

POTENCIALIDADE DO USO DE DADOS DE SATÉLITE NO MAPEAMENTO DE PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO

POR

Rui Carlos Vieira da Silva¹, Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto², Madalena Niero Pereira²

RESUMO -- O objetivo deste trabalho é o de analisar as potencialidades do uso de imagens de satélites na obtenção de parâmetros e/ou grandes que permitam calibrar um modelo matemático da planície de inundação. São usadas imagens dos satélites da série Landsat do trecho da bacia do São Francisco compreendido entre a localidade de Carinhanha e as proximidades do reservatório de Sobradinho. Foi analisada a evolução no espaço e no tempo de três cheias (1979, 1983 e 1985) e determinadas grandezas de grande utilidade no estabelecimento do modelo matemático.

INTRODUÇÃO

As imagens por satélite tem tido ultimamente largo emprego no levantamento e monitoramento dos recursos naturais particularmente de recursos hídricos. A necessidade cada vez maior de obtenção de dados em regiões de difícil acesso e localização, faz com que a aquisição dessas informações por técnicas de sensoriamento remoto seja a única alternativa possível. Estas técnicas envolvem a coleta de dados da superfície terrestre a partir de sistemas sensores transportados por aeronave e/ou satélites. No terreno específico das planícies de inundação estudos vêm sendo realizados preocupando-se principalmente com a quantificação das dimensões da planície e a extensão dos danos provocados.

Entre estes trabalhos destacam-se os realizados por Deutsch e Rugglen (1978), Kruus et alii (1981), Rose e Rosendahl (1983), Novo (1983), Niero et alii (1984), Pinto et alii (1985), Pinto e Florenzano (1988).

Este trabalho teve como objetivo a coleta de informações, a partir de imagens Landsat, que possibilitem a calibração de um modelo matemático de planície de inundação, em elaboração na COPPE/UFRJ. Dados como a distribuição contínua das larguras inundadas e a evolução no tempo dos volumes armazenados entre duas seções do vale, são de fundamental importância para a calibração do modelo.

A cobertura do Brasil feita pelo Landsat está ilustrada na Figura 1, tanto as órbitas percorridas como os pontos definidores das imagens. Isto faz com que praticamente todas as grandes bacias hidrográficas brasileiras tenham cobertura suficiente para o monitoramento de inundações. Na Figura 2, é apresentada a bacia do São Francisco com sua correspondente cobertura pelo satélite Landsat e que foi o objeto deste estudo.

CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DO LANDSAT

A série de satélites Landsat lançada no início da década de 70, consistiu na sistematização do sensoriamento remoto orbital para levantamento dos recursos naturais. Já foram colocados em órbita cinco satélites da série apresentando alterações no sentido de melhorar os equipamentos sensores responsáveis pe

¹ Professor - COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro

² Pesquisador Auxiliar/INPE - São José dos Campos-SP

la coleta de informações. Inicialmente operou-se com o sensor MSS (multispectral scanner system) com 4 bandas espectrais e resolução espacial de 80m. Atualmente se encontra em órbita o Landsat 5 que possui, além do MSS, o sistema Mapeador Temático (Thematic Mapper - TM) que opera em sete bandas espectrais (Tabela 1) e obtém informações sobre uma mesma área a cada 16 dias. Para o TM a resolução espacial é de 30 metros, com exceção da banda 6 (infravermelho termal) que apresenta resolução de 120 metros.

Os dados produzidos pelos sistemas sensores podem ser apresentados na forma de fitas compatíveis com computador (CCT - computer compatible tape) ou em imagens fotográficas em diferentes escalas, preto e branco ou composições coloridas multispectrais (associando-se cores - azul, verde e vermelho - as três bandas espectrais).

A característica multiespectral das imagens Landsat possibilita a melhor definição e caracterização dos alvos imageados. Por exemplo, um corpo d'água é melhor discriminado nas bandas do infravermelho do que naquelas situadas na porção do visível do espectro eletromagnético. Por sua vez a repetitividade das passagens do satélite favorece o acompanhamento de eventos que apresentam dinamicidade. Neste caso, por exemplo, um fenômeno da inundação pode ser monitorado através da passagem sequencial do satélite.

As informações contidas nas imagens do Landsat apresentam alguma distorção quando plotadas em cartas topográficas, conforme avaliação já obtida (Machado e Silva & D'Álge, 1986) sendo esta distorção de aproximadamente 1 pixel (40 metros para imagem TM e 60 metros para imagem MSS).



Figura 1. Recobrimento da superfície do território brasileiro pelos satélites da série Landsat.

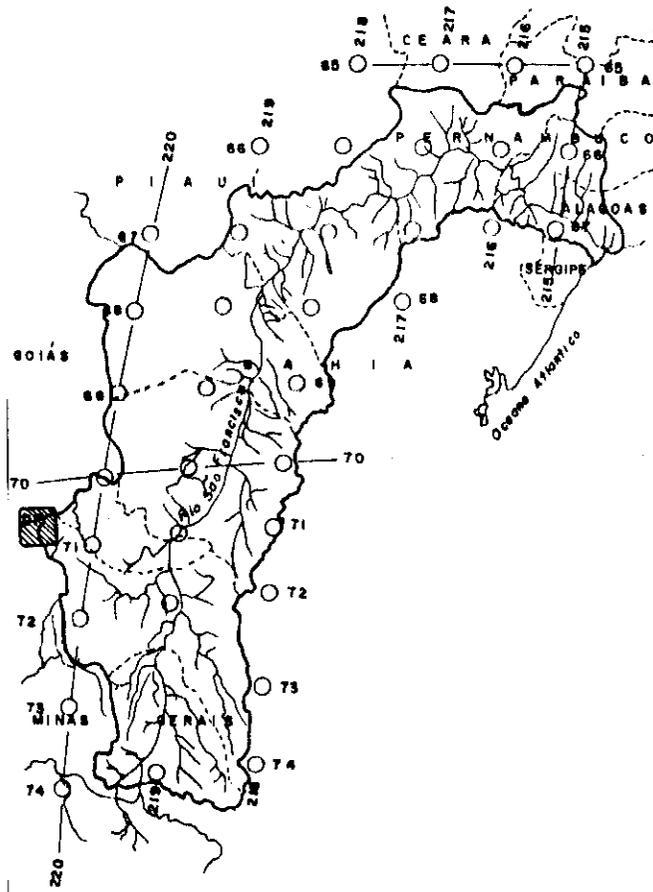


Figura 2. Recobrimento da área de estudo pelo satélite Landsat 5.

Tabela 1. Características Espectrais dos Sensores MSS e TM

BANDA ESPECTRAL	FAIXA ESPECTRAL (μm)	
	MSS (MULTISPECTRAL SCANNER)	TM (THEMATIC MAPPER)
1	0,5-0,6 (verde)	0,45 - 0,52 (azul)
2	0,6-0,7 (vermelho)	0,52 - 0,60 (verde)
3	0,7-0,8 (infravermelho próximo)	0,63 - 0,69 (vermelho)
4	0,8-1,1 (infravermelho próximo)	0,76 - 0,90 (infravermelho próximo)
5		1,55 - 1,75 (infravermelho médio)
6		10,40 - 12,50 (infravermelho termal)
7		2,08 - 2,35 (infravermelho médio)

CONDIÇÕES PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS UTILIZÁVEIS PARA MODELAÇÃO DE PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO

Como foi dito em parágrafo anterior, o satélite Landsat 5, atualmente em operação, imageia um mesmo ponto de sua órbita a cada 16 dias com resolução e precisão já referida. Neste caso é necessário, para que as imagens obtidas sejam aproveitáveis, que a cheia ocorra dentro das seguintes condições:

1 - A duração da cheia deve ser suficiente para que o número de imagens seja

representativo e compatível com a escala de tempo do modelo matemático. Isto limita a análise às cheias com duração superior a 3 meses.

2 - As dimensões da planície devem ser compatíveis com a precisão e resolução das imagens Landsat, o que limita o estudo a planícies com largura não inferior a 500m.

3 - Para obtenção do maior número possível de imagens com cobertura de nuvens insignificante, é preciso que a formação da cheia se processe basicamente nas cabeceiras. Deste modo aumenta a probabilidade de obtenção de imagens utilizáveis nos trechos médio e baixo do rio.

UTILIZAÇÃO DE DADOS LANDSAT PARA MAPEAMENTO DE PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO

Como a água absorve a maior parte da radiação nos comprimentos de onda referentes ao infravermelho, as imagens MSS e TM nas bandas 7 e 4, respectivamente, são as mais recomendadas para mapeamento da inundação (Figuras 3 e 4). Entretanto as imagens MSS são usadas atualmente, de modo geral, apenas como registro histórico uma vez que as imagens TM apresentam melhores características espectrais e de resolução espacial. As imagens nas bandas TM3 e MSS5 por outro lado são de grande utilidade na separação da água de acordo com sua qualidade/turbidez. Por exemplo neste caso é possível separar a água carregada de sedimentos do canal principal, da água armazenada na planície de inundação. Esta diferenciação bem como a extensão da lâmina d'água é possível, por exemplo, fazendo-se uma composição multispectral falsa cor pela combinação das bandas TM2, 3 e 4.

É também possível, como já foi mencionado, a análise da variação da extensão e níveis de inundação no tempo, graças a repetitividade de passagens do satélite. Este tipo de aplicação pode ser observado no trabalho de Eyton (1983), Novo (1983), Niero et alii (1984), Pinto e Florenzano (1988).



Figura 3. Imagem MSS 7 exemplificando situação de cheia.



Figura 4. Imagem TM 4 exemplificando situação de cheia.

METODOLOGIA DE ANÁLISE DAS IMAGENS LANDSAT - BACIA DO SÃO FRANCISCO

Foram utilizados neste trabalho dados Landsat (Tabela 2) sob a forma de transparências positivas, na escala 1:1.000.000, em preto e branco e em composições coloridas falsa-cor bem como dados em CCT, referentes a um setor da bacia do São Francisco. Estas imagens foram analisadas tendo como apoio cartográfico as seguintes folhas topográficas, na escala 1:100.000, produzidas pelo IBGE e DSG: Bom Jesus da Lapa, Carinhanha, Gentio do Oeiro, Ibiaí, Januária, Manga, Pirapora, Santa Fé, São Francisco, São João da Ponte e São Romão. Para análise das transparências positivas e dos dados em CCT foram utilizados respectivamente o sistema ampliador projetor PROCOM-2 e o sistema I-100 (Analisador Interativo de Imagens Multiespectrais) disponíveis no INPE.

Para delimitação da planície de inundação, tanto na situação de cheia como de vazante, foram utilizadas principalmente imagens TM em composições coloridas multispectrais, associando-se a banda 2 à cor azul, a banda 3 à cor verde e a banda 4 ao vermelho. Para as imagens MSS esta associação foi feita respectivamente para as bandas 4, 5 e 7.

A partir da análise interpretativa destas imagens, foram preparados "overlays" temáticos contendo a delimitação da planície de inundação e extensão dos corpos d'água para diferentes passagens Landsat. Foi possível determinar elementos fundamentais como: extensão da planície, separação do canal principal e das zonas de acumulação, identificação de canais secundários e lagoas na planície, ocorrência de terraços não inundados, singularidades, etc.

Foram analisadas as cheias de 1979, a de maior amplitude após o início da operação do satélite Landsat e as cheias de 1983 e 1985 por apresentarem imagens de melhor qualidade. Os dados obtidos serão utilizados na calibração do Modelo Matemático da bacia do São Francisco desenvolvido na COPPE/UFRJ (Cirillo e Canedo de Magalhães (1987)).

Tabela 2. Relação dos Dados Landsat Utilizados

PRODUTO LANDSAT	ÓRBITA/PONTO	DATA DA PASSAGEM	SENSOR	BANDA OU COMBINAÇÃO DE BANDAS
Transparência positiva	235/69	23/FEV/79	MSS	5
Transparência positiva	219/69	27/FEV/83	MSS	7
Transparência positiva	219/69	27/FEV/83	MSS	4,5 e 7
Transparência positiva	219/69	07/JAN/85	TM	2,3 e 4
Transparência positiva	219/68	08/FEV/85	TM	4
Transparência positiva	219/69	08/FEV/85	TM	4
Transparência positiva	219/69	08/FEV/85	TM	2,3 e 4
Transparência positiva	219/71	08/FEV/85	TM	4
Transparência positiva	218/69	21/MAR/85	TM	2,3 e 4
Transparência positiva	219/69	28/MAR/85	TM	2,3 e 4
Transparência positiva	218/69	22/ABR/85	TM	2,3 e 4
Transparência positiva	219/69	29/ABR/85	TM	2,3 e 4
CCT	234/69	12/MAR/79	MSS	-
CCT	235/69	15/MAI/79	MSS	-

A análise digital dos dados obtidos para o ano de 1979, no sistema I-100, foi feita a partir da utilização do Programa Registro de Imagens que permite a superposição de informações, de uma mesma área, obtidas em datas diferentes. Nesta análise associou-se à imagem correspondente a vazante (maio de 1979) a cor vermelha e aquela representativa da situação de cheia (março de 1979) à cor ciano. Neste procedimento obtem-se uma composição colorida multitemporal onde as áreas que não sofreram modificações apresentam-se em tons esbranquiçados e preto, enquanto que as áreas alteradas associam-se às cores vermelho e ciano.

A partir da imagem colorida apresentada na tela do I-100 foi obtida uma fotografia da qual foi gerado um mapa com legenda em preto e branco.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através dos dados Landsat, equipamentos e abordagem metodológica utilizada obteve-se os resultados que serão apresentados a seguir.

Nas imagens Landsat as áreas inundadas apresentaram-se em níveis de cinza escuro nas bandas TM 4 e MSS 7 devido a maior absorção da energia pela água, na faixa do infravermelho próximo, enquanto que as áreas emersas foram delimitadas pelas suas tonalidades de cinza médio a claro devido a maior contribuição da resposta espectral da cobertura vegetal e solos.

Na planície de inundação as graduações de níveis de cinza muito escuro a escuro podem também estar associados às condições de umidade contida na superfície da cobertura pedológica.

A Figura 5 exemplifica uma cena Landsat referente à uma situação de cheia, na qual pode se observar a extensão da lâmina d'água na planície fluvial bem como o comportamento do canal de escoamento do São Francisco no contexto deste evento de inundação.

Através da Figura 5 observa-se por exemplo, que o canal de escoamento principal encontra-se centrado na planície de inundação no setor A (retângulo A), fato que concorre para o vazamento em ambos os lados, enquanto que no setor B (retângulo B) o rio São Francisco se posiciona excentricamente na sua planície fluvial. Desta forma através das imagens orbitais é possível delimitar com mais fidelidade as áreas de abrangência de uma planície de inundação bem como a extensão atingida pela lâmina d'água em um dado evento de cheia. Este dado é fundamental para a correta esquematização geométrica da planície no modelo matemático.

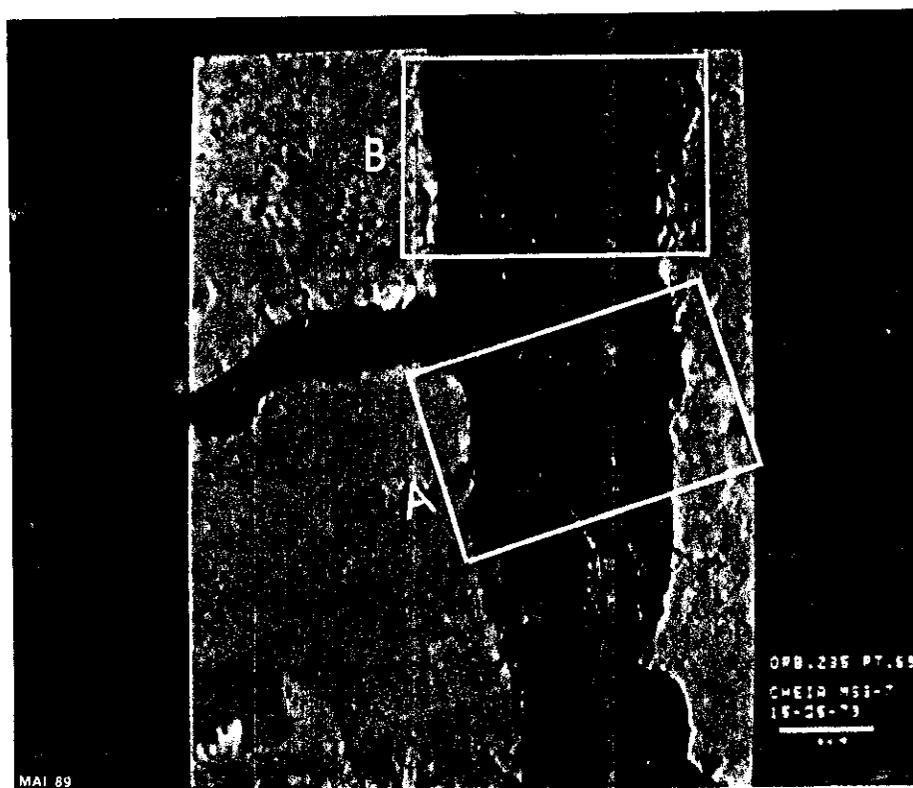
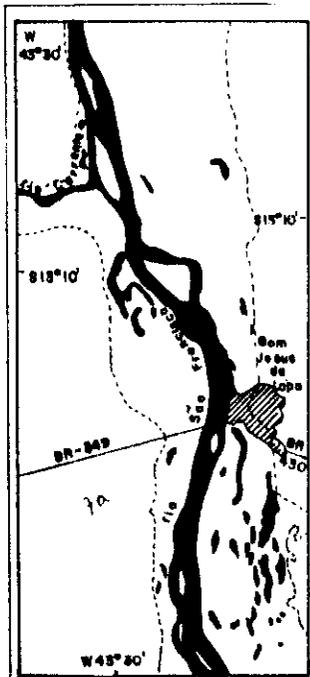


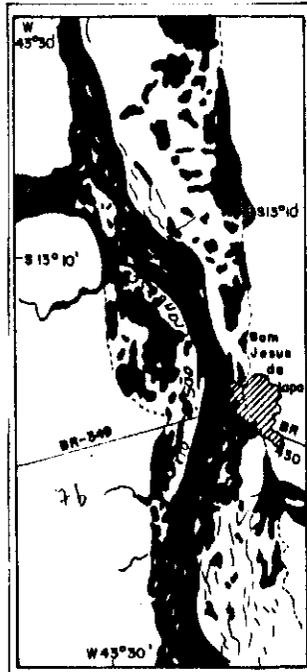
Figura 5. Imagem Landsat de período de cheia.

Por sua vez a análise interpretativa das composições coloridas multispectrais falsa-cor adicionaram informações aos dados coletados a partir das imagens em preto e branco das bandas TM 4 e MSS 7.

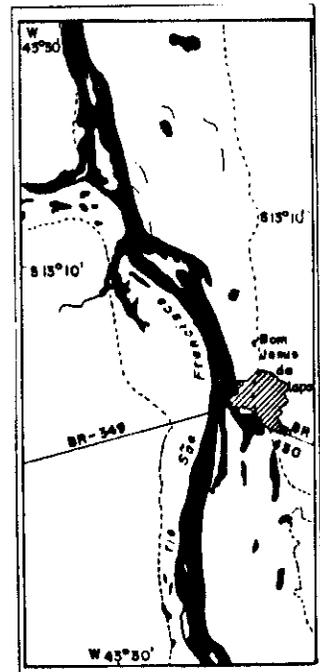
Através das imagens coloridas (TM 2 (azul), TM 3 (verde), TM 4 (vermelho) e MSS 4 (azul), MSS 5 (verde), MSS 7 (vermelho)) foi possível melhorar a delimitação de alguns trechos da planície de inundação, discriminar o canal de escoamento principal, mesmo na situação de cheia, bem como identificar os setores da planície contendo tanto água acumulada pelo escoamento superficial da água pluvial como daquela fornecida pelo extravasamento do canal fluvial principal (Figura 6). Neste aspecto é importante a contribuição das informações contidas nas bandas da porção visível do espectro eletromagnético que compõem aquelas



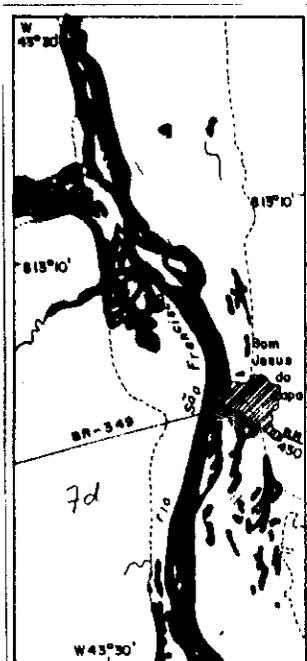
a



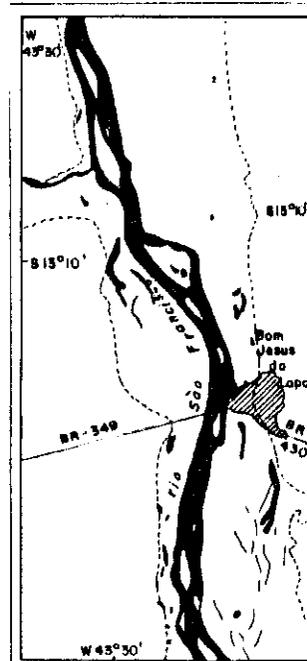
b



c



d



e

Figura 7. Sequência temporal de dados TM - Variação do corpo d'água.

07/01/85, 08/02/85, 21/03/85, 28/03/85 e 29/04/85.

A cena imageada em 07/01/85 (Figura 7a) refere-se a uma situação de pré-cheia onde se verifica pouca contribuição de água proveniente do extravasamento do canal fluvial principal, notando-se a presença de água de acumulação e/ou umidade na planície com base na coloração azul escuro a preto presente em diversos trechos daquela planície. Nesta situação ainda a água de escoamento do rio São Francisco se encontra bem definida em seu leito principal.

A situação seguinte refere-se à passagem Landsat de 08/02/85 (Figura 7b) a qual ilustra um evento de cheia com o extravasamento da água do canal do São Francisco em extensos setores da planície de inundação. A grande contribuição do extravasamento nesta data é perceptível pela presença de água túrbida (coloração azul claro).

A passagem de 21/03/85 (Figura 7c) evidencia nítida situação de início de vazante com a diminuição da água do canal de escoamento principal e da água acumulada na planície de inundação. A cena Landsat de 28/03/85 (Figura 7d) revela nova crescida da água com incremento do extravasamento do canal do rio São Francisco em determinados trechos da sua planície, bem como maior intensidade da água de acumulação não proveniente do canal principal. Na finalização desta sequência a imagem obtida em 29/04/85 (Figura 7e) representa uma situação de pós-cheia (situação de vazante com o rio São Francisco bem definido em seu leito de escoamento e pequenos setores da planície de inundação ainda mantendo manchas de água de acumulação).

Nesta sequência de imagens o mesmo comportamento de variação de lâmina d'água pode ser observado no rio Correntes, importante afluente do rio São Francisco nesta área analisada.

Outro evento de cheia abordado neste trabalho refere-se aquele ocorrido no São Francisco, no período de março de 1979. Para este caso utilizou-se informações Landsat (MSS 7) armazenadas em CCT e processadas no sistema I-100. Neste exemplo aplicou-se a opção de superposição das imagens MSS 7 relativas as situações de vazante (maio/79) e cheia (março/79), o que possibilitou identificar a variação da lâmina d'água e conseqüentemente a extensão da inundação (Figura 8).

A Figura 8 ilustra as áreas que não sofreram modificação em termos de reflectância espectral durante o período analisado. Estas áreas correspondem, por exemplo, ao leito principal dos canais fluviais e algumas lagoas marginais na planície de inundação, onde ocorre a presença de água para as duas passagens Landsat analisadas.

Outro exemplo de setores que não sofreram modificação, conseqüentemente não atingidos pela água da inundação, são aqueles correspondentes a determinados terraços fluviais, na planície fluvial, que dadas as suas condições de superfícies mais elevadas permaneceram emersos (Figura 8).

A aplicação da abordagem de análise multitemporal através da superposição de imagens de épocas diferentes, que evidenciam as situações contrastantes de cheia e vazante permite melhor caracterizar e delimitar a abrangência de um evento de inundação.

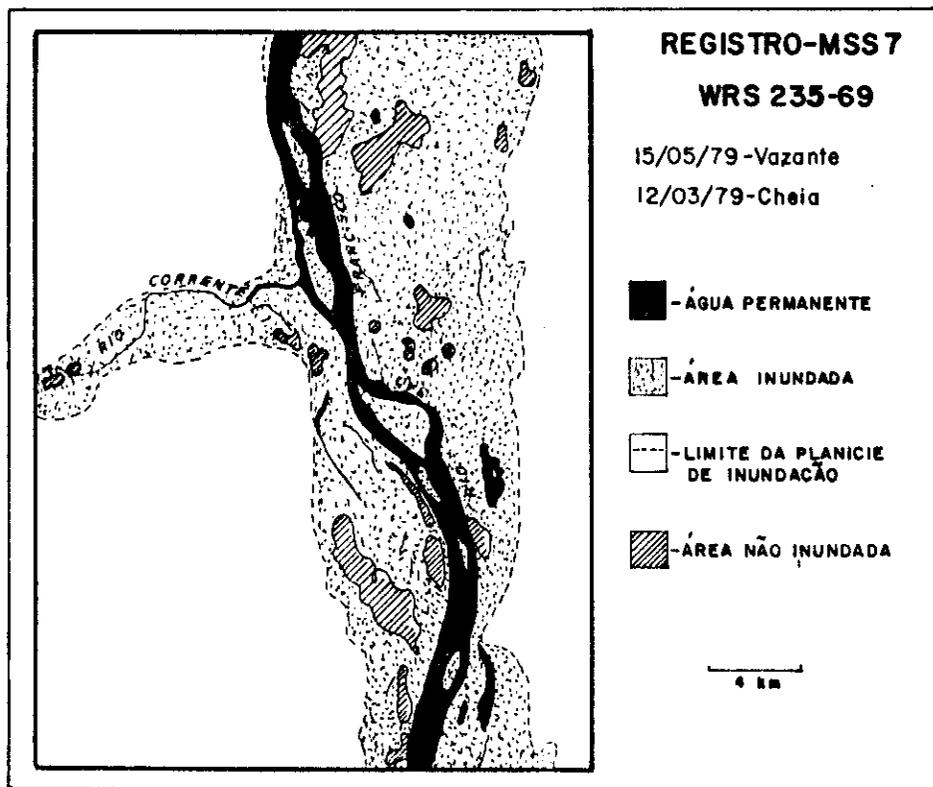


Figura 8 - Registro de imagens Landsat - composição multitemporal - (MSS 7 - cheia e MSS 7 - vazante).

CONCLUSÕES

A análise das imagens MSS e TM obtidas através dos satélites Landsat, permite obter as seguintes conclusões preliminares sobre a potencialidade do uso de dados de satélite na modelação de planícies de inundação:

1 - O uso da composição colorida multispectral falsa cor permite delinear com precisão as dimensões do canal principal, dos canais secundários derivados diretamente do canal principal, e as zonas de acumulação.

2 - No caso estudado (bacia do São Francisco), as imagens permitem concluir que os efeitos dinâmicos na planície são desprezíveis e ela funciona fundamentalmente como zona de acumulação.

3 - A correta delimitação da planície de inundação sobre planta topográfica permite obter a variação contínua da largura superficial de água, dado da maior importância para a modelagem matemática. Ela permite também localizar singularidades como, por exemplo o desnivelamento entre margens (diques naturais ou artificiais em uma única margem) o que provoca a inundação de apenas um lado do vale.

4 - A superposição de imagens de passagens Landsat diferentes permitiu a observação de singularidades como repiquetes (ocorrência de dois picos consecutivos), fenômeno este que não foi detectado pelas réguas existentes.

5 - A supervisão de imagens não permitiu, com a precisão desejada, a quantificação de trocas entre o canal principal e a planície. Isto se deve ao fato de que o número de fitas, as quais fornecem dados mais precisos, foi insuficiente em relação ao número de imagens observadas, o que será corrigido nas próximas pesquisas.

REFERÊNCIAS

- CIRILLO, J.A., MAGALHÃES, P.C. (1987), "Propagação de cheias no rio São Francisco". Revista Brasileira de Engenharia, Cadernos de Recursos Hídricos, volume 5, número 2, páginas 67-90.
- DEUTSCH, M., RUGGLES Jr., F.H. (1978), "Hydrological applications of Landsat imagery used in the study of the 1973 Indus river flood, Pakistan". Water Resources Bulletin, Volume 14, Number 2, pages 261-274.
- EYTON, J.R. (1983), "Landsat Multitemporal color composites". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Volume 49, Number 2, pages 231-235.
- KRUIS, J., DEUTSCH, M., HANSEN, P.L., FERGUSON, H.L. (1981), "Flood applications of satellite imagery". In: Annual William T. Pecora Memorial Symposium on Remote Sensing, SIOUX FALLS, SD, 1979. Satellite Hydrology: Proceedings. Minneapolis, MN, AWRA, Volume 5, pages 292-301.
- MACHADO e SILVA, A.J.F., D'ALGE, J.C.L. (1986), "Avaliação da qualidade geométrica das imagens TM". Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto - IV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - VI Reunión Plenária SELPER, Gramado-RS, volume 1, página 73.
- NIERO, M., PINTO, S.A.F., MARTINI, P.R., ANDRADE, G.B. (1984), Aplicação de dados Multitemporais do Landsat no Acompanhamento da Variação da Lâmina d'Água na Área Programa do Careiro/PDRI-AM. São José dos Campos, INPE. (INPE-3176-RTR/055).
- NOVO, E.M.L.M. (1983), Aplicaciones de los sensores remotos a problemas hidrológicos e inundaciones. São José dos Campos, INPE. (INPE-2896-PRE/415).
- PINTO, S.A.F., NOVO, E.M.L.M., NIERO, M., ROSA, R. (1985), Utilização de dados multitemporais do Landsat para a identificação de setores da planície fluvial sujeito a inundação. São José dos Campos, INPE. (INPE-3445-PRE/699).
- PINTO, S.A.F., Florenzano, T.G. (1988), Landsat-TM data to map flooded areas. São José dos Campos, INPE. (INPE-4594-PRE/1324).
- ROSE, P.W., ROSENDAHL, P.C. (1983), "Classification of Landsat data for hydrologic application, Everglades National Park. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, volume 49, Number 4, pages 505-511.

POTENCIALIDADE DO USO DE DADOS DE SATÉLITE NO MAPEAMENTO DE PLANÍCIES
DE INUNDAÇÃO

POR

Rui Carlos Vieira da Silva¹, Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto², Madalena Niero
Pereira²

RESUMO -- O objetivo deste trabalho é o de analisar as potencialidades do uso de imagens de satélites na obtenção de parâmetros e/ou grandezas que permitam calibrar um modelo matemático da planície de inundação. São usadas imagens dos satélites da série Landsat do trecho da bacia do São Francisco compreendido entre a localidade de Carinhanha e as proximidades do reservatório de Sobradinho. Foi analisada a evolução no espaço e no tempo de três cheias (1979, 1983 e 1985) e determinadas grandezas de grande utilidade no estabelecimento do modelo matemático.

LANDSAT SATELLITE DATA FOR FLOOD PLAIN MAPPING

BY

Rui Carlos Vieira da Silva¹, Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto², Madalena Niero
Pereira²

ABSTRACT -- The objective of this work is to evaluate the possibility of using satellite imagery (Landsat) to obtain basic parameters which permit the calibration of a flood plain mathematical model. Multitemporal satellite imagery of 1979, 1983 and 1985 of the São Francisco basin between the city of Carinhanha and the Sobradinho reservoir (Bahia State) were used to analyze the spatial and temporal distribution of flood plain which are important to formulate the mathematical model.

¹Professor - COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro-RJ

²Assistant Research/INPE - São José dos Campos-SP