



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS

AUTORES
AUTHORS

DADOS TM-LANDSAT
INUNDAÇÃO
BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY

Roberto Pereira da Cunha
Diretor Sens. Remoto

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR

Teresa Gallotti Florenzano
Teresa Gallotti Florenzano

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

Sérgio dos Anjos F. Pinto
Sérgio dos Anjos F. Pinto

CDU/UDC

528.835:556.166

DATA / DATE

Fevereiro 1990

TÍTULO/TITLE	<p>PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO</p> <p>INPE-5034-RPE/619</p> <p>IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUBMETIDAS À INUNDAÇÃO ATRAVÉS DE IMAGENS TM/LANDSAT NAS BACIAS DOS RIOS PINDARÉ, MEARIM, JAGUARIBE, APODI, PIRANHAS E SÃO FRANCISCO</p>
	<p>AUTORES/AUTHORSHIP</p> <p>Teresa Gallotti Florenzano Mário Valério Filho Ricardo Leonardo Vianna Rodrigues*</p>

ORIGEM
ORIGIN

DPA

PROJETO
PROJECT

INUNDA

Nº DE PAG.
NO OF PAGES

37

ULTIMA PAG.
LAST PAGE

A. 2

VERSÃO
VERSION

Nº DE MAPAS
NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Imagens analógicas do TM-LANDSAT, referentes aos períodos de cheia e vazante, foram utilizadas para mapear áreas submetidas à inundação em setores das bacias dos rios Pindaré, Mearim, Jaguaribe, Apodi, Piranhas e São Francisco (NE-Brasil). Estas imagens foram analisadas nos formatos de papel fotográfico, em preto e branco, bandas TM-3 e TM-4, na escala de 1:100.000 e de transparências positivas coloridas (1:1.000.000) compostas das bandas TM-3 (azul), TM-5 (verde), TM-4 (vermelho). Através do sistema PROCOM-2 (projetor-amplificador), as transparências foram ampliadas para a escala de 1:100.000. Foram obtidas composições coloridas multiespectrais, multitemporais e multitemporal-multiespectrais, utilizando dados digitais em CCTs, para uma seção da bacia do Jaguaribe. Como resultado deste trabalho foram obtidas 25 cartas temáticas na escala de 1:100.000 com a indicação das áreas inundadas na cheia ocorrida em 1985.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Relatório entregue à SUDENE, referente à 2ª fase do Projeto "Aplicação de dados TM/LANDSAT para o mapeamento de áreas submetidas à inundação", convênio INPE/SUDENE.
* Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

ABSTRACT

Analogic LANDSAT-TM images for both normal and flood discharge were used to map those area subject to inundation along the floodplain of rivers Pindaré, Mearim, Jaguaribe, Apodi, Piranhas and São Francisco (NE of Brazil). Analogic images (b/w) at bands TM-3 and TM-4, at the scale 1:100.000, as well as positive color transparencies at 1:1.000.000, band 3 (blue), 5 (green), 4 (red), were analysed. These transparencies were enlarged at the scale of 1:100.000 using the PROCOM-2 system. Multispectral, multitemporal and multitemporal-multispectral color composites were obtained from digital TM data. The digital processing was carried out at test site in a selected section in the Jaguaribe river floodplain. The result of this study is a set (collection) of 25 thematic maps at 1:100.000, showing flooded areas during the flood of 1985.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - MATERIAL E MÉTODO</u>	3
2.1 - Área de estudo	3
2.2 - Material	3
2.2.1 - Dados de sensoriamento remoto	5
2.2.2 - Cartas topográficas	5
2.2.3 - Dados fluviométricos	5
2.2.4 - Sistemas analisadores de imagens digitais	7
2.2.5 - Projetor - Ampliador PROCOM-2	7
2.3 - Método	7
2.3.1 - Seleção dos dados TM-LANDSAT	7
2.3.2 - Processamento digital das imagens TM-LANDSAT	7
2.3.3 - Análise visual dos dados TM - Elaboração das cartas de áreas inundadas	8
<u>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS</u>	11
3.1 - Processamento digital das imagens TM-LANDSAT	11
3.1.1 - Composições coloridas multiespectrais	11
3.1.2 - Composições coloridas multitemporais	17
3.1.3 - Composições coloridas multitemporal-multiespectrais	17
3.2 - Interpretação de imagens analógicas TM-LANDSAT	20
<u>CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES</u>	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
APÊNDICE A - CARTA DE ÁREAS SUBMETIDAS À INUNDAÇÃO	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Localização da área de estudo	4
3.1 - Composição colorida multiespectral TM-3 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de vazante (26.07.84) - módulo Limoeiro do Norte	12
3.2 - Composição colorida multiespectral TM-3 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Limoeiro do Norte	12
3.3 - Composição colorida multiespectral TM-3 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Tabuleiro do Norte	13
3.4 - Composição colorida multiespectral TM-2 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Limoeiro do Norte	13
3.5 - Composição colorida multiespectral TM-5 (azul), TM-3 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Tabuleiro do Norte	14
3.6 - Composição colorida multiespectral TM-3 (azul), TM-4 (verde) e TM-5 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Limoeiro do Norte	14
3.7 - Composição colorida multiespectral TM-2 (azul), TM-3 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Tabuleiro do Norte	15
3.8 - Composição colorida multiespectral TM-7 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Limoeiro do Norte	15
3.9 - Imagem TM-4 do período da vazante (26.07.84) realçada por ampliação linear de contraste - módulo Tabuleiro do Norte .	18
3.10 - Imagem TM-4 do período de cheia (26.05.85) realçada por ampliação linear de contraste - módulo Tabuleiro do Norte ...	19
3.11 - Composição colorida multitemporal obtida pela superposição das bandas TM-4 dos períodos de cheia e vazante, associadas às cores cian e vermelha, respectivamente - módulo Tabuleiro do Norte	19
3.12 - Composição multitemporal-multiespectral obtida com as bandas TM-1 e TM-4 do período de cheia e TM-4 da vazante, associadas às cores azul, verde e vermelha, respectivamente - módulo Limoeiro do Norte	20

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A insuficiência ou inexistência de fotografias aéreas, de dados hidrológicos e meteorológicos, nos países em desenvolvimento, tornam a tecnologia espacial de grande utilidade para estudo e monitoramento de processos de inundação.

Através da análise de imagens obtidas por satélites, é possível extrair parâmetros referentes à extensão de lâmina d'água, de áreas úmidas e de áreas impermeáveis; classes de uso do solo e cobertura vegetal etc., os quais são importantes no estudo de eventos de inundação e no uso de modelos hidrológicos de previsão de cheias.

Desde 1981, pesquisadores do Departamento de Pesquisa e Aplicações em Sensoriamento Remoto vem estudando processos de inundação através de dados do satélite LANDSAT.

Inicialmente nesses estudos desenvolvidos para seções dos rios Doce, Amazonas e Paraná foram utilizados dados do sensor MSS (LANDSAT).

Mais recentemente, a partir de 1987, dados do sensor TM do satélite LANDSAT vêm sendo aplicados no projeto "Utilização de dados TM-LANDSAT para o mapeamento de áreas submetidas à inundação", para seções de bacias hidrográficas do Nordeste.

O presente relatório apresenta a metodologia e os resultados obtidos na segunda fase deste projeto, desenvolvido em cooperação técnica entre o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

Nesta fase do projeto foram estudados segmentos de seis bacias hidrográficas do Nordeste: Pindaré, Mearim, Jaguaribe, Apodi, Pi

ranhas e São Francisco. Estas bacias foram submetidas a um significan
te processo de inundação, ocorrido entre o período de março a maio de
1985.

O trabalho foi realizado com imagens TM-LANDSAT dos pe
ríodos de cheia e vazante, considerando as características multiespec
trais e multitemporais proporcionadas por aquele sistema orbital de sen
soriamento remoto. A metodologia utilizada para a análise das imagens
analógicas TM-LANDSAT foi basicamente aquela elaborada na primeira fa
se do projeto para a área piloto da bacia do Rio Parnaíba, conforme re
latório intitulado "Utilização de dados TM-LANDSAT para o m
apeamento de áreas submetidas à inundação na Bacia do Rio Parnaíba" (Florenzano
et al., 1988).

CAPÍTULO 2

MATERIAL E MÉTODO

2.1 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta segunda fase do projeto compreendia inicialmente as seguintes seções das bacias hidrográficas abaixo relacionadas:

- Pindaré - de Santa Luzia à foz;
- Mearim - de Marianópolis à foz;
- Itapecuru - de Caxias à foz;
- Acaraú - de Sobral à foz;
- Jaguaribe - de Jaguaribe à foz;
- Apodi - de Apodi à foz;
- Piranhas - de Jucurutu a Macau;
- Paraíba - de Boqueirão à foz;
- São Francisco - de Juazeiro - Petrolina à foz.

A intensa cobertura de nuvens nessas áreas, no entanto, impossibilitou a aquisição de imagens TM-LANDSAT, referentes ao período de cheia, para as bacias do Itapecuru, Acaraú e Paraíba, além de parte daqueles trechos de interesse das demais bacias.

A Figura 2.1 mostra os segmentos das bacias do Pindaré, Mearim, Jaguaribe, Apodi, Piranhas e São Francisco que foram efetivamente estudados.

2.2 - MATERIAL

Para a elaboração deste trabalho foram utilizados os materiais relacionados a seguir.

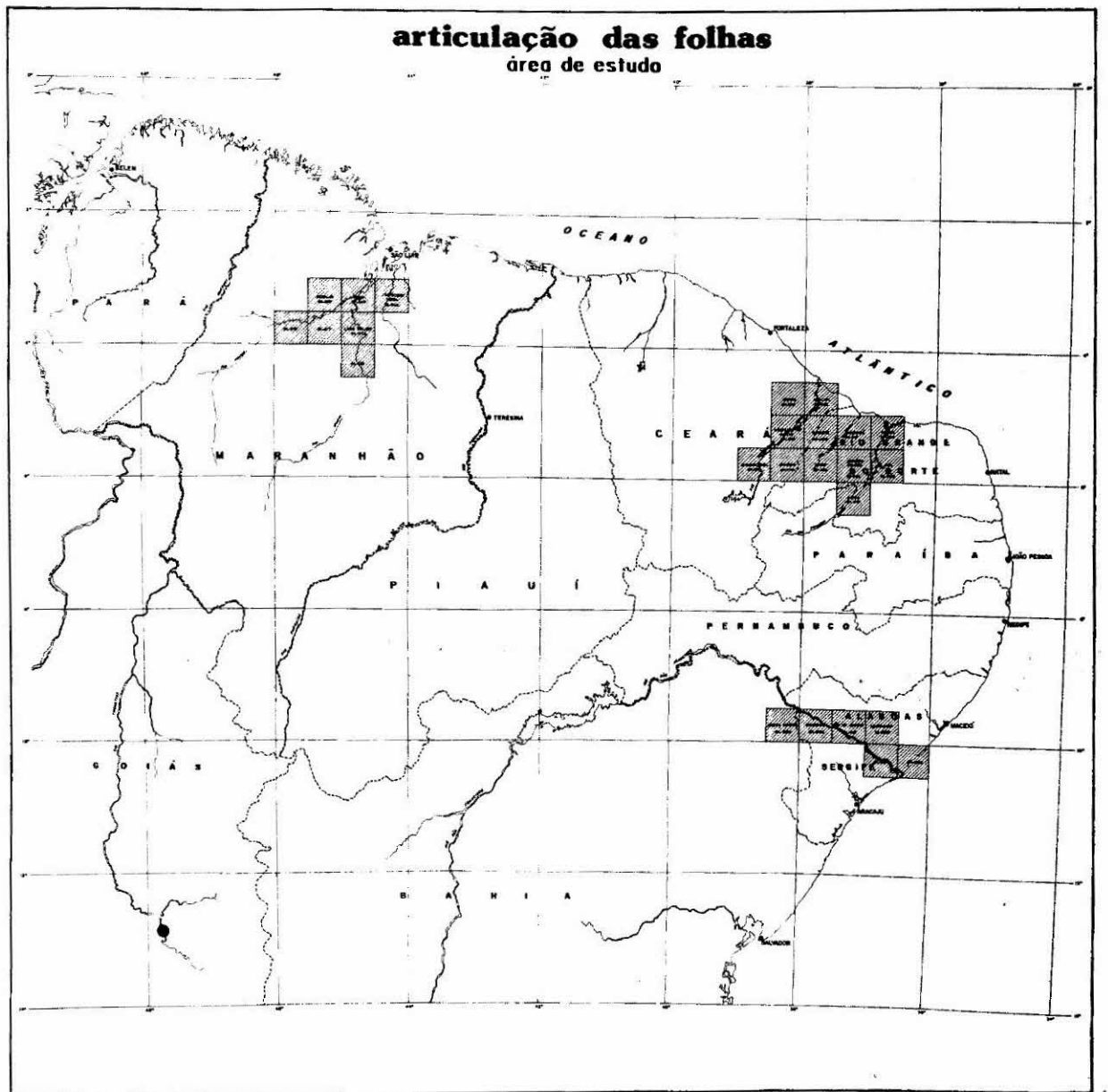


Fig. 2.1 - Localização da área de estudo.

2.2.1 - DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

a) Dados TM-LANDSAT

Os dados TM-LANDSAT foram adquiridos no formato de papel fotográfico, em preto e branco, nas bandas 3 (vazante) e 4 (cheia e vazante), na escala de 1:100.000; em transparências coloridas positivas, na escala de 1:1.000.000; e em fitas compatíveis com computador (CCTs).

Na Tabela 2.1 encontram-se especificados os dados TM-LANDSAT utilizados neste trabalho.

b) Mosaicos Fotográficos

Foram consultados mosaicos fotográficos do DNAEE, na escala 1:25.000, disponíveis para as bacias dos rios Jaguaribe, Apodi e Piranhas.

2.2.2 - CARTAS TOPOGRÁFICAS

Utilizaram-se cartas topográficas, na escala 1:100.000, publicadas pela DSG, Folhas Itapecuru-Mirim, Lago-Açu, Arari, Penalva, Aracati, Bonhu e Santa Brígida, bem como pela SUDENE, Folhas Limoeiro do Norte, Iracema, Jaguaretama, Mossoró, Apodi, Quixerê, Açu, Macau, Caicó, Augusto Severo, Arapiraca, Piranhas e Pão de Açúcar. Além destas cartas topográficas, foram consultadas cartas planialtimétricas, publicadas pelo DNOS, nas escalas de 1:25.000, disponíveis para a bacia do Mearim.

2.2.3 - DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Os dados fluviométricos analisados, fornecidos pelo DNAEE, referem-se às cotas médias diárias de 1980 a 1987, e às cotas máximas de 1985.

TABELA 2.1

ESPECIFICAÇÃO DOS DADOS TM-LANDSAT UTILIZADOS

FORMATO	ÓRBITA	PONTO	QUADRANTE	ESCALA	DATA (CHEIA)	DATA (VAZANTE)	BACIA
Imagens em preto e branco em papel fotográfico (bandas 3 e 4)	221	62	B	1:100.000	29-05-85	04-08-86	Mearim
	221	62	D	1:100.000	29-05-85	04.08.86	Pindarê/Mearim
	221	62	S	1:100.000	29-05-85	04-08-86	Pindarê
	221	63	A	1:100.000	29-05-85	01-08-85	Pindarê
	221	63	B	1:100.000	29-05-85	01-08-85	Mearim
	221	63	D	1:100.000	29-05-85	01-08-85	Mearim
	216	64	A	1:100.000	26-05-85	26-07-84	Jaguaribe
	216	64	C	1:100.000	26-05.85	26-07-84	Jaguaribe
	216	64	B	1:100.000	26-05.85	18-11-85	Apodi
	215	64	A	1:100.000	17-04-85	11-11-85	Piranhas
	215	64	C	1:100.000	17-04-85	11-11-85	Piranhas
	214	67	C	1:100.000	28-05-85	09-12-86	São Francisco
	215	67	A	1:100.000	17-04-85	17-11-87	São Francisco
215	67	E	1:100.000	17-04-85	17-11-87	São Francisco	
Transparências coloridas positivas*	221	62	CENA	1:1.000.000	29-05-85	04-08-86	Pindarê/Mearim
	221	63	CENA	1:1.000.000	29-05-85	01-08-85	Pindarê/Mearim
	216	64	CENA	1:1.000.000	26-05-85	27-06-85	Jaguaribe/Apodi
	215	64	CENA	1:1.000.000	17-04-85	11-11-85	Piranhas
	214	67	CENA	1:1.000.000	28-05-85	09-12-86	São Francisco
	215	67	CENA	1:1.000.000	17-04-85	17-11-87	São Francisco
Imagens digitais bandas 1,2,3,4,5 e 7	216	64	A	-	26-05-85	26-07-84	Jaguaribe

* Composição colorida com as bandas 3, 4 e 5 associadas às cores azul, vermelho e verde, respectivamente.

2.2.4 - SISTEMAS ANALISADORES DE IMAGENS DIGITAIS

O processamento digital dos dados TM-LANDSAT (CCTs) foi realizado através dos sistemas analisadores de imagens digitais disponíveis no INPE em São José dos Campos: IMAGE-100 e SITIM, este último disponível também no laboratório regional do INPE em Campina Grande (PB).

2.2.5 - PROJETOR - AMPLIADOR PROCOM-2

O projetor-amplificador PROCOM-2 da Gregory Geoscience LIMITED, disponível no INPE em São José dos Campos, foi utilizado para a projeção e ampliação das imagens em transparências positivas para a escala 1:100.000.

2.3 - MÉTODO

A metodologia utilizada neste trabalho é basicamente a desenvolvida para a área piloto da bacia do Parnaíba (Florenzano et al., 1988).

2.3.1 - SELEÇÃO DOS DADOS TM-LANDSAT

A seleção das bandas 3 e 4 e do tipo de composição colorida, indicada na Tabela 2.1, foi feita com base nos resultados obtidos no trabalho realizado para a bacia do Parnaíba.

O critério para a escolha das datas das imagens, referentes aos períodos de cheia e vazante, apoiou-se na análise dos dados fluviométricos e na disponibilidade de imagens.

2.3.2 - PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS TM-LANDSAT

Este tipo de procedimento, que teve como objetivo principal testar para outra área a validade das técnicas de processamento digital empregadas para a bacia do Parnaíba, foi aplicado em um segmento

da bacia do Jaguaribe que dispunha de imagens de melhor qualidade em relação as demais áreas estudadas.

O segmento da bacia do rio Jaguaribe submetido a técnicas de processamento digital abrange as cidades de Limoeiro do Norte e Tabuleiro do Norte. Nesta área, ampliada para a escala de 1.50:000 no "display" do sistema de tratamento de imagens, foram aplicadas técnicas de realce (ampliação linear de contraste) e registro de imagens (Florenzano et al., 1988).

A partir das imagens realçadas por ampliação linear de contraste, foram obtidas composições coloridas multiespectrais.

Através da utilização da técnica de registro de imagens foram superpostas imagens das épocas de cheia e vazante, da mesma banda espectral (TM-4), as quais, associadas a cores, permitiram a obtenção de composições coloridas multitemporais.

Finalmente foram obtidas composições coloridas multitemporal-multiespectrais, utilizando as bandas TM-4 das duas épocas e a banda TM-1 do período de cheias, associadas às cores primárias.

2.3.3 - ANÁLISE VISUAL DOS DADOS TM- ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE ÁREAS INUNDADAS

A elaboração das cartas temáticas referentes às inundações ocorridas no período abril-maio de 1985, para setores das bacias do Pindaré, Mearim, Jaguaribe, Apodi, Piranhas e São Francisco, foi realizada principalmente a partir das informações extraídas da interpretação visual das imagens TM da banda 4, dos períodos de cheia e vazante (Tabela 2.1).

A análise das imagens analógicas seguiu critérios de foto interpretação convencional, considerando entretanto as características espectrais dos dados TM-LANDSAT. Desta forma, a identificação e a delimitação das áreas submetidas à inundação foram conduzidas a partir

da observação de classes de níveis de cinza específicas para as áreas atingidas pelos processos de cheia. A determinação destas classes teve como suporte a escala de níveis de cinza que acompanha os produtos fotográficos TM em preto e branco.

Com base na variação de níveis de cinza, na banda 4 das passagens do período de cheia, caracterizaram-se as áreas inundadas através de indicadores diretos e indiretos. A identificação direta foi possibilitada pela presença da própria lâmina d'água e da umidade superficial ainda presentes em setores da planície de inundação dos rios estudados.

Como critério indireto adotou-se a análise de determinados elementos observáveis nas imagens, que podem constituir indicadores da planície aluvial submetida à inundação. Estes elementos, textura, formas lineares, presença de pequenos corpos d'água lagunares marginais em associação com níveis de cinza das imagens, auxiliam a caracterização da extensão do evento de inundação no período considerado. Por outro lado, devido a problemas de nuvens nas imagens do período de cheia, os limites das áreas inundadas foram inferidos através da análise das imagens do período de vazante, com o apoio das cartas topográficas, particularmente aquelas na escala de 1:25.000, bem como dos mosaicos fotográficos nesta mesma escala.

A interpretação visual das imagens da banda 4, em preto e branco, foi complementada através da análise das transparências coloridas positivas (na escala de 1:1.000.000), compostas com as bandas TM-3 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) ampliadas para a escala de 1:100.000 e ajustadas sobre as bases cartográficas, nesta escala, por meio do sistema PROCOM-2.

Como subsídio à interpretação preliminar das imagens LANDSAT, foi executado nas áreas estudadas, à exceção da bacia do São Francisco, o trabalho de verificação de campo. Os dados de campo foram obtidos através de percursos terrestres, definidos para amostrar áreas

representativas em função da interpretação preliminar, principalmente aquelas que incluem cidades e vilas. Assim sendo, foram seguidos os seguintes roteiros:

Bacia do Jaguaribe: Flores/Limoeiro do Norte/Tabuleiro do Norte/São João do Jaguaribe/Castanhão/Jaguaribara/Jaguaribe.

Bacia do Apodi : Apodi/Felipe Guerra/Dix-Sept Rosado/Riacho Bom Sucesso/Mossoró.

Bacia do Piranhas : Açu/Ipanguaçu/Adolfo Rodrigues/Pendências.

Bacias do Pindaré e Mearim : São Luiz/Arari/Pombinhos/Bacabau/Pindaré-Mirim/Monção/Penalva/Vitória do Mearim.

Algumas informações complementares e de apoio cartográfico, como cidades e rodovias, foram obtidas a partir das imagens TM da banda 3 e das composições coloridas em transparências.

A partir da integração dos dados da interpretação preliminar, dos dados de apoio de campo e das demais informações disponíveis, realizou-se a análise final das imagens TM elaborando as cartas de áreas inundadas em 1985, na escala de 1:100.000. Estas cartas temáticas cobrem os setores estudados das bacias dos rios Pindaré, Mearim, Jaguaribe, Apodi, Piranhas e São Francisco.

Cabe destacar que parte das áreas estudadas não dispunham de cartas topográficas na escala de 1:100.000. Neste caso, as próprias imagens TM-LANDSAT na escala de 1:100.000 serviram de base cartográfica.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3.1 - PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS TM-LANDSAT

Para exemplificação dos resultados obtidos com o processamento digital de imagens TM-LANDSAT, selecionaram-se dois módulos, de aproximadamente 200km², da bacia do rio Jaguaribe, dos quais um contém a cidade de Limoeiro do Norte e o outro, a cidade de Tabuleiro do Norte.

Inicialmente esses módulos foram ampliados para a escala de 1.50.000 no "display" dos sistemas SITIM e IMAGE-100. Após este procedimento, as imagens das bandas TM-1, TM-2, TM-3, TM-4, TM-5 e TM-7 destes módulos, referentes aos dois períodos estudados, foram submetidas à técnica de realce de imagens: ampliação linear de contraste.

3.1.1 - COMPOSIÇÕES COLORIDAS MULTIESPECTRAIS

A partir das bandas do TM realçadas, diferentes tipos de composições coloridas multiespectrais foram obtidas associando três bandas do TM às cores azul, verde e vermelho, para as situações de vazante e cheia.

Os resultados alcançados com este tipo de composição colorida confirmam aqueles obtidos para a bacia do Parnaíba (Florenzano et al., 1988), como pode ser observado através da análise das Figuras 3.1 a 3.8 (a Figura 3.1 refere-se a situação de vazante e as demais correspondem ao período de cheia).

A análise dessas figuras indica o melhor desempenho apresentado pela composição colorida com as bandas TM-3, TM-5 e TM-4 associadas às cores azul, verde e vermelho, respectivamente (Figuras 3.1 a 3.3). Isto pode ser observado tanto no que se refere à separabilidade dos corpos ou lâmina d'água (lagoas, represas, rios) nos períodos de cheia e vazante, quanto à identificação das áreas úmidas remanescentes do processo de inundação.

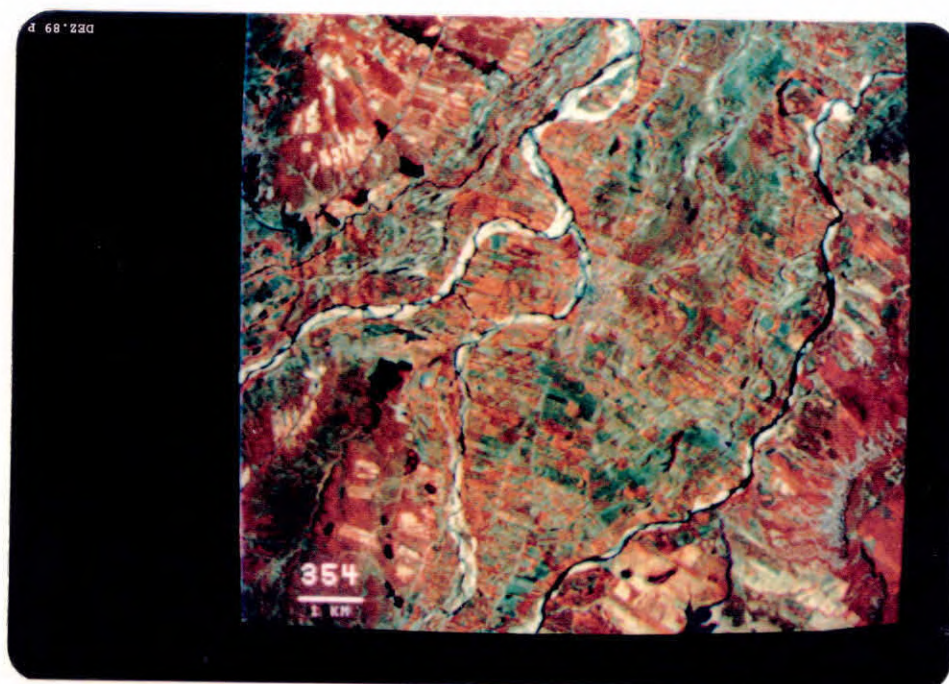


Fig. 3.1 - Composição colorida multiespectral TM-3 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de vazante (26.07.84) - módulo Limoeiro do Norte.

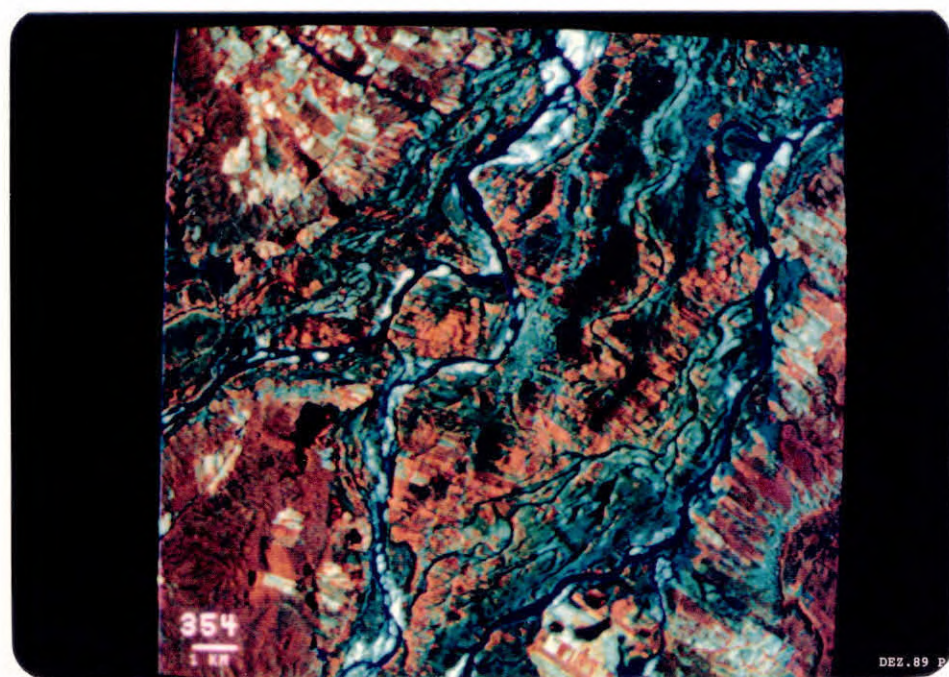


Fig. 3.2 - Composição colorida multiespectral TM-3 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Limoeiro do Norte.

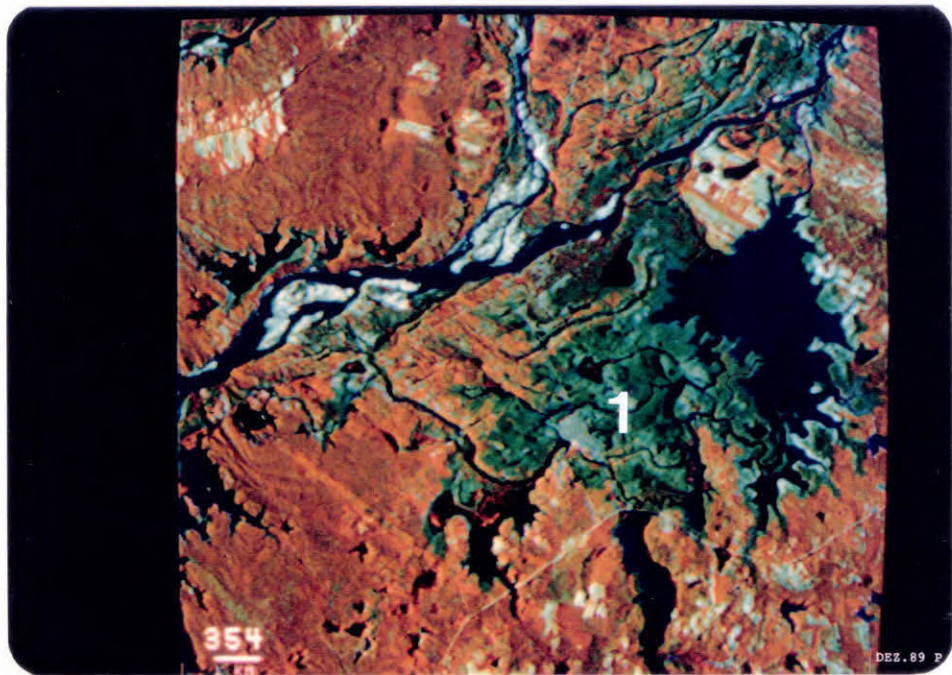


Fig. 3.3 - Composição colorida multiespectral TM-3 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Tabuleiro do Norte.

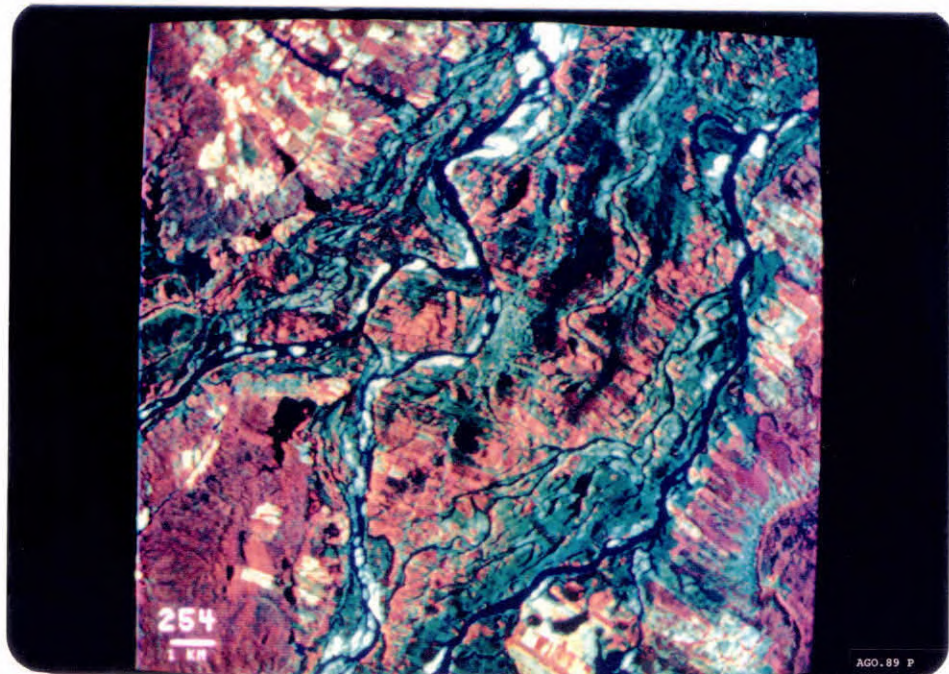


Fig. 3.4 - Composição colorida multiespectral TM-2 (azul), Tm-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Limoeiro do Norte.

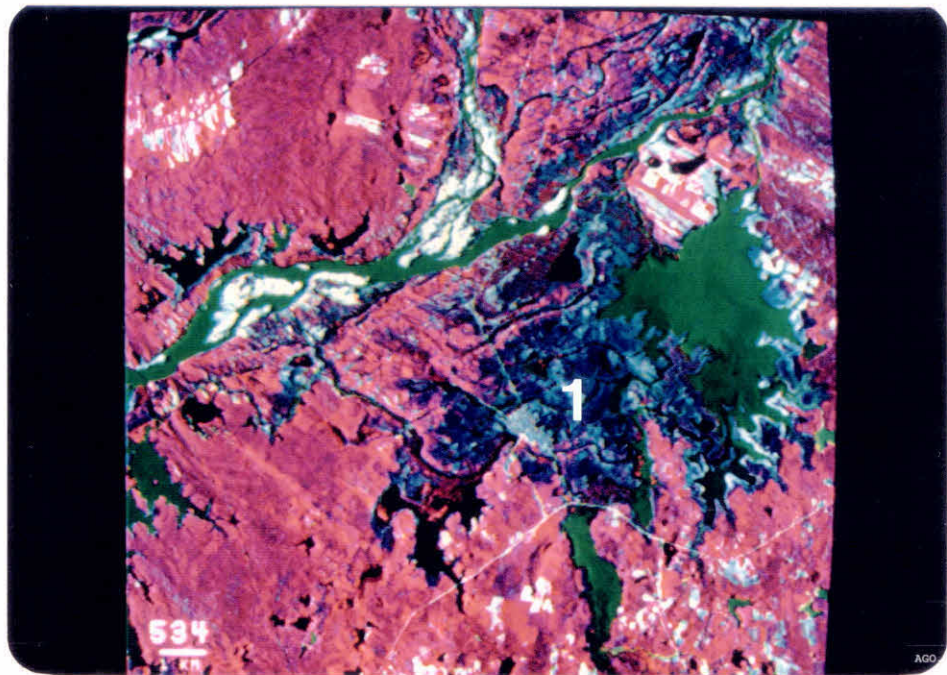


Fig. 3.5 - Composição colorida multiespectral TM-5 (azul), TM-3 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Tabuleiro do Norte.

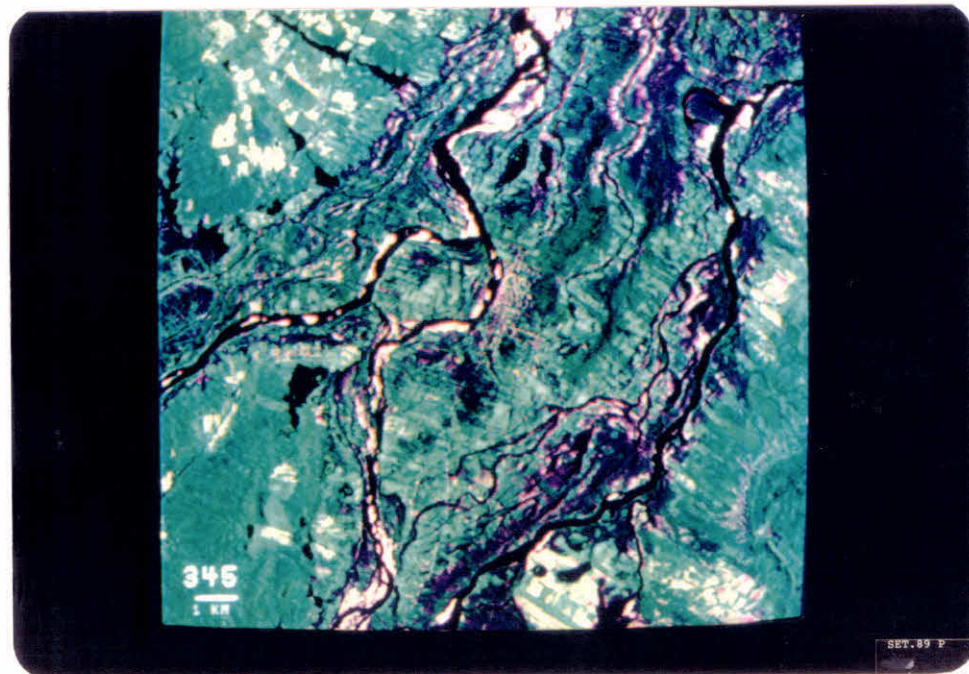


Fig. 3.6 - Composição colorida multiespectral TM-3 (azul), TM-4 (verde) e TM-5 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Limoeiro do Norte.

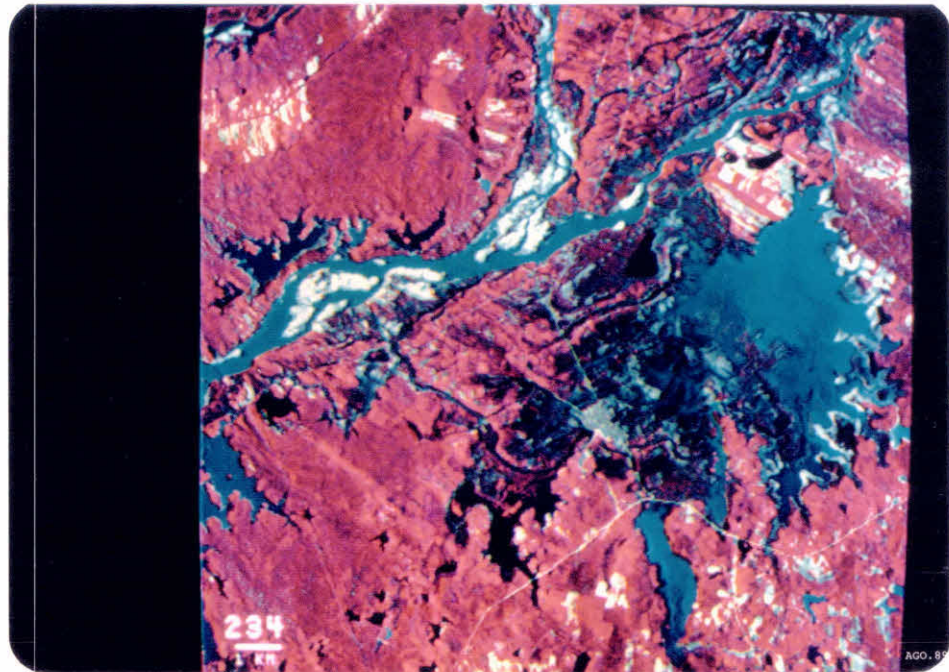


Fig. 3.7 - Composição colorida multiespectral TM-2 (azul), TM-3 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Tabuleiro do Norte.

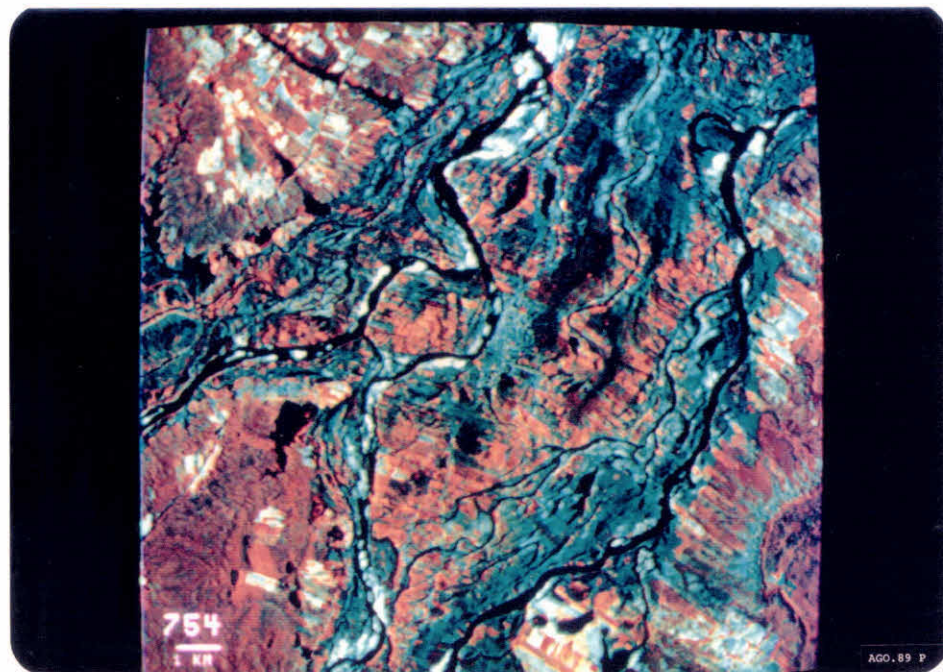


Fig. 3.8 - Composição colorida multiespectral TM-7 (azul), TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho) para a situação de cheia (26.05.85) - módulo Limoeiro do Norte.

Neste trabalho testou-se a substituição da banda TM-3 pelas demais bandas do espectro visível, TM-1 e TM-2, neste tipo de composição colorida. Apesar de a combinação com a banda TM-3 apresentar uma nitidez maior, o que se deve provavelmente a uma menor interferência atmosférica nesta faixa espectral, as composições com as bandas TM-1 e TM-2 apresentaram resultados igualmente satisfatórios e de acordo com aqueles obtidos por France e Hedges, 1986. Este resultado pode ser explicado pela alta correlação existente entre as três bandas do visível e constatado pela comparação dos exemplos mostrados nas Figuras 3.3 e 3.4.

As imagens mostradas nas Figuras 3.5 e 3.6 foram obtidas com as mesmas bandas das imagens das Figuras 3.1, 3.2 e 3.3, porém com diferentes associações de cores. Como foi constatado na bacia do rio Parnaíba (Florenzano et al., 1988), a imagem da Figura 3.5 é inferior às anteriores com relação à separabilidade dos corpos d'água, principalmente aqueles menores como indica o número 1 nessas figuras. Por outro lado, a combinação da Figura 3.6 apresenta um resultado inferior às anteriores com relação à separação das áreas úmidas.

A composição apresentada na Figura 3.7, obtida com duas bandas do visível (TM-2 e TM-3) e a TM-4 do infravermelho próximo, não permite uma boa discriminação das áreas inundadas e dos corpos d'água, principalmente aqueles de pequena extensão e os que contêm água turbida, o que confirma os resultados alcançados para a bacia do Rio Parnaíba.

A imagem da Figura 3.8, composta por três bandas do infravermelho (TM-4, próximo; TM-5 e TM-7, médio), apresenta um potencial superior àquele destacado no trabalho anterior e semelhante ao das composições indicadas nas Figuras 3.1 a 3.3 com relação à detecção das áreas úmidas. Ela apresenta, em relação a todas as outras, melhor definição

para os corpos d'água, não permitindo, no entanto, observar variações de qualidade de água, o que pode dificultar, dependendo da situação, se parar a lâmina d'água de inundação.

3.1.2 - COMPOSIÇÕES COLORIDAS MULTITEMPORAIS

Estas composições coloridas foram obtidas através da superposição das imagens da banda TM-4, referentes às situações de cheia e vazante, realçadas por ampliação linear de contraste, às quais foram associadas cores.

Neste procedimento a banda TM-4 da situação de vazante (Figura 3.9) foi associada à cor vermelha e a banda TM-4 da época de cheia (Figura 3.10) foi associada à cor verde ou cian (azul+verde); o resultado é ilustrado na Figura 3.11. Desta forma, os alvos em preto correspondem à lâmina d'água presente nos dois períodos; os alvos em vermelho e graduações referem-se às áreas inundadas; os alvos em branco e verde (ou cian) dizem respeito às áreas não atingidas pela inundação.

As composições coloridas multitemporais, como a exemplificada na Figura 3.11, confirmam os resultados obtidos em trabalhos anteriores (Florenzano et al., 1988; Niero et al., 1984) no sentido de ter grande utilidade para estudos de variação de lâmina d'água. A desvantagem deste tipo de composição, como ocorre com a imagem multiespectral da Figura 3.8, formada apenas com bandas do infravermelho, é o de não indicar diferenças de turbidez da água, parâmetro que pode contribuir para identificar lâmina d'água originada de inundação.

3.1.3 - COMPOSIÇÕES COLORIDAS MULTITEMPORAL-MULTIESPECTRAIS

Os dados LANDSAT podem ser utilizados também associando suas características temporal e multiespectral. Através desta associação pode-se obter uma composição colorida multitemporal-multiespectral.

Neste trabalho este tipo de composição colorida foi obtido a partir da superposição das bandas TM-4 do infravermelho próximo,

cheia e vazante, e da banda TM-1 do visível, época de cheia, associadas às cores verde, vermelha e azul, respectivamente.

Esta imagem, como pode ser observado na Figura 3.12, além de permitir detectar variações temporais quanto à extensão da lâmina d'água, indica os setores que apresentam características diferenciadas em termos de turbidez. As cores vermelha e magenta estão associadas às áreas atingidas pela água de inundação, sendo a cor magenta a que representa a lâmina d'água com maior turbidez. As lâminas d'água em preto significam as que não sofreram alterações de uma data para outra, apresentando a mesma tonalidade nas duas bandas espectrais (TM-1 e TM-4) analisadas; os setores associados às cores claras que tendem para o branco, amarelo e verde representam aqueles que não foram atingidos pela inundação.

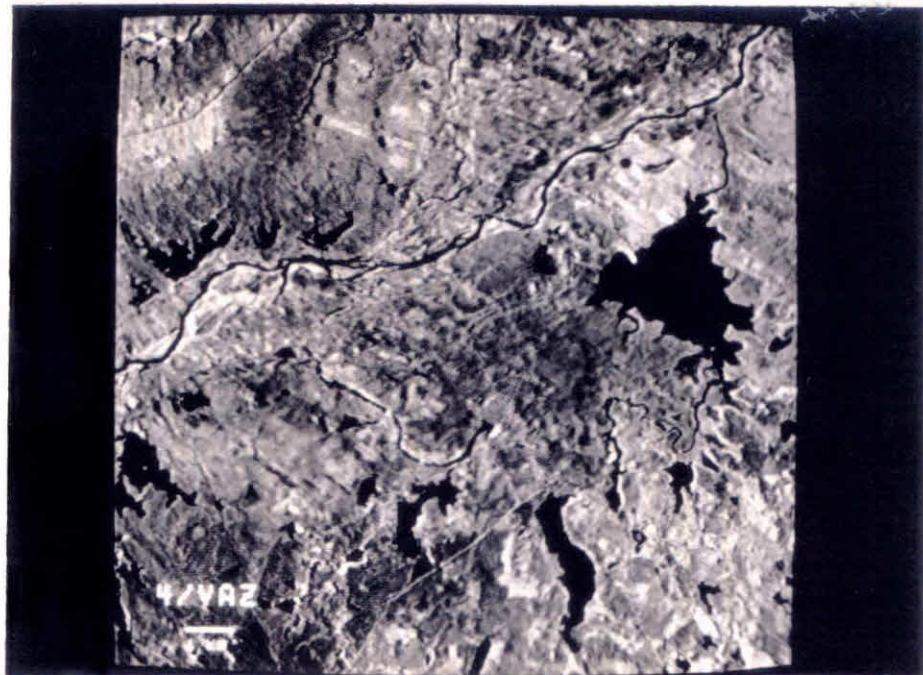


Fig. 3.9 - Imagem TM-4 do período da vazante (26.07.84) realçada por ampliação linear de contraste - módulo Tabuleiro do Norte.



Fig. 3.10 - Imagem TM-4 do período de cheia (26.05.85) realçada por ampliação linear de contraste - módulo Tabuleiro do Norte.

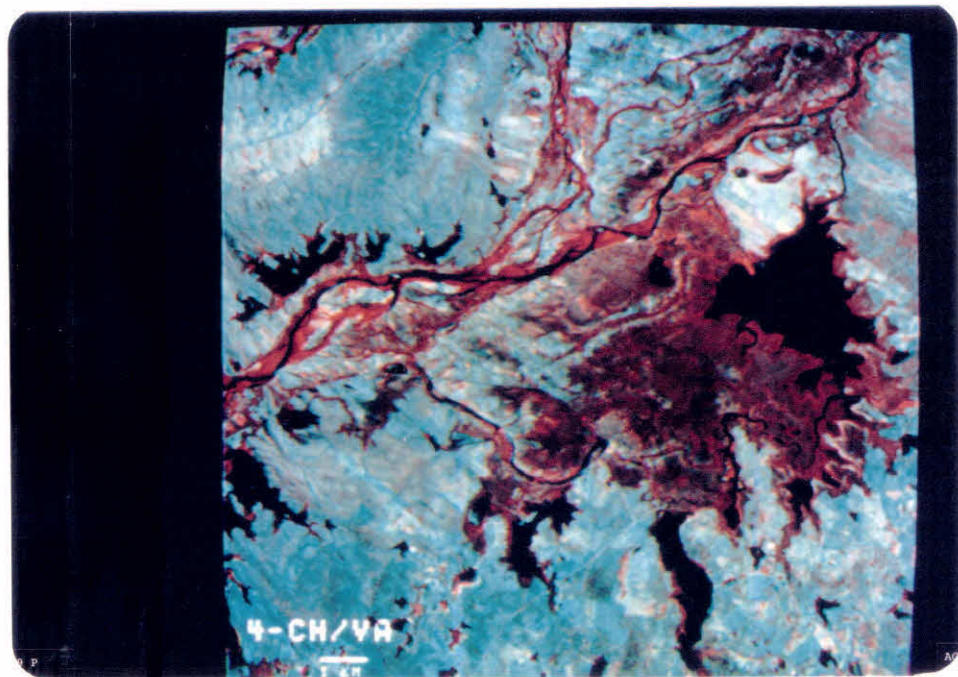


Fig. 3.11 - Composição colorida multitemporal obtida pela superposição das bandas TM-4 dos períodos de cheia e vazante, associadas às cores cian e vermelha, respectivamente - módulo Tabuleiro do Norte.

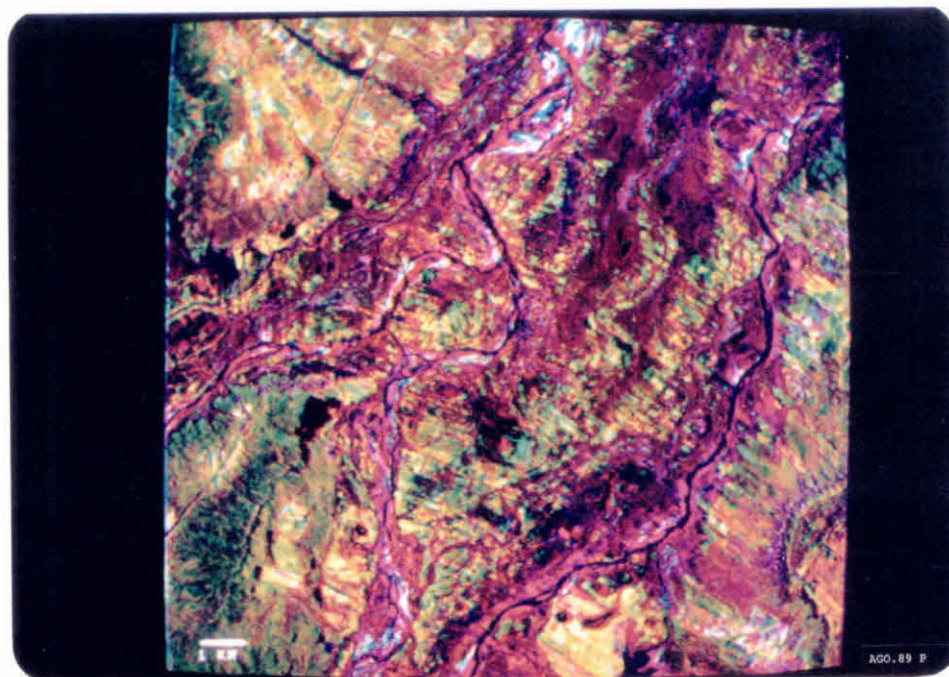


Fig. 3.12 - Composição multitemporal-multiespectral obtida com as bandas TM-1 e TM-4 do período de cheia e TM-4 da vazante, associadas às cores azul, verde e vermelha, respectivamente - módulo Limoeiro do Norte.

3.2 - INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS ANALÓGICAS TM-LANDSAT

A delimitação das áreas submetidas à inundação foi obtida basicamente a partir da interpretação visual das imagens em preto e branco da banda TM-4, referentes aos períodos de cheia e vazante e das transparências coloridas, compostas com as bandas TM-3, TM-5 e TM-4 associadas às cores azul, verde e vermelha, respectivamente.

Os critérios utilizados para a delimitação das áreas inundadas nessas imagens referem-se às características de tonalidade, textura, forma e contexto.

Com relação às imagens em preto e branco da banda TM-4, o critério de tonalidade foi avaliado com o apoio da escala de níveis de cinza que sistematicamente acompanha as imagens LANDSAT, em papel fotográfico.

Além do critério de tonalidade, essas áreas foram também caracterizadas através de feições superficiais, tais como: presença de corpos d'água lagunares residuais e formas lineares estriadas promovidas pelos cordões arenosos, originados das deposições fluviais nas planícies de inundação.

A partir da análise da imagem da banda TM-4 da vazante, foram extraídas as informações de lâmina d'água dos canais fluviais e dos corpos lagunares permanentes.

As informações relativas aos períodos de vazante e cheia foram plotadas em um mesmo "overlay", que foi ajustado à base cartográfica de 1:100.000, da DSG ou SUDENE.

As informações cartográficas de apoio como estradas e áreas urbanas extraídas através da análise das imagens da banda TM-3, a qual contribuiu de forma significativa para a discriminação daqueles alvos, permitindo ainda uma atualização dessas informações contidas nas cartas topográficas.

A identificação da planície de inundação, dos corpos d'água e das áreas urbanas foi complementada pela análise das transparências coloridas positivas (1:1.000.000), projetadas e ampliadas para a escala de 1:100.000 e ajustadas às bases cartográficas através do sistema PROCOM-2.

Os produtos utilizados se complementaram em decorrência de vantagens e limitações específicas de cada um deles. Assim, na imagem da banda TM-4 em preto e branco dos períodos de cheia foi possível discriminar lâminas d'água e áreas superficialmente úmidas inseridas na planície de inundação. Por outro lado, as composições coloridas multiespectrais, além de permitir complementar a delimitação das áreas inundadas, forneceram informações referentes à qualidade de água em termos de turbidez, como um indicador das contribuições das águas de inundação de origem exclusivamente pluvial e daqueles provenientes do extravasamento dos canais fluviais.

As composições coloridas multiespectrais foram úteis também para eliminar algumas dúvidas de interpretação das imagens da banda TM-4 como, por exemplo, a presença de nuvens e sombras, e glebas agrícolas localizadas na planície aluvial, estas submetidas a queimadas e apresentando a mesma tonalidade da lâmina d'água nesta banda. Nestes casos, informações diferenciadas contidas nas bandas espectrais que compõem aquelas imagens coloridas contribuíram para a discriminação daqueles alvos através principalmente da tonalidade, além de aspectos de ordem espacial como forma e localização.

Para a delimitação da planície de inundação, é importante salientar a contribuição do aspecto temporal dos dados TM-LANDSAT, através da análise conjunta das imagens das situações de cheia e vazante, tanto no que se refere às imagens da banda TM-4 como às composições coloridas multiespectrais.

A análise interpretativa dos dados TM-LANDSAT teve o suporte de informações obtidas durante o trabalho de campo, realizado através de percurso terrestre, com a participação da SUDENE, em agosto de 1988, nas bacias do Jaguaribe, Apodi e Piranhas, e em novembro de 1988, nas bacias dos rios Pindaré e Mearim. Além dessas informações, foram utilizados todos os demais dados disponíveis para a área de estudo (cartas topográficas, mosaicos fotográficos, etc), inclusive aqueles obtidos para áreas urbanas através de contatos com prefeituras locais.

Dessa forma, foram elaboradas 25 cartas de áreas inundadas, na escala de 1:100.000, que compõem um Atlas. Estas 25 cartas temáticas cobrem seções das bacias do Pindaré (Penalva, MI-670 e MI-671); Mearim (Itapecurú-Mirim, Lago Açu e MI-739); Pindaré/Mearim (Arari); Jaguaribe (Limoeiro do Norte, Aracati, Iracema, Jaguaretama e Bonhu); Apodi (Mossoró e Apodi); Apodi/Jaguaribe (Quixerê); Piranhas (Açu, Macau, Caicó e Augusto Severo); São Francisco (Arapiraca, Santa Brígida, Piranhas, MI-1667, MI-1668 e Pão de Açúcar). O Apêndice A exemplifica uma das cartas inseridas no referido Atlas.

Uma das principais dificuldades encontradas neste trabalho está relacionada com a qualidade das imagens que, em sua maioria, apresentam alta porcentagem de cobertura de nuvens. Este problema não só dificulta a extração visual de informações através de imagens analógicas, como inviabiliza totalmente a utilização de uma classificação automática de imagens digitais como aquela aplicada por Pinto e Florenzano (1988) em uma pequena área teste da bacia do rio Parnaíba.

Outra dificuldade encontrada diz respeito à defasagem entre as datas dos picos de cheia (cota máxima) e aquelas das imagens TM-LANDSAT utilizadas, conforme indica a Tabela 3.1. As datas de cota máxima apresentadas nesta tabela referem-se, na sua maioria, às estações mais representativas, em termos de localização, da área de estudo (Borges, 1986; Boletim Fluviométrico, 1980). Através desses dados observa-se que a área mais prejudicada por essa defasagem é a bacia do rio Apodi e um pequeno trecho da bacia do rio São Francisco (imagem de 28 de maio). No caso das bacias do Pindaré, Mearim e Jaguaribe, este tipo de problema restringiu-se basicamente às áreas urbanas que, em função da impermeabilização do solo, retêm a lâmina d'água e a umidade por um curto período de tempo.

Algumas características peculiares a determinadas áreas, como por exemplo a presença de vegetação densa, também dificultam a discriminação de lâmina d'água e áreas úmidas em imagens orbitais e fotografias aéreas (Niero et al., 1984; Pinto et al., 1985; Usachev, 1983). Assim por exemplo, nas áreas de vegetação densa e paludosa como aquelas cobertas pelas folhas Arari e Lago Açu (bacias do Pindaré e Mearim), bem como na região de salinas coberta pela folha Macaú (bacia do Piranhas), não foi possível obter uma delimitação precisa da lâmina d'água. Acrescenta-se aos problemas levantados a insuficiência, ou mesmo inexistência de dados topográficos para alguns setores das áreas estudadas.

Cabe salientar finalmente que os perímetros irrigados com áreas expressivas, como por exemplo o Projeto de Irrigação Morada Nova na bacia do Jaguaribe (folha Limoeiro do Norte), que geralmente possuem diques de contenção, foram destacados nas cartas mas não incluídos na legenda de áreas inundadas, mesmo quando atingidas pela inundação.

TABELA 3.1

DATAS DAS COTAS MÁXIMAS E DOS DADOS TM-LANDSAT UTILIZADOS

BACIA	DATA DA COTA MÁXIMA (ANO DE 1985)	DATA DA IMAGEM (ANO DE 1985)
Pindaré	11/MAI	29/MAI
Mearim	01/MAI	29/MAI
Jaguaribe	03/MAI	26/MAI
Apodi	10/ABR	26/MAI
Piranhas	10/ABR	17/ABR
São Francisco	15/ABR	17/ABR e 28/MAI

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com este trabalho confirmam a potencialidade dos dados LANDSAT, particularmente os do sensor TM, no estudo de processos de inundação e na obtenção de parâmetros hidrológicos.

Os produtos que se mostraram mais adequados para a caracterização do evento de inundação foram: banda TM-4; composição colorida multitemporal com a banda TM-4 cheia (verde ou cian) e TM-4 vazante (vermelho), composição colorida multiespectral TM-3 (azul); TM-5 (verde) e TM-4 (vermelho); composição multitemporal-multiespectral TM-1 cheia (azul); TM-4 cheia (verde) e TM-4 vazante (vermelho); o que confirma os resultados obtidos anteriormente para a bacia do rio Parnaíba (Florenzano et al., 1988).

As principais dificuldades encontradas neste trabalho estão relacionadas com a qualidade das imagens utilizadas (cobertura de nuvens); defasagem entre as datas do pico da cheia e a da tomada da imagem; inexistência ou insuficiência de dados topográficos para alguns setores; características peculiares a determinadas áreas estudadas.

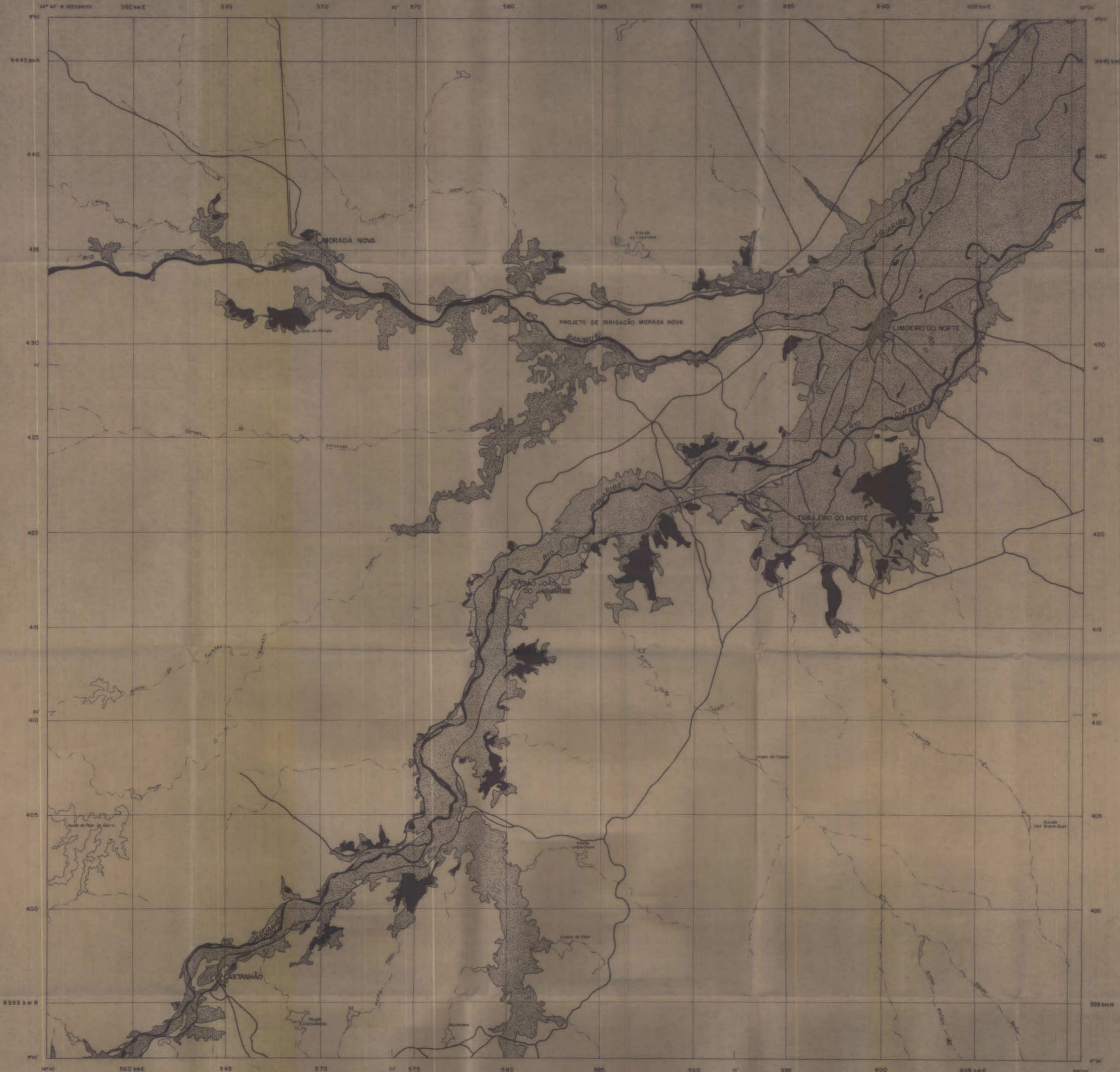
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGES, M.C. de A. As enchentes no Vale do Rio Jaguaribe, dimensões, frequência e alternativas de controle. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7., Brasília-DF, 21-26 de set., 1986. *Anais*, Brasília, ABID, 1986, v.3, p969-990.
- BOLETIM FLUVIOMÉTRICO. Brasília, DNAEE, série F. nº 301; 1980. Bacia do Atlântico Norte-Nordeste.
- FLORENZANO, T.G.; PINTO, S.A.F.; VALÉRIO FILHO, M.; NOVO, E.M.L.M.; KUX, H.J.H. *Utilização de dados TM-LANDSAT para o mapeamento de áreas submetidas à inundação na bacia do rio Paranaíba*. São José dos Campos, INPE, maio 1988. (INPE-4570-RPE/566).
- FRANCE, M.J.; HEDGES, P.D. A Hydrological comparison of Landsat TM, Landsat MSS and black & white aerial photography. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FOR RESOURCES DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 7., Ensehede, 25-29 August, 1986. ISPRS COMMISSION VI. Rotterdam, A.A. BALKEMA, 1986, p.717-720.
- NIERO, M.; PINTO, S.A.F., MARTINI, P.R.; ANDRADE, G.B. *Aplicação de dados multitemporais do LANDSAT no acompanhamento da variação da lâmina d'água na Área do Programa do Careiro/PDRI-AM*. São José dos Campos, INPE, jul. 1984. (INPE-3176-RTN/055).
- PINTO, S.A.F.; FLORENZANO, T.G. LANDSAT-TM data to Map Flooded Areas. São José dos Campos, June, 1988 (INPE-4594-PRE71324). Accepted for publication in the "16th Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, July 1-10, Kyoto, Japan, 1988.
- PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M.; ROSA, R. *Utilização de dados multitemporais do LANDSAT para a identificação de setores da planície fluvial sujeito à inundação*. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3445-PRE/699).
- USACHEV, V.F. Evaluation of flood plain inundations by remote sensing methods. In: SYMPOSIUM: HYDROLOGICAL APPLICATION OF REMOTE SENSING AND REMOTE DATA TRANSMISSION. Hamburg, FR, Germany, 18-25 Aug. 1983. *Proceedings* Wallingford, UK, IAHS Press, 1983, p.475-482 (IAHS Publication, nº 145).

APÊNDICE A

CARTA DE ÁREAS SUBMETIDAS À INUNDAÇÃO

ÁREAS SUBMETIDAS À INUNDAÇÃO EM 1985



SINAIS CONVENCIONAIS

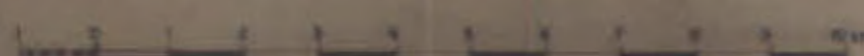
- Áreas urbanas
- Entradas de rodagem
- Corsois d'água permanentes
- Corsois d'água intermitentes
- Limite estadual

LEGENDA TEMÁTICA

- Lâmina d'água no vazante em 26/07/84
- Áreas submetidas à inundação em 1985
- Áreas provavelmente submetidas à inundação em 1985

ÍNDICE DE IMAGENS TM / LANDSAT

APRESENTAÇÃO DA CENA	ÚNICO	PARTE / QUANTIDADE	DATA	ESCALA
TRANSPARÊNCIA	08	64	26/05/84	1:4.5
REFLEXÃO			27/06/85	
ESCALA				1:100.000
	216	64/5	28/07/84	1
			28/08/85	1
			27/08/85	1:1
PAPEL FOTOGRÁFICO PRETO E BRANCO ESC. 1:100.000				



ESCALA 1:100.000

PROJEÇÃO UTM
1988

NOTAS EXPLICATIVAS

As informações temáticas constantes desta folha foram adquiridas através da interpretação de imagens TM de satélite LANDSAT (ver "ÍNDICE DE IMAGENS UTILIZADAS"), trabalho de campo efetuado em agosto de 1985 e dados auxiliares fornecidos pelos seguintes órgãos: DNAGE-ONDCS-SUDENE.

Execução:

FUNCATE
Fundação de Ciências, Aplicações e Tecnologia Especial

NOTA DE CRÉDITO

Bases geográficas extraídas do folheto LIMOEIRO DO NORTE, SB 24 - X - C - II, Esc. 1:100.000 publicadas pelo SUDENE em 1972.
As distorções presentes nas contornos são devidas à fotolitografia de imagens TM / LANDSAT.

SITUAÇÃO DA FOLHA NO ESTADO



ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

SEBRE MI 422	MI 825	4846-01	
LIMOEIRO DO NORTE MI 830	MI 838	MI 838	MI 838
JAGUARIBE MI 871	MI 875	MI 875	MI 875