

AVALIAÇÃO DE UM PERÍODO DE CHEIA (JUNHO DE 1984) NA REGIÃO  
SUL DA LAGUNA DOS PATOS, ATRAVÉS DE DADOS DE SENSORIA-  
MENTO REMOTO, METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS

C. Hartmann<sup>1,2</sup>; E.E. Sano<sup>1,3</sup>; R.S. Paz<sup>2</sup>; O.O. Möller Jr.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Espaciais  
Ministério da Ciência e Tecnologia  
Caixa Postal 515, 12201-São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>2</sup>Fundação Universidade do Rio Grande  
Caixa Postal 474, 96200 - Rio Grande, RS, Brasil

<sup>3</sup>Companhia Baiana de Pesquisa Mineral  
Centro Administrativo da Bahia  
40000 - 4ª Avenida s/n - Salvador, BA, Brasil

RESUMO

Em função de uma atuação anômala dos sistemas meteorológicos, a região sul do Brasil, em junho de 1984, esteve sujeita a um período de cheia excepcional. O trabalho analisa, através de dados de sensoriamento remoto, meteorológicos e oceanográficos, este período de cheia excepcional na região sul da laguna dos Patos, responsável por consideráveis modificações hidrológicas na região, com grande repercussão sócio-econômica. A evolução do sistema ciclônico, gerado de ondulações do sistema frontal, é descrito através de cartas sinóticas de superfície e imagens do satélite GOES. Da análise automática da imagem TM do satélite LANDSAT 5 de 11 de junho de 1984, bandas 3 e 5, classificou-se basicamente dois corpos de água: um proveniente da laguna dos Patos e outro do canal de São Gonçalo. Algumas considerações sobre a área inundada também são feitas a partir desta imagem, onde a pluma na desembocadura da laguna encontra-se bem visível. Uma forte vazão (velocidade de corrente em torno de 85 cm/s), apresentando um fluxo típico de canal de rio sem penetração de água salgada, são verificados pelos dados coletados em 17 e 18 de junho de 1984, durante fundeio na área.

ABSTRACT

Anomalous effects of the meteorological system was caused, from may to july 1984, in the southern region of Brazil, a great flood period with several consequences concerning with social and economical aspects. This paper analysis this situation in the southern region of laguna dos Patos through remote sensing techniques and meteorological and hydrological data. The evolution of the cyclonic system is described through meteorological synoptic charts and GOES satellite imagery. The influence of the water coming from Laguna Mirim drainage basin through São Gonçalo Channel and Laguna dos Patos water with the studied area identified and differentiated by the use of automatic analysis of TM imagery of LANDSAT 5 satellite obtained on 11 june 1984, for the bands 3 and 5. During this period extremely strong seaward flow velocities transferred the mixing area to the adjacent inner shelf zone as shown by hidrological data obtained during 17 and 18 june 1984.

1. INTRODUÇÃO

A região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul comporta dois amplos sistemas lagunares, interligados pelo canal de São Gonçalo, o qual desagua na região estuarial da laguna dos Patos. Todo esse amplo sistema lagunar, comunica-se com o Oceano Atlântico através da desembocadura do Rio Grande ou Canal do Norte. (Figura 1).

A intrusão de água salgada para dentro do sistema lagunar, determina a existência de uma região tipicamente estuarial de grande importância, tanto de ordem econômica quanto ecológica. O limite arbitrário da zona estuarial está baseado na linha imaginária que vai desde a ponta da feitoria à ponta dos lençóis (Fig. 1).

Dada a alta dinâmica dos processos acoor-

rentes, esta área merece uma grande atenção em termos de estudos conforme salientado por Herz et alii (1981).

Por ser uma área que apresenta pequenas amplitudes de maré (0,47 m em média) o regime de circulação do estuário é comandado por fatores de caráter meteorológicos (ação de ventos e taxas pluviométricas). As diferentes combinações desses fatores promovem situações hidrológicas próprias, manifestadas principalmente na região estuarial e na desembocadura no oceano.

Nesta área, inúmeros são os trabalhos de pesquisa realizados, com a finalidade de compreender sua dinâmica dentre os quais podemos citar Motta (1968); Möller et alii (1984).

As técnicas de sensores remotos para a região foram aplicadas com êxito por Herz (1977); Hartmann et alii (1982); Hartmann e Sano (1986),



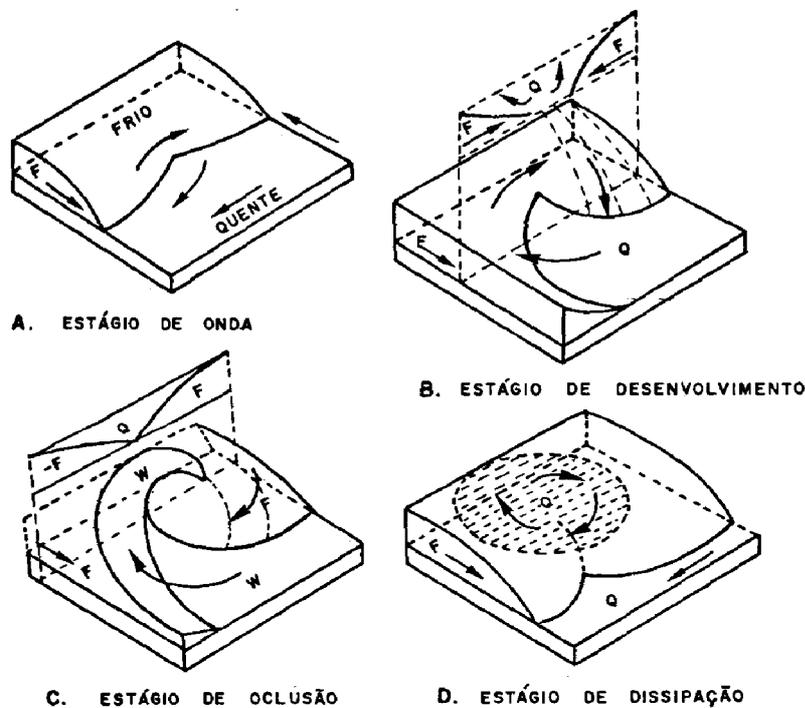


Fig. 2 - Ciclo de vida de um ciclone extra-tropical.  
Adaptado de A.N. Strawer.

tes. A situação sinótica no período em que ocorreu o fenômeno é ilustrada através de cartas de pressão nos horários de 06:00 H, 12:00 H, e 18:00 H GMT do dia 09/06/84 e 12:00 H GMT do dia 10/06/84, onde se observa a evolução do centro de baixa pressão destacando também a marcante aceleração do anticiclone polar (Fig. 3).

### 3. METODOLOGIA

No presente trabalho foram utilizados dados orbitais da imagem de 11 de junho de 1984 do Mapeador Temático (TM) do satélite LANDSAT 5, quadrante C órbita 221 ponto 82, na forma de fita compatível com computador (CCT), processada automaticamente no Analisador Interativo de Imagens (IMAGE-100 - General Electric-GE, 1975) no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) numa escala de 1:50.000.

A avaliação dos sistemas meteorológicos sobre a região é acompanhada através de dados sinóticos de superfície e de imagens no visível do satélite geostacionário GOES.

Coletas "in situ" na região do canal do Norte, entre os molhes, durante fundeio de 14 horas, nos dias 17 e 18 de junho de 1984, sete dias após a obtenção da imagem, permitem deter-

minar as características hidrológicas da área.

Estes consistem de medições horárias de velocidade e direção de corrente a vários níveis, através de correntômetro marca Hidrocean modelo IRFE. Os dados de nível da água, foram obtidos através de marégrafo marca hidrologia com registro diário. No mesmo instante eram coletadas amostras de água para análise de material em suspensão. Este foi determinado por diferença de peso através de filtros pré-pesados com 0,45  $\mu$ m de diâmetro de poro. A cor do material retido no filtro foi determinado por comparação com a Tabela de Munsell Soil Colour Chart.

Outros dados adicionais à precipitação e vazão dos principais rios na bacia da laguna dos Patos e Mirim, foram cedidos pelo Distrito do DNAEE. As condições anemométricas foram adquiridas junto à estação Agroclimatológica de Pelotas e no DNAEE, respectivamente, para as estações de Pelotas e Rio Grande.

#### 3.1 - PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO

De acordo com o esquema da Fig. 4, a área de estudo compreendendo desde a região do canal de São Gonçalo até a região costeira adjã

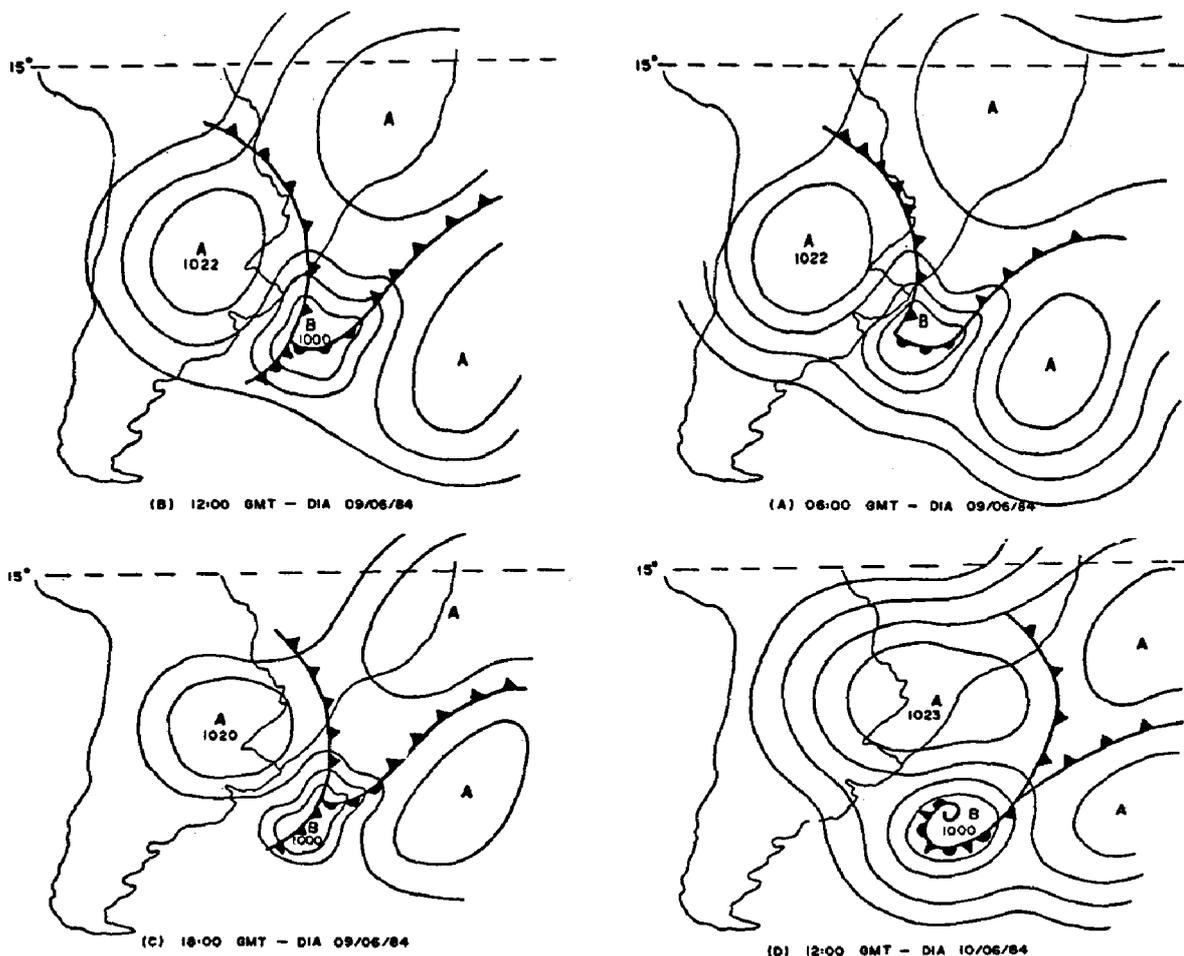


Fig. 3 - Evolução do sistema ciclônico no período observado.

cente à desembocadura da laguna, foi dividida em quatro áreas A, B, C e D na escala de talhe de 1:50.000, ampliação máxima permitida pela resolução do sensor TM (30 m x 30 m), sem perda de informação.

Nesta escala é possível trabalhar na região do baixo estuário, região do Canal do Norte, permitindo a obtenção de melhores resultados comparativamente aos do sensor MSS/LANDSAT.

Na análise foram utilizadas duas bandas. Uma banda na região do visível (Banda 3 - 0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$ ), para a obtenção das características espectrais dos corpos de água e avaliação da circulação. A banda 5 (1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$ ) no infravermelho próximo, para definir os limites Terra/água com o auxílio do programa "Célula Única".

Após eliminada a reflectância de Terra na imagem, utilizou-se da banda 3 para classificar os corpos de água, para cada área, através do programa "Construção de Assinaturas". Das três bandas na região do visível do espectro utilizadas no Sensor TM, a banda 3, foi utilizada por permitir melhor visualização dos níveis de cinza para o observador, sendo esta, a que fornece o maior contraste entre os alvos na imagem, facilitando na amostragem (Herz e Tanaka, 1968).

A partir da listagem dos níveis de cinza, módulo por módulo, os níveis de cinza foram armazenados nível por nível. Aqueles que apresen-

tam a mesma resposta, eram somados a uma determinada classe ou tema, os quais eram armazenados na memória do computador. No final do processo, a classificação é apresentada no vídeo, sendo fotografada. Para cada tema eram obtidos os parâmetros estatísticos da classificação.

Detalhes sobre os programas utilizados podem ser vistos em Dutra et alii (1981).

#### 4. RESULTADOS

Os resultados que se seguem, dizem respeito às características hidrologicas e dos corpos de água encontrados na região estuarial, com nível excepcionalmente alto das águas lagunares e, que foram analisados a partir de tratamento automático de imagem TM/LANDSAT de 11/06/84 e de dados oceanográficos "in situ".

A evolução do sistema ciclônico, como mostrado na Fig. 3 determinou as taxas pluviométricas acima da média, como mostram os histogramas da Fig. 5. Observa-se que o período de maior precipitação ocorreram nos meses de maio e junho, para todas as sub-bacias componentes dos sistemas Patos e Mirim. Esta alta taxa pluviométrica fez com que a vazão média mensal dos rios Jacuí e Sinos, (Fig. 6) para os meses acima referidos, estivessem bem acima da média dos demais, sendo da ordem de 5.500  $\text{m}^3/\text{s}$  e 7.500  $\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente para maio e junho de 1984. Nesta mesma Figura 6, observa-se que a vazão média mensal no período de treze anos

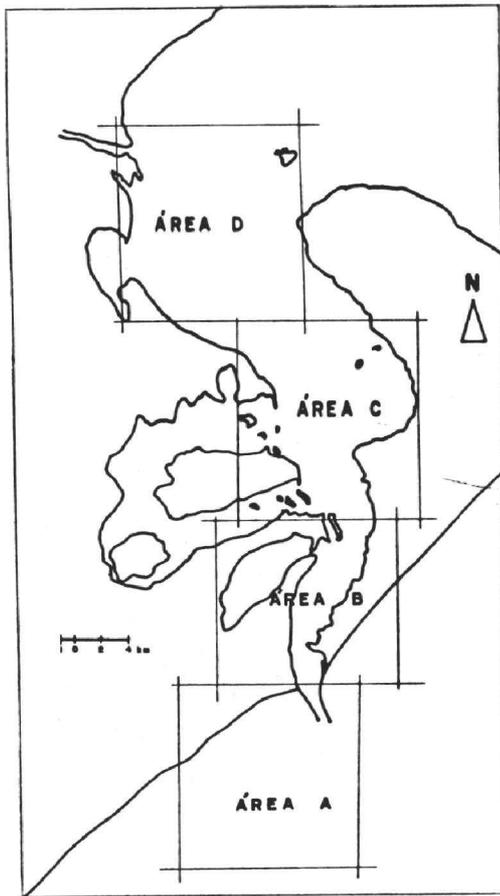


Fig. 4 - Delimitação das áreas de interesse, módulo A, B, C e D.

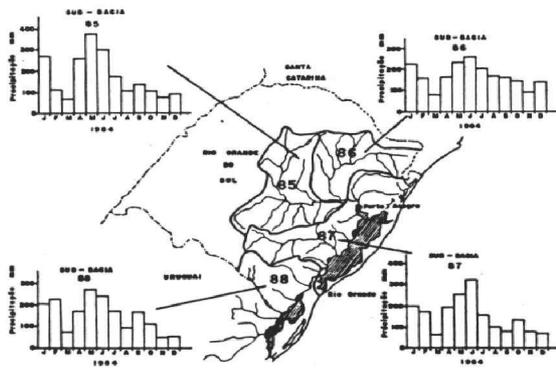


Fig. 5 - Sub-bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul componentes do complexo Patos e Mirim, e precipitação média mensal no ano de 1984.

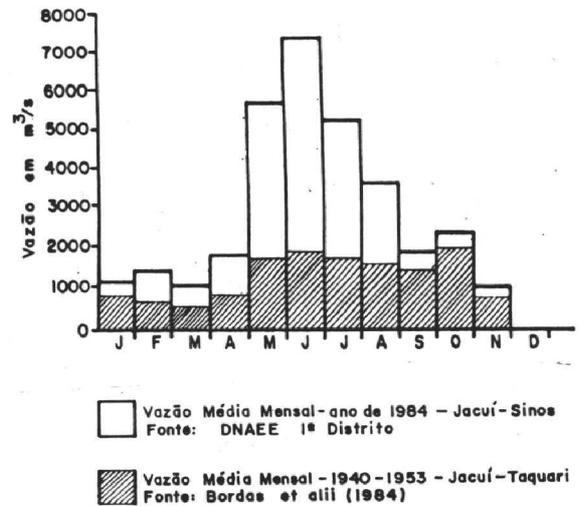


Fig. 6 - Vazão média mensal - ano de 1984 dos rios Jacuí - Sinos e vazão média mensal 1940-1953 dos rios Jacuí - Sinos.

(1940-1953), segundo dados de Bordas et alii (1984), esteve bem abaixo dos valores registrados para o período de maio a agosto de 1984. Como consequência, grande volume de água é despejado na laguna dos Patos, elevando seu nível e, determinando o grande aporte de sólidos em suspensão, cuja fração mais grosseira (areias) é depositada na região norte e média da laguna, sendo a fração mais fina, transportada em suspensão para a região estuarial e posteriormente para o oceano, pela desembocadura da laguna.

De maneira similar, é alto o nível da laguna Mirim, causadora da inundação das suas áreas marginais, bem como de toda a planície aluvial do canal de São Gonçalo, de maneira excepcional. Na região do canal, as áreas mais atingidas são as localizadas na desembocadura do rio Piratini e na desembocadura do canal na região estuarial (Hartmann e outros, neste Simpósio).

O alto nível das águas lagunares do interior de ambas as bacias, determinou um grande fluxo de vazante em direção à desembocadura da laguna, que associado à ventos do quadrante norte (Tabela 1) ocasionou no empilhamento de água, devido ao estreitamento do canal do Norte e a própria morfologia do estuário, como pode ser verificado na Figura 7, nos registros dos maregrafos instalados na área.

Na hora da tomada da imagem, 09:30 horas, o maregrafo da praticagem mais ao sul, registrou 1,20 metros e o instalado no Porto Novo (ASD) 1,76 metros, proporcionando um desnível no sentido sul de 56 cm.

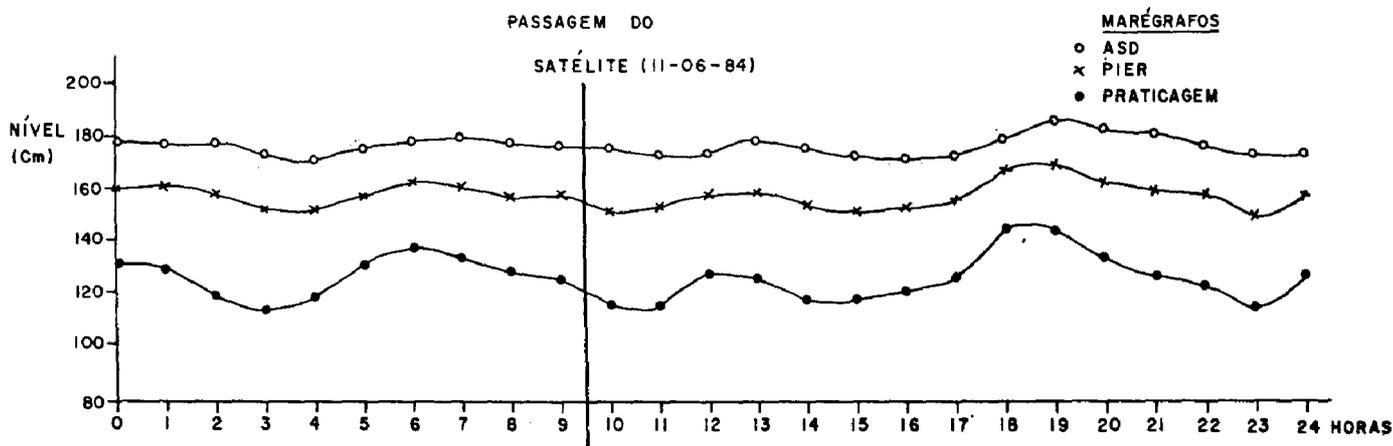


Fig. 7 - Nível médio da água na região do canal de Rio Grande e Porto Novo, para data de passagem do satélite.

TABELA 1

VENTO EM SUPERFÍCIE PARA AS ESTAÇÕES DE PELOTAS E RIO GRANDE

ESTAÇÃO RIO GRANDE (VELOC. (m/s) - dir.)						
DIA	04 h	08 h	12 h	16 h	20 h	24 h
10	1,0 WNW	1,0 W	1,0 S	4,0 S	3,0 NW	2,0 WNW
11	1,0 WNW	2,0 ENE	5,0 SE	7,0 E	3,0 NNE	1,0 W
12	7,0 NE	1,0 W	2,0 WSW	3,0 W	4,0 WNW	1,0 WSW
ESTAÇÃO PELOTAS (VELOC. (m/s) - dir.)						
DIA	09 h		15 h		21 h	
10	2,7 N		2,9 NW		0,0 C	
11	2,9 NE		1,9 SE		0,0 C	
12	3,4 SW		4,0 SW		0,0 C	

Desta forma, grandes volume de água são precipitados pelo canal de Rio Grande, expandindo-se sobre as águas costeiras, distribuindo-se sobre a plataforma continental adjacente, grandes quantidades de sedimentos.

Da análise automática da imagem, foi construído o mapa da Figura 8. Neste mapa estão localizados os corpos de água principais, e a circulação superficial, interpretada a partir das plumas de sedimentos e das variações tonais. Os resultados da classificação são mostrados na Tabela 2.

Na região estuarial, dois são os corpos de água principais. Um proveniente da laguna dos Patos, e outro proveniente da laguna Mirim através do canal de São Gonçalo.

Estes dois corpos de água demarcam uma extensa linha de convergência, como já identificado por Herz, (1977), cujo contato é bem

diferenciado desde a saída do canal de São Gonçalo até as proximidades da entrada norte do Porto Novo. Nesta região uma tendência de giro no sentido horário, devido à pressão do corpo de água proveniente da laguna dos Patos e da circulação, através do saco do Arraial, das águas do São Gonçalo que contornam a Ilha dos Marinheiros.

O corpo de água da laguna dos Patos predomina na região estuarial e no canal do Norte. As águas provenientes da laguna Mirim, ficam restritas à margem oeste, limitadas pelo canal de navegação. Estas, forçadas pelo corpo de água da laguna dos Patos, irão alagar as terras marginais da margem oeste do estuário, principalmente a Ilha da Torotama, forçando a circulação no sentido SW e W.

Na região de mistura entre os dois corpos de água, identifica-se regiões com tons de cinza mais escuros (faixas estreitas), que corres

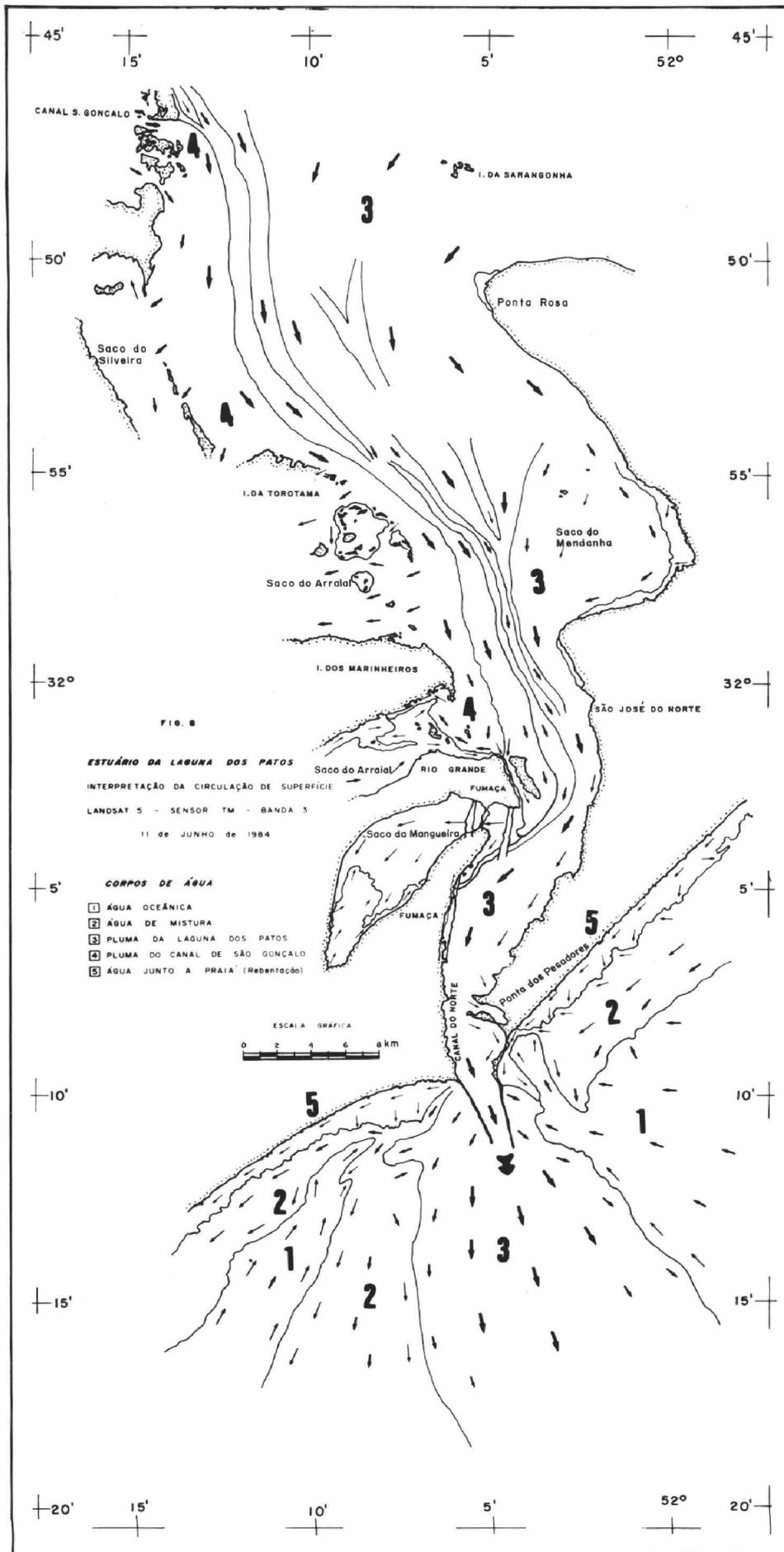


Fig. 8 - Mapa resultante da classificação automática, corpos de água e circulação superficial.

TABELA 2

RESULTADOS DA ANÁLISE AUTOMÁTICA DA IMAGEM DE 11/06/1984, BANDAS 3 e 5

BANDA	ÁREA	INTERVALOS DE NÍVEL DE CINZA	MÉDIA	VARIÂNCIA	NÍVEL DE CINZA	Nº	OBSERVAÇÕES
TM/3	A	38	19,48	14,88	8-15 16-27 22-25 26-45	1 2 3 4	- Água oceânica - Água intermediária - Pluma Laguna dos Patos - Praia; zona de rebentação
TM/3	B	52	22,21	10,76	22-21  21-25  23-60	1  2  3	- Água Sul saco Mangueira; oceânica junto molhe leste - Pluma laguna dos Patos; canal do Norte, saco da Mangueira - Praia; fumaça, fábricas
TM/3	C	27	22,48	7,36	6-14 15-22 23-32	1 2 3	- Água próximo praia, saco da Mendanha - Pluma canal São Gonçalo; saço do Arraial - Pluma laguna dos Patos
TM/3	D	20	23,03	9,43	10-17 18-22 23-29	1 2 3	- Água saco da Silveira; Ilha da Torotama - Pluma canal São Gonçalo - Pluma laguna dos Patos

pondem as águas provenientes da parte norte do estuário e margem oeste da laguna, originárias de pequenos tributários.

O fluxo de vazante (85 cm/s em média) em toda a coluna de água pelo canal do Norte, como mostrado no perfil da Fig. 9, identifica a ausência de circulação típica de estuário. Tal situação é devido às altas taxas pluviométricas, que ocorreram durante o ano de 1984, principalmente de maio a agosto (Fig. 5), propiciando ausência de circulação gravitacional típica de estuários (Möller Jr., et alii, 1984).

Nestas situações, existe a tendência de existir homogeneidade em toda a coluna de água do material em suspensão (Fig. 9). Os resultados da análise da cor do material em suspensão retido no filtro através de comparação com a tabela de Munsell, indicaram sedimento de tonalidade castanho pardacento, típico de sedimento argiloso, proveniente dos solos basálticos da bacia de drenagem da laguna dos Patos.

Na região costeira, quatro são os corpos de água identificados na imagem (Fig. 8). Destaca-se a pluma que sai pela desembocadura sob a forma de "jato", com tons de cinza mais claros, estendendo-se por vários quilômetros sobre a região costeira, influenciando na circulação. A pluma tem uma direção preferencial Sul e, sua influência é maior junto ao molhe oeste, onde se mistura-se gradativamente com a água oceânica. Tal fato não ocorre ao norte, onde o contato com a água oceânica é brusco, bem delimitado. As situações de vazante, pelo canal de Rio Grande, como a aqui descrita, contribuem para a manutenção da profundidade, devido à dragagem natural que ocorre nestas ocasiões. Tal fato foi constatado pelos engenheiros do Porto, nos levantamentos efetuados após a grande enchente de 1941, quando comprovaram o aprofundamento do canal, bem como modificações no banco externo próximo da desembocadura.

Por outro lado, períodos de grande vazão pelo canal de Rio Grande impedem a entrada de água salgada e como consequência diminuição na produtividade da região lagunar.

#### 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alta pluviosidade na região sul do Brasil, com reflexos diretos na vazão dos rios que compõem os sistemas de drenagem das lagunas dos Patos e Mirim e como consequência, o aumento do nível de água e quantidade de material em suspensão nestas lagunas, foi resultado do desenvolvimento de um ciclone extra-tropical sobre o continente.

A análise da área inundada, circulação, superficial e os principais tipos de água utilizando-se dados TM-Landsat numa escala de detalhe, foram extremamente favoráveis.

Finalmente, a integração destes dados de sensoriamento remoto com dados meteorológicos e oceanográficos permitiram uma excelente avaliação deste período de cheia excepcional na região sul da laguna dos Patos.

#### 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e à Fundação Universidade do Rio Grande (FURG) pela oportunidade de realização deste trabalho.

Aos Eng. Roberto Coimbra e Luiz Carlos Herculano do 1º Distrito do DNAEE/MME e ao Dr. Fernando S. da Motta, chefe da Estação Agroclimática de Pelotas, pela cedência dos dados de precipitação, vazão e meteorológicos.

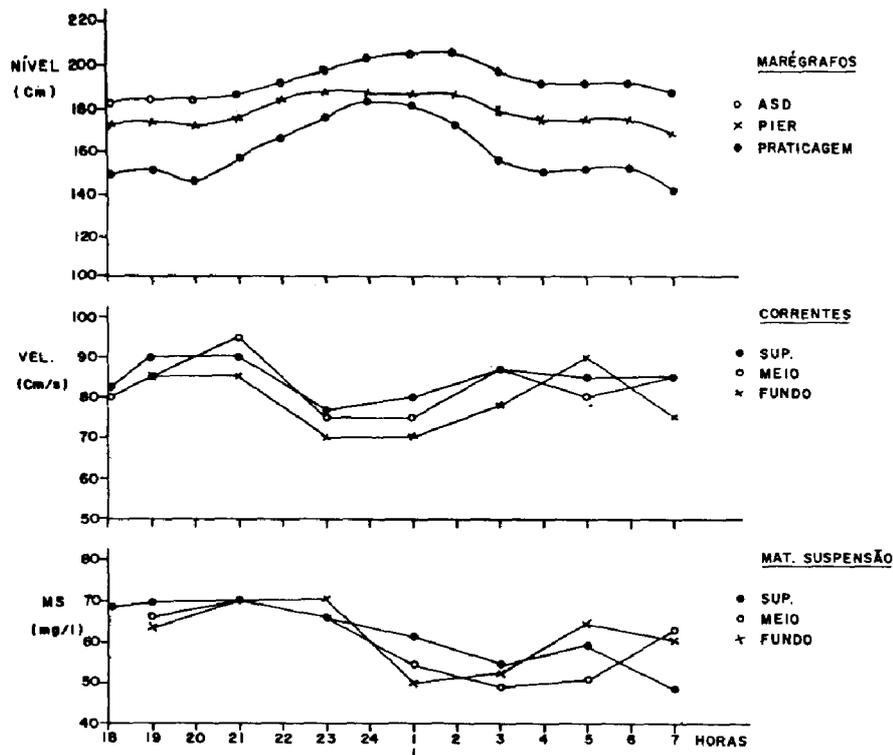


Fig. 9 - Resultados do fundeio de 17 e 18/06/84 na região do canal do Norte, entre os molhes, na de sembocadura da laguna.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORDAS, M.D.; BORCHE, C.A.; SILVEIRA, A.L. de; GONÇALVES, M.R.R. Circulação e dispersão em sistemas costeiros e oceânicos - Caso da laguna dos Patos. *II Simpósio Bras. sobre recursos do mar*. Rio de Janeiro, 14 a 19 de outubro de 1984. UERJ. 1984.
- DUTRA, L.V.; SOUZA, R.C.M. de; MITSUO II, F.A.; MOREIRA, J.C. *Análise automática de imagens multiespectrais*. São José dos Campos, INPE, agosto de 1981. (INPE-2212-MD/009).
- GENERAL ELECTRIC COMPANY, IMAGE 100. Interactive Multispectral Image Analysis System User Manual Daytona (1975).
- HARTMANN, C.; CALLIARI, L.J.; CARDOSO, J.N. Aplicação do Sensoriamento Remoto nos processos estuariais da lagoa dos Patos, RS. Fase I. *Anais do II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Brasília, DF (1982).
- HARTMANN, C.; SANO, E.E. *Contribuição ao estudo da hidrodinâmica e evolução das massas de água na laguna dos Patos através de imagens MSS-LANDSAT no período de 1979 a 1983*. São José dos Campos, INPE, fevereiro, 1986 (INPE-3800-PRE/894).
- HARVEY, J.G. *Atmosphere and Ocean: our fluid Environments*. Cap. 13. Cyclones and Anticyclones. p. 109-118, 1ª edição, 1976.
- HERZ, R. *Circulação das águas de superfície da laguna dos Patos*. Tese de Doutorado. São Paulo, USP (1977).
- HERZ, R.; TANAKA, K. *Método para classificação automática de padrões multiespectrais de imagens orbitais em águas costeiras*. São José dos Campos, INPE, outubro de 1978. (INPE-1385-PE/179).
- HERZ, R.; TANAKA, K.; ALVAREZ, J.A.; MÖLLER JR., O.O. Proposição de método de estudo do sistema lagunar da Costa Rio Grandense por análise automática e repetitiva de dados orbitais. *Anais do I Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos, 27 a 29 de novembro de 1978. V. II p. 800-811 (1981).

- MEDINA, M. Metodologia básica sinóptica.  
Madrid, Ed. Paraninfo, 315 p.
- MÖLLER JR., O.O.; PAIM, P.S.G.; HARTMANN, C.  
Material em suspensão na região estuarina  
da laguna dos Patos, RS, Brasil. *I Seminário  
sobre pesquisa da lagoa dos Patos.*  
Porto Alegre, nov. de 1984.
- MOTTA, V.F. Relatório diagnóstico sobre a me-  
lhoria e o aprofundamento do acesso pela  
barra do Rio Grande. UFRGS, Instituto de  
Pesquisas Hidráulicas (IPH), p. 114.
- MUNSELL SOIL COLOUR CHARTS. 1975 Edition.  
Mc Beth Division of Kollmorgen  
Corporation - 2441, North Calvert Street,  
Baltimore Maryland 21, 218.