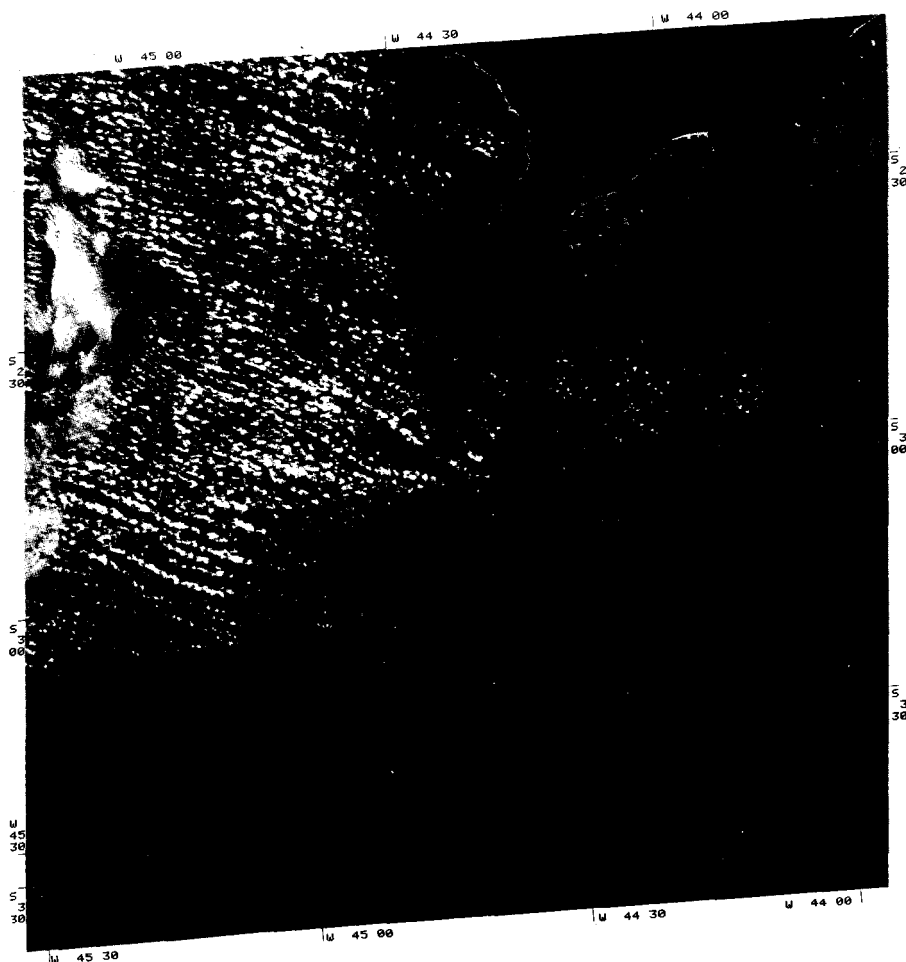


31JUL75 ORB 192 PT 14 C: S02-55/W044-33 MSS 7 SOL: EL45 AZ059 B 189 LL 02646 INPE/LANDSAT 275212-122733-7
 N: S02-54/W044-36 R04 N ==BRASIL== 11MAI77 CENA 003

canal 7, determinando para o primeiro tons escuros de cinza e níveis claros para o segundo. A medida em que os elementos arbóreos vão escasseando, geralmente, os níveis de cinza tendem a se tornar mais claros, chegando ao branco quando o solo é desprovido de vegetação.

Os canais 4 e 5 são bons orientadores para o estudo da qualidade da água, pois os comprimentos de onda que lhes correspondem têm maior penetração na água, favorecendo os estudos de sedimentação e registrando o teor de sedimentos em suspensão. Já o canal 7 é muito útil na delimitação de corpos de água em função de sua alta absorvância nessa faixa do espectro eletromagnético. Para o levantamento de uso da terra os canais 5 e 7. No canal 5, alvos como cidades, áreas de cultivo, são facilmente identificados; o 7 é muito prático para a localização e delimitação das áreas atingidas pelas queimadas, muito frequentes no manejo agropecuário. Todos estes fatores devem ser considerados no gerenciamento de bacias hidrográficas.

A seleção da época da imagem, bem como da escala vai depender também do objetivo a atingir. Para o estudo de enchentes, de assoreamento, áreas agrícolas e cobertura vegetal, entre outros, os dados se-

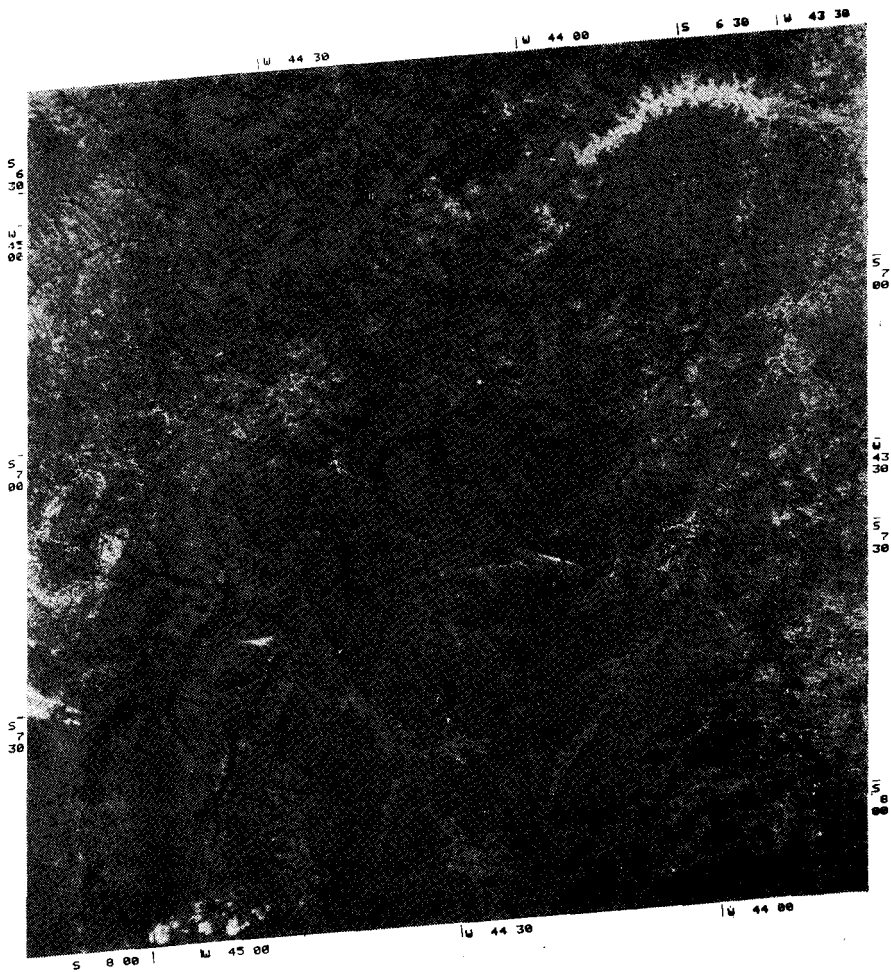


31JUL75 ORB 192 PT 14 C: S02-55/W044-33 MSS 5 7 SOL: EL45 AZ059 B 189 LC 02646 INPE/LANDSAT 275212-122733-7
 N: S02-54/W044-36 R04 N =BRASIL= 11MAI77 CENA 003

qüenciais são de maior importância. A periodicidade do sistema LANDSAT passa a ser, então, uma propriedade de alto valor como, por exemplo, na comparação de dois imageamentos: um antes e outro na chegada da onda de enchente. A escala mais utilizada para o mapeamento regional é, em geral, de 1:1.000.000, em virtude da vantagem de manuseio e montagem de mosaicos. Para estudos de maior detalhe, envolvendo alvos menores, a escala ideal será de 1:250.000. Escalas maiores podem apresentar problemas de definição que dificultam a identificação dos alvos.

4 — APLICAÇÕES NO GERENCIAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A aplicação de imagens orbitais são de grande valia no estudo das relações dinâmicas existentes entre as múltiplas variáveis que comporta o gerenciamento de bacias hidrográficas.



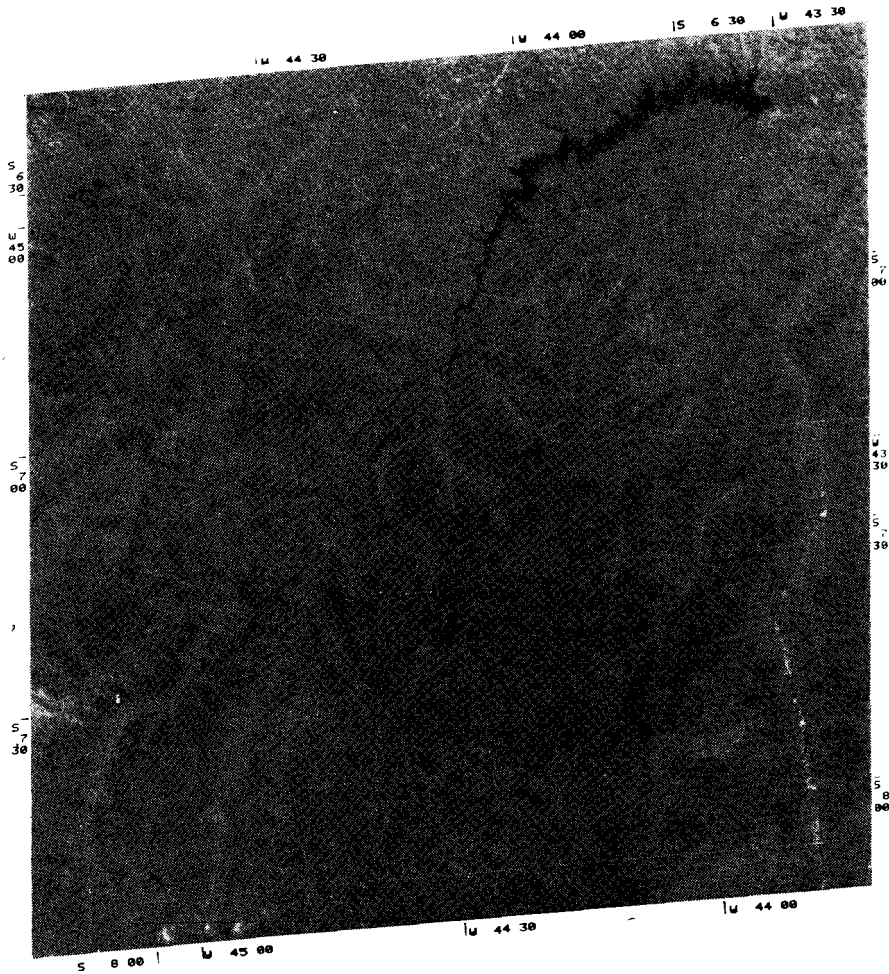
15JUN75 ORB 178 PT 17 C: S07-15/W044-19 MSS 5 SOL: EL39 AZ051 B 189 LC 14736 INPE/LANDSAT 175166-121256-5
 N: S07-16/W044-16 R03 N =BRASIL= 29NOV77 CENA 007

Entre outras: progressão e extensão de enchentes e seu impacto na área; qualidade das águas; situação das águas na represa e leitos dos rios; situação antrópica e do uso da terra; erosão do solo e encostas; e assoreamento.

A extensão, progressão de enchentes e áreas sujeitas à inundação podem ser claramente detectadas com a utilização de imagens orbitais.

A extensão da enchente pode ser vista sinópticamente e as áreas inundadas quantitativamente determinadas através de processos automáticos. A utilização de compósitas coloridas é de grande auxílio na interpretação das condições da enchente e suas relações com a geologia, fisiografia e áreas urbanas.

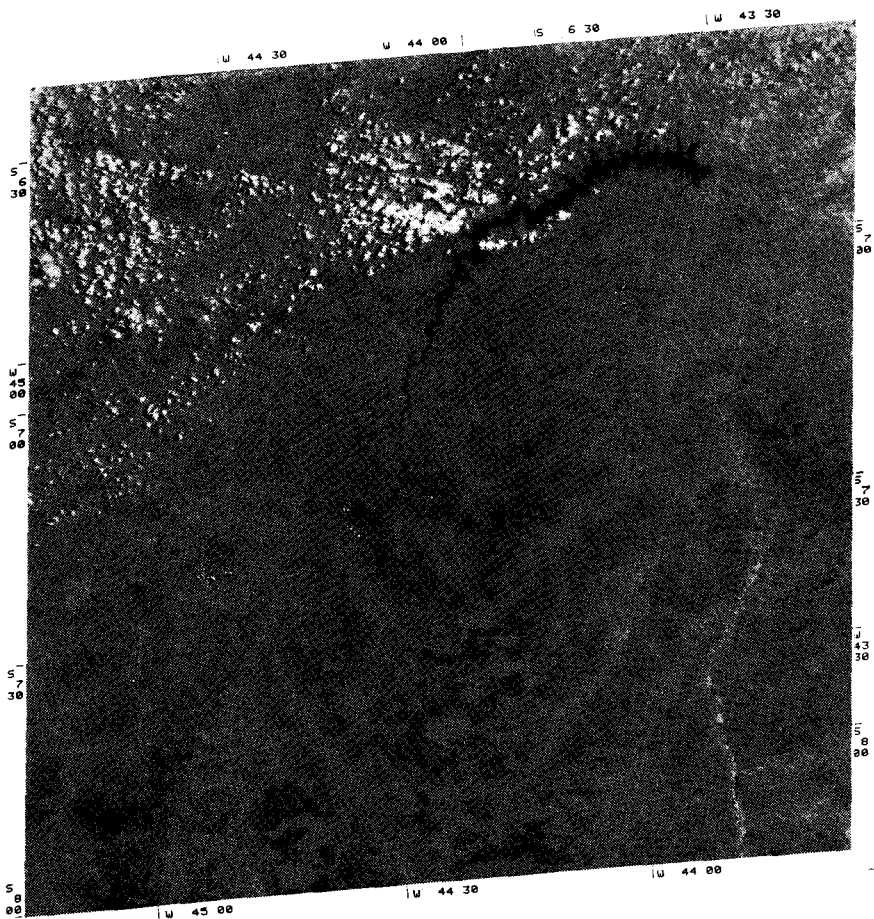
Assim, a extensão da inundação versus a condição normal do rio podem ser claramente delineadas combinando-se imagens distintas da faixa 7, uma do período pré-enchente e outra durante a enchente. Este processo de superpor 2 imagens sinópticas de períodos diferentes leva à formação de uma compósita temporal, o que produz um registro com propriedades comparativas.



15JUN75 ORB 178 PT 17 C: S07-15/W044-19 MSS 7 SOL: EL39 AZ051 B 189 LL 14736 INPE/LANDSAT 175166-121256-7
 N: S07-16/W044-16 R03 N =BRASIL= 29NOV77 CENA 007

As faixas 6 e 7 podem ser também utilizadas combinadamente para a interpretação das condições de enchentes e a delimitação dos seus limites. Os efeitos das áreas inundadas nas características de reflectância da superfície torna possível delinear não só áreas inundadas como também as de retração das águas, utilizando-se imagens tomadas após a inundação. Portanto, o mapeamento não só de áreas atingidas pelas enchentes como também daquelas sujeitas à inundação torna-se possível a partir da utilização de imagens LANDSAT.

Os dados obtidos pelo NOAA, embora não tão detalhados quanto os do MSS, podem fornecer uma boa delimitação de áreas inundadas, e são principalmente de grande utilidade onde a cobertura de nuvens é freqüente, pois devido sua capacidade de imagear de 12 em 12 horas, no Termal, torna-o de grande utilidade no fornecimento de informação sinóptica num intervalo de tempo muito curto, muito menor que o do Landsat, que é de 18 em 18 dias.



010UT75 ORP 178 PT 17 C: S07-17/W044-14 MSS 5 SOL: EL49 AZ086 B 189 LC 16242 INPE/LANDSAT 175274-120636-5
 N: S07-16/W044-09 R01 N =BRASIL= 24JAN77 CENA 005

O aumento de população de uma área, a crescente pressão do cultivo, os processos primitivos de queimada e o pastoreio são, entre outros fatores, responsáveis pela aceleração da erosão e outras formas de degradação da terra. A situação às vezes é tal que florestas, pastagens e solos vão sendo destruídos, não se sabendo até que ponto essas degradações são irreversíveis ou onde e como poder-se-á concentrar esforços para sua recuperação. Uma das linhas necessárias para a modificação da tendência negativa da utilização dos recursos naturais de água, vegetação e solo produtivo é a utilização aperfeiçoada e ecologicamente racional desses recursos.

Para isso é necessário inventário da extensão da degradação dos mesmos e o controle das modificações, bem como o estudo da erosão e suas conseqüências. Para tanto, se faz mister estudos continuados da circulação e qualidade de água e de sedimentos não só nos interflúvios como nos cursos de água e também nas represas. Portanto, o estudo de uma bacia de drenagem é de grande importância para levantamento do binômio erosão/sedimentação.



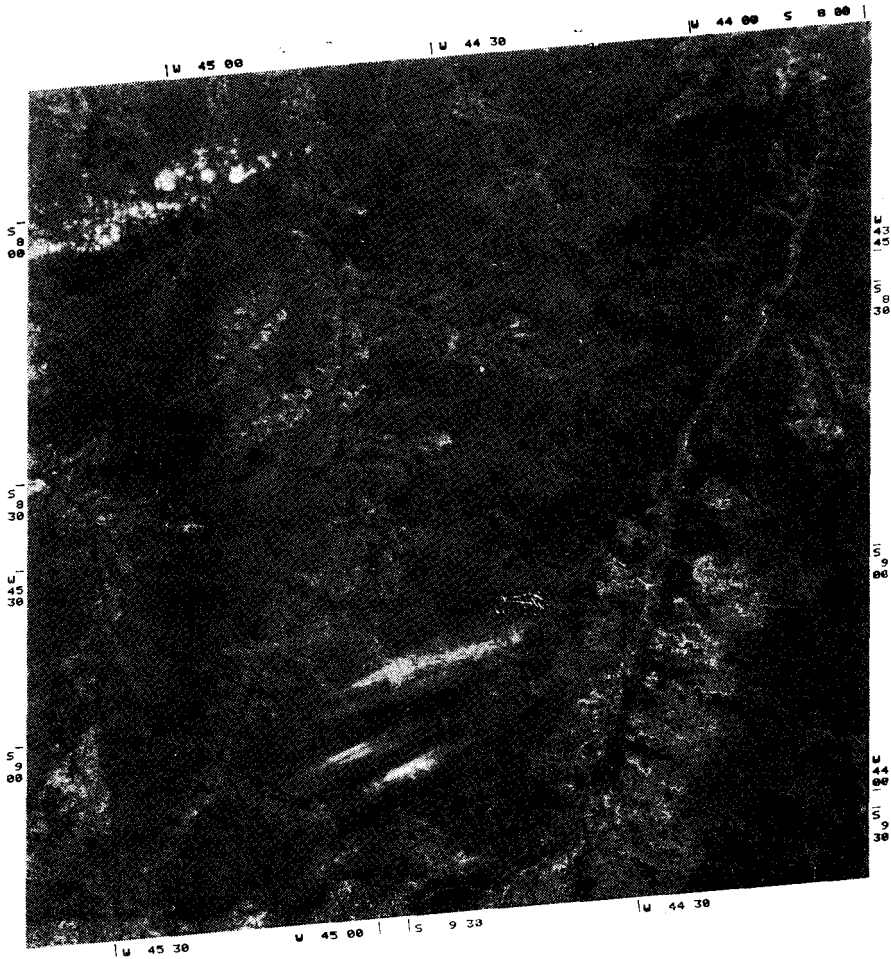
010UT75 ORB 178 PT 17 C: S07-17/WJ44-14 MSS 7 SOL: EL49 AZ086 B 189 LL 16242 INPE/LANDSAT 175274-120636-7
 N: S07-16/WJ44-09 R01 N =BRASIL= 24JAN77 CENA 005

A análise e estudo dessas variáveis através das imagens Landsat poderão fornecer bases sólidas para controle, manutenção e recuperação dos recursos que integram uma bacia hidrográfica, minimizando ou corrigindo os efeitos do desequilíbrio ecológico.

4 — EXEMPLOS

BACIA DO SUIÁ-MIÇU — Órbita 248-20 (01.07.75 e 09.02.76).

Analisando-se os canais 5 e 7 da cena de 09-02-76, pode-se observar suas características básicas. No primeiro o revestimento florestal amazônico homogeneiza a superfície topográfica em virtude da grande absorvância, o que não permite distinguir com nitidez a amplitude entre os vales e interflúvios. No canal 7 a sensação é de que a floresta desapareceu e os vales passam a se destacar. Conseqüentemente, o modelado surge denotando uma topografia ondulada. Os leitos maiores dos rios e as áreas sujeitas a inundações podem ser bem delimitadas em relação

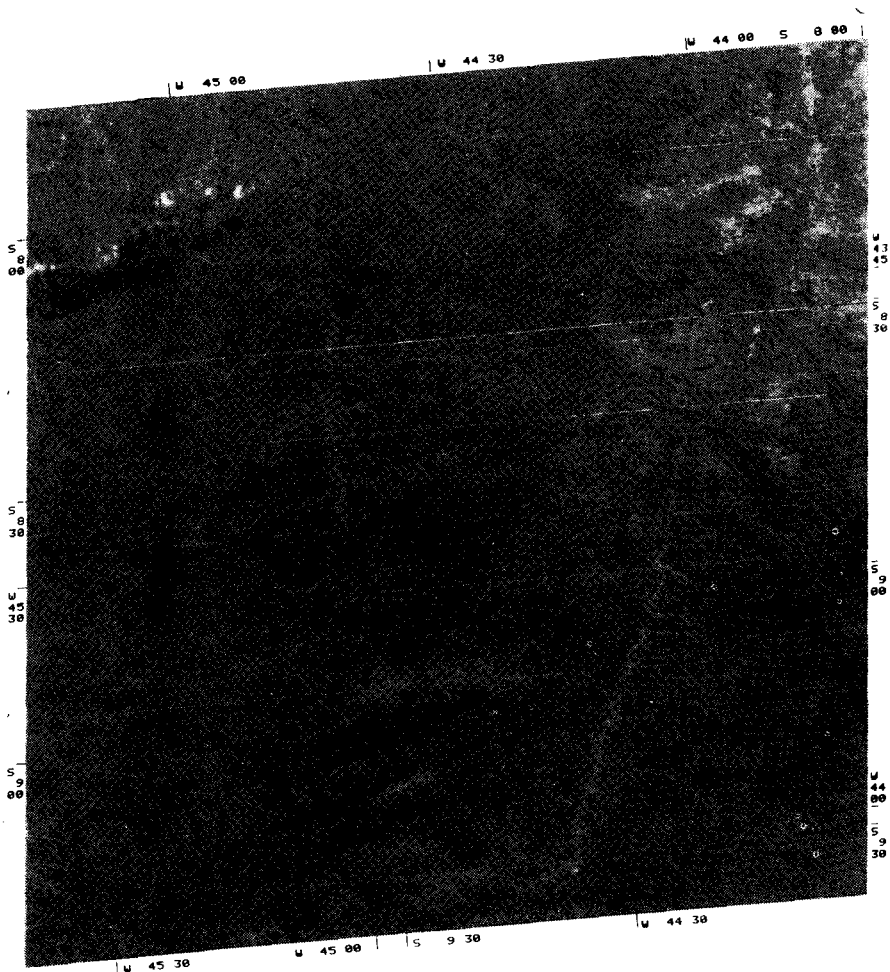


15JUN75 ORB 178 PT 18 C: S08-42/W044-39 MSS 5 SOL: EL38 AZC50 B 189 LC 14736 INE/LANDSAT 175166-121321-5
 N: S08-43/W044-36 R03 N =BRASIL= 29NOV77 CENA UCB

às terras firmes. Pode-se perceber, com nitidez, os leitos menores e maiores dos cursos de água, apresentando-se os últimos intercalados por uma série de corpos de água delimitados por vegetação menos densa que a dos interflúvios.

A comparação das cenas de 01-07-75 e 09-02-76, no canal 7, mostra que a última apresenta níveis bem mais escuros de cinza, correspondendo a áreas desmatadas ou em preparo para utilização agrícola. Esta imagem revela, ainda, que as derrubadas não estão localizadas nos vales e sim nas terras firmes declivosas e que as terras baixas são úmidas e encharcadas. Comparando-se as duas épocas, evidencia-se a expansão do desmatamento (mensurável nas imagens), nesse intervalo de 7 meses. Em virtude de essas áreas desmatadas se localizarem nas encostas, pode-se inferir um possível *deficit* hídrico em futuro próximo (a propriedade repetitiva do sistema é condição muito importante para uma avaliação desta natureza).

Para o levantamento do uso da terra os dados seqüenciais são indispensáveis e as imagens devem corresponder às épocas críticas do ciclo vegetativo da cultura.

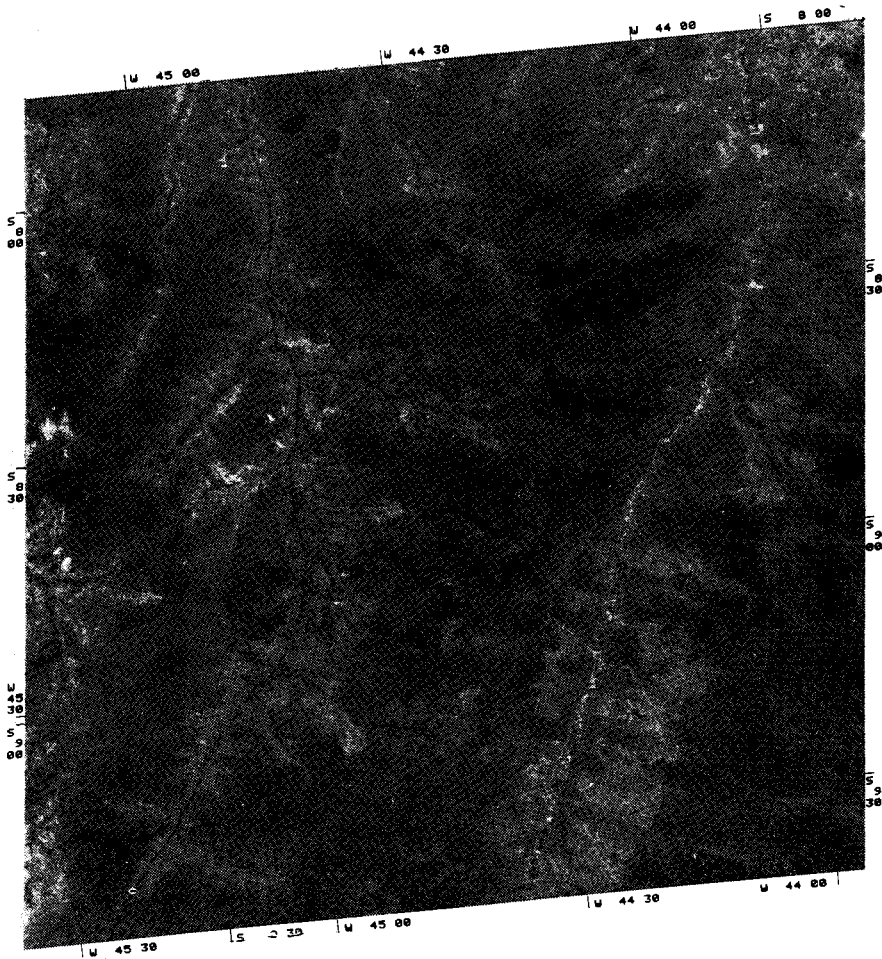


15JUN75 ORB 178 PT 18 C: S08-42/W044-39 MSS 7 SOL: EL38 AZ050 B 189 LL 14736 INPE/LANDSAT 175166-121321-7
 N: S08-43/W044-36 R03 N =BRASIL= 29NOV77 CENA 008

GOLFÃO MARANHENSE — Órbita 192-14 (31-07-75)

Examinando-se o canal 7, onde os aspectos estruturais são mais realçados, nota-se que existe certa homogeneidade do relevo: baixas altitudes e superfícies regulares. Entre os interflúvios, a sudoeste, aparecem áreas deprimidas, alagadas, em nível quase negro de cinza.

Para o estudo da qualidade da água, os canais 4 e 5 são os mais recomendados, já que permitem maior penetração da luz na água, favorecendo, assim, os estudos de sedimentos em suspensão e do próprio fundo. Analisando-se essas imagens observa-se grande variedade de níveis de cinza, o que permite detectar áreas de maior ou menor turbidez, conseqüência da mistura das águas fluviais e oceânicas. Os tons mais claros revelam maior quantidade de sedimentos em suspensão. Os mais escuros mostram a maior entrada das águas marinhas, principalmente nas baías de Cumã e São José. Na baía de São Marcos a penetração das águas oceânicas se faz menos intensamente pelo fato da maior descarga dos rios que nela desagüam, dificultando a penetração das águas salga-

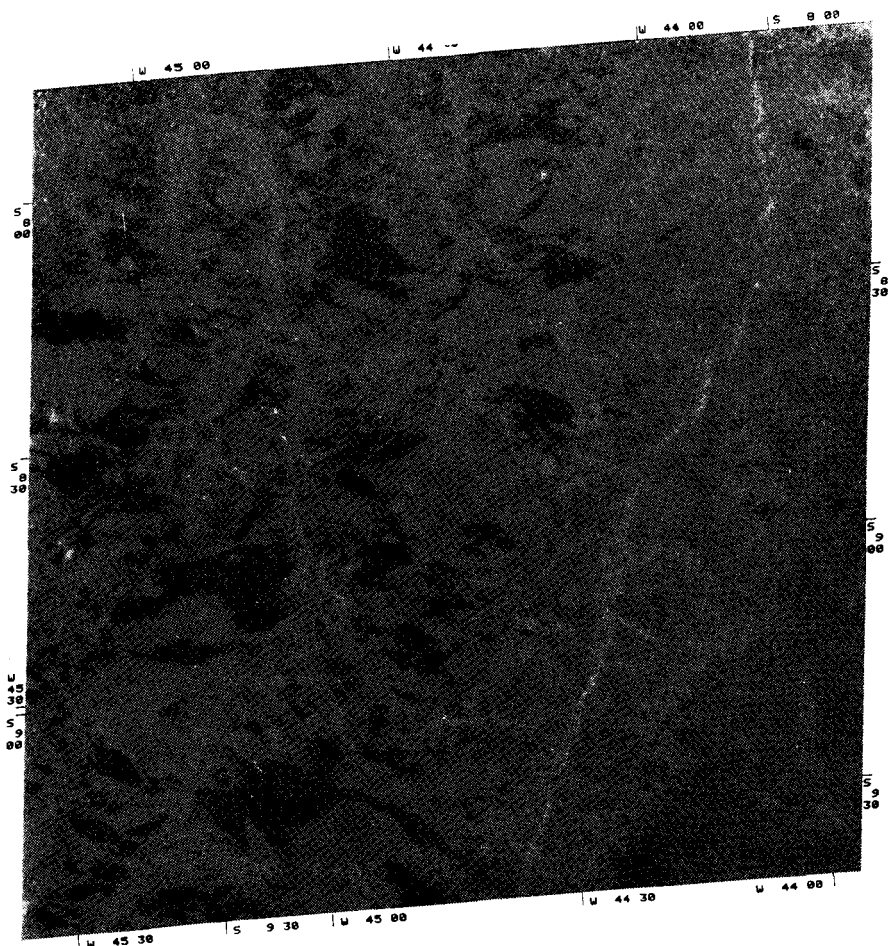


010UT75 ORR 17R PT 18 C: S08-44/W044-34 MSS 5 SOL: EL49 AZ:84 B 189 LC 16242 INPE/LANDSAT 175274-120701-5
 N: S08-42/W044-29 R01 N ==BRASIL== 24JAN77 CENA 006

das. Em locais, na baía de São Marcos e na embocadura do Mearim, verifica-se, no canal 7, variações dos níveis de cinza. Os níveis mais claros devem corresponder a bancos aflorantes, muito umedecidos, ou águas muito densas carregadas de substâncias minerais em suspensão.

A análise dos padrões tonais e texturais nos canais 5 e 7, e sua comparação, revela vários tipos de cobertura vegetal permitindo, ainda, detectar se a mesma é predominantemente arbórea, arbustiva ou herbácea.

Ao longo de algumas reentrâncias no litoral, no extremo norte da ilha de São Luís, nas bordas das baías de São José e São Marcos, na ilha dos Carangueijos e na série de ilhas que formam a baía de Tubarão, o nível de cinza se apresenta muito escuro no canal 5 e bem mais claro no canal 7, com uma textura pouco rugosa e bastante uniforme. Esse nível de cinza deve corresponder à cobertura vegetal bastante compacta entrecortada por superfícies livres de água, já que no canal 7 sua resposta espectral não corresponde exatamente ao inverso no canal 5. Antes da baía de São Marcos, ao longo das margens da embocadura do Mearim, e estendendo-se para montante, outro nível de cinza, mais escuro no



010UT75 ORB 178 PT 18 C: S08-44/W044-34 MSS 7 SOL: EL49 AZ084 B 189 LL 16242 INPE/LANDSAT 175274-120701-7
 N: S08-42/W044-29 R01 N =BRASIL= 24JAN77 CENA 006

canal 7 e mais claro no canal 5, num comportamento diferente daquele das reentrâncias, parece indicar vegetação mais aberta de tipo herbáceo, em solos úmidos. Estas situações retratam os manguezais e os campos, respectivamente.

O rio Itapicuru atravessa uma área onde o nível de cinza se apresenta bastante escuro no canal 5 e cinza claro no 7. Esse contraste sugere vegetação de tipo arbóreo, provavelmente associada a solos secos e áreas menos baixas que as anteriormente mencionadas. Embora arbórea, essa vegetação deve ser bem mais aberta, já que o nível de cinza no canal 5 não é tão escuro como os que definem áreas florestais densas. O mesmo nível de cinza se repete a sudoeste da imagem, limitando-se com as depressões alagadas.

Próximo à margem direita do Itapicuru ocorrem algumas manchas escuras no canal 7 e mais claras no canal 5, revelando vegetação mais aberta que a anteriormente mencionada.

No extremo nordeste da imagem aparece mancha bastante distinta das anteriores, tanto em tonalidade quanto em textura. A textura é mais rugosa e o nível de cinza é mais escuro no canal 7 que no canal 5,

parecendo corresponder ou a áreas em parte desmatadas ou a um tipo de vegetação bastante aberta.

A imagem em infravermelho colorido (falsa cor), permite tirar maiores informações que das em preto e branco.

Pela foto pode-se distinguir mais claramente a penetração das águas da maré ascendente, em azul escuro, contrastando com o azul mais claro, que denota água ainda não totalmente misturada.

As depressões alagadas estão em tom quase negro, indicando acumulação de matéria orgânica nos fundos dos lagos. As que se apresentam azuladas, como as das pequenas depressões alagadas à margem esquerda da baía de São Marcos, já acusam penetração de águas de maré e um ambiente mais turbulento.

As várias tonalidades de vermelho são indicadoras dos diversos tipos de cobertura vegetal. O vermelho mais vivo e mais homogêneo indica vegetação arbórea mais aberta, com solos secos. As áreas onde o vermelho deixa entrever tonalidades mais escuras puxando para o castanho revela cobertura vegetal mais baixa e presença de solos úmidos. Um bom exemplo é a que circunda a baía de São Marcos e que se estende para o sul.

A compósita falsa cor mostra, mais claramente, uma riqueza textural, superior a das imagens em preto e branco separadas. Mas a análise gradual, isto é, imagem por imagem, permite visualizar e diagnosticar melhor: a maior ou menor penetração da radiação nos corpos de água; a percepção de águas mais densas ou não, mais profundas ou mais rasas; a delimitação das áreas de solos mais úmidos; a ocorrência de águas represadas nos leitos maiores; as drenagens estancadas, formando pequenos lagos estreitos e compridos dispostos transversalmente aos leitos principais (muito comuns nas bacias do Pindaré e Grajaú). Além de todos esses casos pode-se ainda, no tema hidrografia, apontar dois outros particulares no canal 7 desta cena: a bem marcada linha da costa e a excelente definição dos cursos d'água, quer as continentais, quer as que se insinuam pelos manguezais. A este propósito confronte-se com a imagem da faixa 5.

BOA ESPERANÇA — Órbita 178-17 (15-6-75 e 1-10-75)

MONTANTE B. ESPERANÇA — Órbita 178-18 (15-6-75 e 1-10-75)

A análise dos dois conjuntos temporais de imagens nos canais 5 e 7 mostra um relevo de formas tabulares, muito dissecado pelo rio Parnaíba e seus afluentes, sendo o vale do Parnaíba encaixado, enquanto o Gurguéia apresenta vale de fundo chato.

O canal 7, normalmente, é o que permite melhor realce dos aspectos morfológicos e estruturais. Mas na passagem de 1 de outubro é no canal 5 que eles estão mais salientados. Ele permite delimitar, com precisão, as bordas dos chapadões divisores de água, em função dos contrastes entre os níveis de cinza: mais escuro ao longo dos cursos de água indicando vegetação mais fechada (as matas ciliares); bem claro nas rampas suaves dos vales, revelando solos expostos pela presença de vegetação bastante aberta e baixa e, em alguns locais, o cinza se aproxima muito do branco, indicando solo mais desnudo.

O nível de cinza intermediário, sobre os chapadões, denota outro tipo de cobertura vegetal. Os níveis de cinza claro ao longo dos vales do Parnaíba e Gurguéia retratam intensa ação antrópica. É importante assinalar uma linha bem escura acompanhando, em largos

desenvolvimentos, a escarpa do chapadão. No mesmo nível de raciocínio, isto é, correlacionando-se os níveis de cinza e fisionomia vegetal, seria o caso de supor um revestimento do tipo florestal, o qual estaria ligado a solos melhores (ocorrem rochas basálticas e diabásicas na área) e presença de maior umidade, o que não acontece na superfície do chapadão de solos muito permeáveis e, portanto, de baixa retenção.

Da comparação dos canais 5 e 7, nos dois pares de imagens, verifica-se que os níveis de cinza dos chapadões se aproximam, embora seja um pouco mais escuro no canal 5. Esse pouco contraste revela cobertura vegetal bem mais aberta e baixa que a vegetação florestal densa; provavelmente trata-se de cerrado. Caso contrário, o canal 5 apresentaria um nível de cinza bem escuro e o 7 um cinza tendendo para o branco. O contraste tonal é muito baixo.

As imagens, nos dois períodos, apresentam, no canal 7, manchas bem escuras, dispostas sobre as altas superfícies, que indicam áreas de queimada. Pelo fato de o cinza absorver muito o infravermelho (canal 7) e bem menos no 5, elas se apresentam em nível de cinza muito escuro, quase negro no canal 7 e em nível de cinza menos contrastante no 5. No entanto, no canal 7 a resposta de uma área que sofreu a ação do fogo é diferente após a queimada e após as chuvas, ou seja: muito escura e mais clara. As pequenas variações de níveis de cinza dessas manchas podem corresponder ao efeito das primeiras chuvas. Comparando-se as imagens (canal 7) de 1.º de outubro e 15 de junho, verifica-se a quase ausência dessas manchas, na última — período seco — mostrando que está em início a época das queimadas. Nesta, pode-se perceber, ainda, o registro de fumaça, na parte inferior da imagem, entre o Gurguéia e o Uruçuí.

A derrubada pode provocar um desequilíbrio na área, determinando, com as chuvas, um fluxo de sedimentos que são carreados para os cursos de água. Esse fluxo será maior ou menor em função da intensidade das chuvas, do maior ou menor grau de alteração do material rochoso, do tipo de material e declividade da encosta.

Após a retirada da cobertura vegetal seguida de chuvas, os sedimentos são transportados para jusante, refletindo a qualidade das águas, através de sua turbidez e assoreamento não só dos leitos dos rios como também da represa. É impressionante a extensão das áreas queimadas no vale do Parnaíba, expondo as superfícies dos chapadões ao escoamento superficial difuso, com reflexos no arrasto de solos, entulhamentos e na qualidade das águas. Ao norte está a represa de Boa Esperança que, obviamente, é o receptáculo destas condições de montante.

Observando-se as imagens no canal 5, de 1.º de outubro (pontos 17 e 18), verifica-se pelo nível escuro de cinza de alguns cursos de água e da represa de Boa Esperança, que os efeitos decorrentes da retirada da vegetação ainda não se fizeram sentir na área. Caso contrário, no canal 5 o nível de cinza estaria bem mais claro, já que esse canal evidencia processo de assoreamento.

O fato talvez possa ser explicado por ter sido a área imageada no período que inicia a estação chuvosa, tempo ainda não suficiente para a retirada e carreamento de sedimentos. A comparação das imagens, no mesmo canal, de 1.º de outubro e 15 de junho (período seco) permite observar, com nitidez, um nível bem claro de cinza na imagem de 15 de junho, acusando a presença de sedimentos já depositados nos leitos e na represa, em função da sua retirada e transporte durante o período chuvoso.

O Gurguéia aparece em nível de cinza bem claro nos dois canais. Em certos pontos ao longo do vale a ocorrência de pequenas manchas em nível de cinza bem escuro, quase negro, revela maior quantidade de água. As manchas claras, áreas de cultura em pequenas propriedades, e as mais brancas e brilhantes, pequenos núcleos urbanos. Comparando-se as imagens (canal 7) do período seco e do início das chuvas, pode-se ver que no período seco a delimitação do vale está mais nítida, já que existe maior contraste entre os níveis de cinza. Os pequenos corpos de água ao longo do vale estão também, mais realçados. No canal 5, na estação seca, as áreas de cultura, pequenos núcleos urbanos e estradas são melhor observados.

5 — APRECIÇÃO FINAL

Só recentemente tomou o homem consciência da importância da preservação dos recursos naturais e do dano causado à natureza pela exploração irracional de suas riquezas. Mais ainda, que seu bem-estar depende de um mundo ecologicamente equilibrado e que para a utilização econômica e racional desses recursos mister se faz o conhecimento das interações existentes entre os mesmos e o seu manejo adequado.

A água, cujo suprimento varia no espaço e no tempo, é um dos mais importantes recursos da natureza. Seu abastecimento decorre da canalização de parte do fluxo do ciclo hidrológico: rio, riacho e lençóis aquíferos subterrâneos. Portanto, é necessário que sua avaliação seja feita, fundamentalmente, em função da quantidade de chuvas, aumento e diminuição da vazão dos cursos de água e das quantidades existentes nos estratos geológicos. Assim, é importante compreender que a maneira pela qual a terra é utilizada poderá afetar seu suprimento de água. Fato importante é o efeito que exerce a cobertura vegetal, protegendo, melhorando e preservando seu abastecimento, evitando, assim, o escoamento rápido das chuvas e diminuindo ou mesmo freando os danos decorrentes de enchentes e erosão dos solos. A retirada irracional da vegetação poderá provocar estragos difíceis de serem sanados ou mesmo efeitos catastróficos.

A erosão do solo provém, muitas vezes, também da má utilização das terras agrícolas e pastoreio excessivo, o que pode afetar seriamente sua produtividade. Por outro lado, determina a erosão, processo de assoreamento dos cursos fluviais e reservatórios. Muitos deles têm suas vidas encurtadas ou tornam-se inúteis em poucos anos, em função desse processo.

Para a preservação do equilíbrio ecológico de uma bacia hidrográfica indispensável se faz um manejo racional. Assim, o trabalho objetiva exemplificar como, através da utilização de imagens LANDSAT, as variáveis que integram uma bacia e suas relações dinâmicas podem ser analisadas e correlacionadas para aplicação no seu gerenciamento.

Embora as imagens orbitais constituam uma técnica avançada na obtenção de informações dos fenômenos, naturais ou não, da superfície terrestre, é necessário ressaltar que não devem ser tomadas como instrumento isolado de trabalho na solução de todos os problemas. Para um estudo acurado não se pode prescindir de elementos de apoio, quais sejam: equipamentos automáticos ou semi-automáticos, bases cartográficas, medidas de radiação, experimentações em laboratórios fotográficos, observações terrestres e pesquisas de campo.

BIBLIOGRAFIA

- DEUTSCH, Morris e RUGGLES, Fred — Optical Data Processing and Projected Applications of the ERTS — 1. Imaging Covering the 1973 Mississippi River Valley Floods. In *Water Resources Bulletin*. Vol. 10, Number 5, October 1974.
- HERZ, Renato — *Circulação das águas de superfície na Lagoa dos Patos*. Tese de Doutorado apresentada no Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.
- IBGE/INPE — Seminário de Sensoriamento Remoto, 27-31 de janeiro de 1975.
- MOORE, G. K. e NORTH, G. W. — Flood Inundation in the Southeastern United States from Aircraft and Satellite Imagery. In *Water Resources Bulletin*. Vol. 10, Number 5, October 1974.
- RANGO, Albert e ANDERSON, A. T. — Flood Hazard Studies in the Mississippi River Basin using Remote Sensing. In *Water Resources Bulletin*. Vol. 10, Number 5, October 1974.
- WIESNET, D. R.; McGinnis, D. F. e PRITSCHARD, J. A. — Mapping of the 1973 Mississippi River Floods by NOAA-2 Satellite. In *Water Resources Bulletin*. Vol. 10, Number 5, October 1974.
- WILLIAMSON, A. N. — Mississippi River Floods Maps from ERTS-1 Digital Data. In *Water Resources Bulletin*. Vol. 10, Number 5, October 1974.