

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE MÉTODOS  
CONVENCIONAIS E DE SATÉLITE NA REGIÃO DA  
LAGUNA DOS PATOS, RS.

Carlos Hartmann e Paulo C.O.V. Abreu  
Fundação Universidade do Rio Grande-FURG  
96.200-Rio Grande-RS.

Carlos A.B. Mendes  
Universidade Federal de Alagoas-UFAL.  
57.000-Maceió-Al.

Vitor Haertel e José C.R. Nunes  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS/CEPSRM.  
90.000-Pôrto Alegre-RS.

RESUMO

Técnicas convencionais de amostragem in situ são muito onerosas para as Instituições de Pesquisa que estudam a qualidade da água, pelo grande envolvimento de custos diretos (embarcação pessoal, material) e indiretos (manutenção, depreciação) e, principalmente caso este levantamento seja repetido. Com o surgimento das técnicas de sensoriamento a nível orbital, existe a possibilidade da obtenção de informações a um custo mais reduzido, pelas suas características de visão sinótica, repetitividade, dentre outras. Ambas as técnicas, tem sido empregadas na Laguna dos Patos, há algum tempo e, por esta razão, possibilita a obtenção de dados para a determinação dos custos de uma e de outra técnica. Neste trabalho pretende-se avaliar os custos do emprêgo destas técnicas, tendo como parâmetros básicos os trabalhos realizados in situ no estuário da Laguna dos Patos e, aos relacionados com os custos na aquisição da imagem, processamento automático, dentre outros.

ABSTRACT

Conventional field sampling methods are too expensive for research institutions involved in the study of water quality, due to the high cost of research vessels, personel and material (direct expenses) as well as maintenance (indirect expenses), especially if operation must be repeated. The development of orbital sensing techniques allows the obtention of cheaper information in a synoptic and repetitive way. Both strategies have been employed in the Patos Lagoon for some time which permits to compare the costs between in situ sampling programs and image acquisition and automatic processing.

1. INTRODUÇÃO

Imagens orbitais tem sido muito empregadas nos últimos anos no estudo das características espectrais de alvos na superfície da Terra dos quais destacam-se os obtidos de corpos de água. Dentre os satélites mais utilizados encontram-se os da série Landsat que, desde

1972 vem obtendo imagens periódicas da superfície da Terra.

Atualmente, o Landsat 5 traz inovações com relação aos seus predecessores, estas relacionadas à sua performance espacial, destacando-se um novo equi

pamento de imagiamento o Mapeador Temático (TM) que possibilita a obtenção de imagens em sete (7) canais, três(3) no visível, três(3) no infravermelho com resolução espacial de 30 metros e uma banda no infravermelho termal, com resolução espacial de 120 metros.

Desta forma, as imagens TM, graças à combinação de sua resolução espacial e no terreno, constituem poderosa ferramenta nas atividades de mapeamento básico, possibilitando melhorias para muitas aplicações sobre a água.

Técnicas convencionais de medidas in situ (realizadas de embarcações), as quais se constituem no método usual de avaliação quantitativa de parâmetros de qualidade da água, onde amostras pontuais são coletadas em vários locais, analisadas e, os resultados extrapolados para cobrir grandes áreas. É neste aspecto que o mapeamento e monitoramento efetivo da qualidade da água em regiões estuarinas torna-se difícil por sua variabilidade espacial e temporal (Khorram, 1985).

Desta forma, o monitoramento efetivo da qualidade da água, usando somente as técnicas convencionais, torna-se muito difícil e, principalmente muito oneroso para as Instituições de pesquisa.

Neste contexto que os dados obtidos através de sensores remotos oferecem vantagens do tipo:

#### a. Resolução Temporal:

Aquisição de imagens da mesma área a cada 16 dias para o Landsat 5. Isto significa que a cada 16 dias pode-se obter dados da área de estudo, estes no entanto, dependem das condições meteorológicas locais, dentre as quais destaca-se a cobertura de nuvens. Caso exista um modelo de previsão de parâmetros de qualidade da água a análise dos dados e a produção dos resultados finais podem ser acompanhados rapidamente e de forma eficiente por computadores.

#### b. Representatividade espacial

É uma questão crucial causada pela variabilidade espacial dos dados coletados. Isto pode ser constatado através da análise amostral da produção científica brasileira em Limnologia e

Ecologia Aquática e, mesmo na região de enfoque deste trabalho, onde grande parte destes estudos baseia-se em um número limitado de amostras.

As principais conclusões destas observações são basicamente duas:

- 1ª- A distribuição espacial dos dados é bastante variável, dificultando a comparação dos resultados entre si;
- 2ª- O problema da variação espacial das amostras se agrava com o aumento das dimensões do sistema aquático em estudo.

#### c. Custos efetivos

Os custos de um quadrante de uma cena Landsat com área de 8.556,25 km<sup>2</sup> (92,5 x 92,5 km), recebidas na forma de fitas compatíveis com computador (CCT), são da ordem de 625,78 BTN com sete canais. O processamento da imagem é um custo adicional mas estes são bem inferiores aos custos das informações obtidas por técnicas convencionais, como vemos no decorrer deste trabalho.

Na área em estudo (Fig. 1) são aumentadas as dificuldades, porque nesta região existe uma dinâmica muito intensa decorrente da interação entre massas de água diferentes (água doce, salgada) e das variáveis ambientais (fatores meteorológicos) dentre outros (Hartmann e Sano, 1986).

Neste caso, os métodos que se adequam a pequenos corpos de água tornam-se inadequados a estudos de grandes corpos de água, sendo ainda mais ineficientes, pelo fato de que, quanto maior a variabilidade dos fatores abióticos, bióticos e antrópicos a que se encontra submetido.

Ainda deve-se considerar a necessidade de dados frequentes (semanais ou quinzenais) por longos períodos de tempo, o que torna muito oneroso os levantamentos e análises das amostras coletadas.

Portanto, é neste quadro de limitações das técnicas convencionais de estudo dos sistemas aquáticos, que o Sensoriamento Remoto pode se inserir como sendo a tecnologia que possibilita a obtenção de dados de grandes áreas, de uma forma rotineira e a custos inferiores

res, com relação aos métodos convencionais, limitando a necessidade de amostragens in situ a um número adequado de pontos.

Assim, auxílio importante no estudo da qualidade do meio hídrico é a utilização de imagens digitais geradas a nível orbital, por satélites do tipo Landsat, adquiridas atualmente a cada 16 dias, associadas a dados in situ, estes adquiridos sempre que possível, simultaneamente à passagem do satélite.

Na região estuarina da Laguna dos Patos métodos convencionais de levantamentos in situ vem sendo utilizados à vários anos. Com o advento dos satéli-

tes orbitais para estudo dos recursos naturais, procurou-se utilizar os dados por eles gerados, para inicialmente avaliar a distribuição e quantificação do material em suspensão (MS), este que se constitui no melhor parâmetro para avaliação através das imagens.

O emprego de ambas as técnicas simultaneamente, portanto, determina as condições para obtenção de dados, onde os custos de uma e de outra técnica podem ser comparados.

Considerando o acima exposto, neste trabalho são comparados os custos que envolvem ambas as técnicas, tendo como parâmetros básicos levantamentos

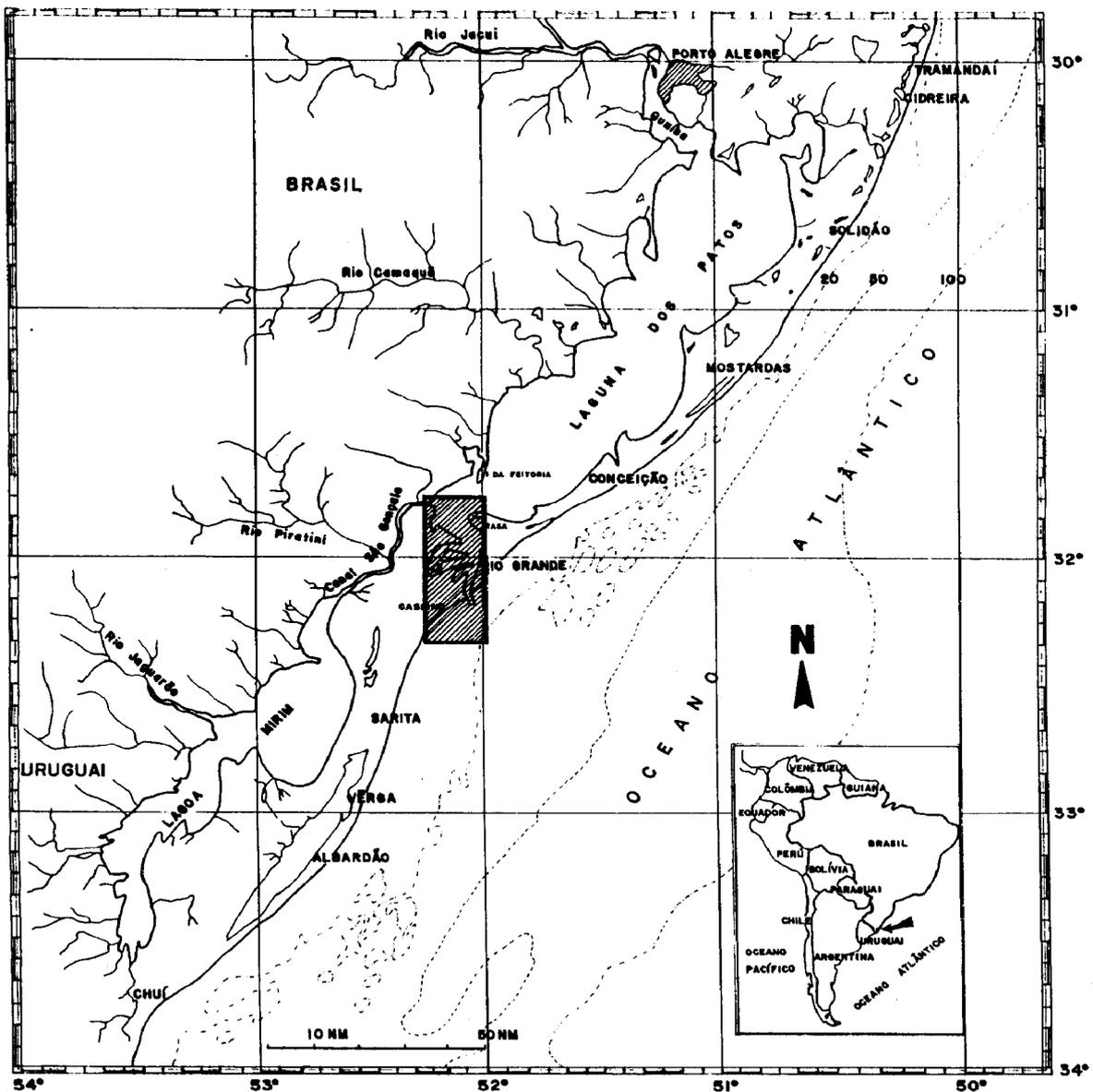


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

realizados in situ no estuário da Lagu na dos Patos e, aos relacionados com os custos na aquisição e processamento de uma iamgem TM/Landsat, obtida simultâneamente.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

Nos levantamentos in situ na região em estudo, foi utilizada a lancha Oc. Larus da Fundação Universidade do Rio Grande-FURG (Fig.2), embarcação que possui as seguintes características técnicas:

. Comprimento total	15,32 m
. Boca máxima	5,20 m
. Deslocamento (1/2 carga)	23000 kg
. Calado máximo	1,40 m
. Óleo combustível	2200 lts
. Água doce	1000 lts
. Autonomia	300 mn
. Velocidade máxima	15 nós
. Potência total	480 SHP
. Tripulação	4
. Pesquisadores	6

Seus instalações além da acomodação da Tripulação e Pesquisadores, compreende um convés de trabalho externo e um laboratório para acondicionamento do material coletado e análise.

Observações in situ, tanto ambientais quanto de qualidade da água, foram planejadas para ocorrerem no menor período de tempo e no dia de passagem do satélite Landsat 5.

Sete (7) foram as missões programadas (Tabela I) sendo que somente no cruzeiro estuário 2, houve possibilidade de imageamento.

Amostras pontuais de água e a avaliação dos parâmetros ambientais foram feitos sobre 22 locais representados na Fig. 3, posicionados ao longo do canal principal. Coletas de água eram feitas em dois níveis, superfície e na profundidade de secchi, sempre procurando os locais de maiores profundidades para, desta forma evitar contaminação na resposta espectral provenientes do fundo.

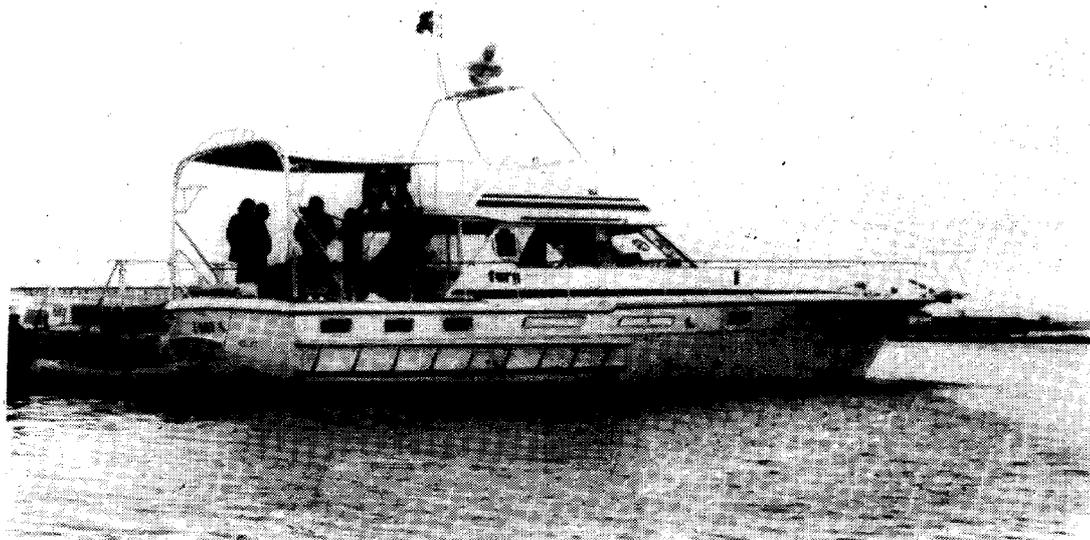


Fig. 2 - Lancha Oceanográfica Larus utilizada nas amostragens.

TABELA I

RELAÇÃO DAS MISSÕES PROGRAMADAS E EXECUTADAS COINCIDENTES COM A PASSAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 5.

Missão Nº Estuário	Data	Cobertura de Nuvens Quadrante C (%)	Obs.
1	09 e 10/06/89	100	-
2	10 e 11/07/89	60	-
3	11 e 12/08/89	100	-
4	12 e 13/09/89	100	-
5	14 e 15/10/89		L. avariada
6	15 e 16/11/89		idem
7	02/12/89	100	-

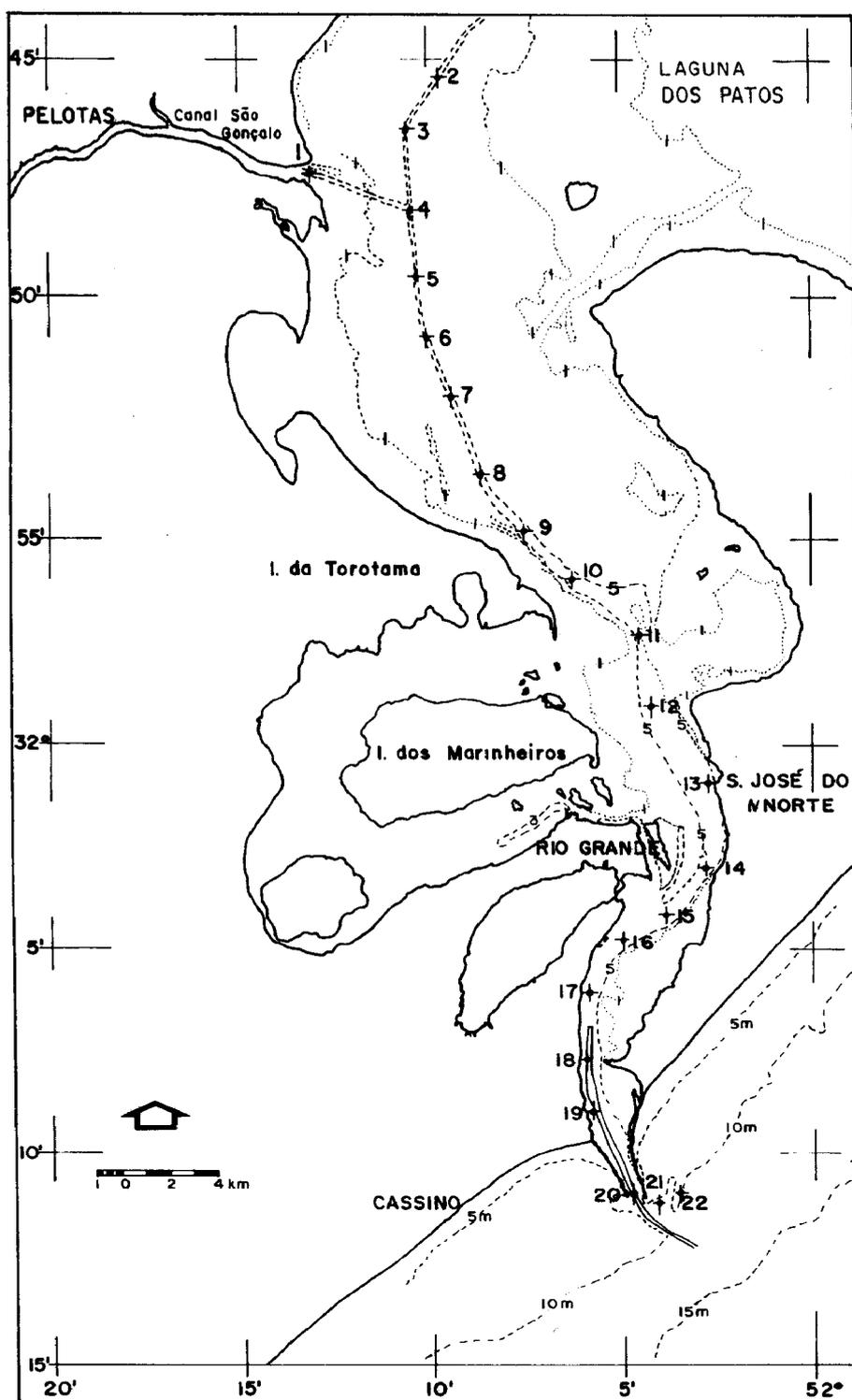


Fig. 3 - Localização dos pontos de amostragem na região estuarina da Laguna dos Patos, RS.

Neste sentido Lathrop et alii, 1986, através da análise de técnicas de regressão linear múltipla entre dados in situ e de satélite simultâneos, concluíram que as coletas devem ser realizadas em locais onde a profundidade da coluna de água deve ser duas vezes maior do que a profundidade de Secchi.

Hartmann, 1988, com base nos dados obtidos com o disco de Secchi, entre 0,4 - 0,9 m, e utilizando o método tradicional para o cálculo do coeficiente de extinção (Sverdrup et alii, 1942) encontrou valores entre  $-2 \leq K \leq -4 \text{ m}^{-1}$ , o que indica a alta turbidez da água na região, concluindo que, somente 1% da luz incidente penetrará até a profundidade de 1 a 2 metros.

Os locais de coleta foram posicionados tendo por base a profundidade local, as bóias e faroletes existentes ao longo do canal e de pontos notáveis nas margens.

Os parâmetros ambientais medidos em cada local foram: profundidade (ecobatímetro SINRAD EY), transparência da água (disco de Secchi), salinidade e temperatura da coluna de água e na profundidade Secchi (salinômetro YSI Model 33) pH e Eh da água na superfície e profundidade de Secchi (Phmetro digital Digi-med-DMPH/PV).

Amostras de água para análise da concentração do MS e do Fitoplâncton além de outros parâmetros, eram coletados na profundidade de Secchi, com uma garrafa horizontal (Hartmann, 1985) e na superfície através de um balde plástico.

#### Análise da concentração do MS:

Amostras de 500 ml de água eram filtradas em filtros de acetato de celulose 0,45  $\mu\text{m}$  de poro, pré-pesados em balança Metler H-54, com 0,01 mg de precisão, secos a temperatura inferior a 30°C e novamente pesados. A diferença de peso é a concentração do MS calculada em mg/l.

#### Análise de Clorofila-a e Feopigmentos

Aliquotas de 20 ml de água foram filtradas em filtros de fibra de vidro Whatmann GF/F. Os pigmentos foram extra-

ídos em acetona 90% por 24 h no escuro e no frio (-10°C). Após a estocagem as concentrações de clorofila-a foram determinadas fluorimetricamente (Fluorímetro Turner 111), com acidificação do extrato com HCl 50% (Strickland e Parsons, 1972).

Parte dos dados ambientais e resultados parciais das análises feitas em laboratório da Missão Estuário 2 de 11 de Julho de 1989, são mostrados na Tabela II, resultados que podem ser mapeados através de dados de satélite.

#### Aquisição da imagem

A imagem TM/Lansat coincidente com a missão Estuário 2 passível de ser analisada, foi adquirida no Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE nas sete bandas espectrais. Os custos de processamento no equipamento SITIM 150 (manutenção) e o de operação, foram obtidos no Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento e Meteorologia-CEPSRM, instalado no Campus da UFRGS em Porto Alegre.

#### Análise da imagem

Para fins de cálculo final, considerou-se a aplicação do modelo para obtenção dos resultados - vide Mendes et alii, neste Simpósio), como sendo de uma hora, não considerando o tempo de computação para obtenção do modelo, que foi equivalente a 30 horas. Infelizmente devido a problemas técnicos não foi possível obter os resultados finais do mapeamento do MS e fitoplâncton para esta imagem.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levantamentos das condições oceanográficas no que diz respeito as relacionadas com o estudo do MS na região da desembocadura da Laguna dos Patos, vem sendo feito desde 1979 (Hartmann, et alii, 1982; Hartmann, et alii, 1985; Hartmann, 1985; Paim e Möller Jr., 1986 Kantin, 1983), dentre outros.

Desde aquela época, procura-se correlacionar aos dados in situ os obtidos nas imagens geradas pelos sistemas sensores dos satélites da série landsat. Para tal é importante que haja simultaneidade entre as amostragens in situ e na obtenção da imagem.

TABELA II

DADOS AMBIENTAIS E RESULTADOS DAS ANÁLISES  
DA MISSÃO ESTUÁRIO 2 (11-07-89)

ESTAÇÃO Nº	HORA INÍCIO	COLETA FIM	PROF. (m)	LOCAL NÍVEL COLETA	TRANSP. (m)	TEMP. (°C)	SALIN. (S°/oo)	MS (mg/l)	FITO (µg/l)
01	08:50h	09:05h	6	Su	3,80	12,0	7,0	4,55	1,77
				Se		12,5	7,0	7,48	2,47
02	09:40h	09:52h	6	Su	2,70	12,5	6,5	4,29	1,76
				Se		12,5	6,5	7,24	1,41
03	10:00h	10:06h	6	Su	2,30	13,0	6,5	4,00	1,68
				Se		13,0	6,5	8,51	1,77
04	10:16h	10:26h	6	Su	2,40	13,0	6,5	6,81	1,94
				Se		13,0	6,5	9,25	1,94
05	10:34h	10:41h	6	Su	1,80	13,0	6,5	5,83	1,50
				Se		13,0	6,5	7,42	1,59
06	10:50h	10:56h	6	Su	2,00	13,0	6,5	5,69	1,68
				Se		13,0	6,5	8,38	2,12
07	11:02h	11:10h	6	Su	2,30	13,0	6,5	3,60	1,94
				Se		13,0	6,5	3,72	2,29
08	11:17h	11:25h	6	Su	1,80	13,0	7,0	4,76	2,29
				Se		12,5	7,0	5,98	2,47
09	11:34h	11:41h	10	Su	1,90	13,0	7,0	4,12	2,29
				Se		13,0	7,0	3,76	2,47
10	11:50h	11:58h	10	Su	1,70	12,0	6,5	6,19	2,12
				Se		12,5	6,8	4,85	2,65
11	12:08h	12:20h	16	Su	1,50	13,0	7,0	6,78	1,94
				Se		13,0	7,0	9,17	3,35
12	12:33h	12:40h	11	Su	1,90	13,0	7,2	7,27	4,41
				Se		13,0	7,2	6,78	2,12
13	13:17h	13:25h	8	Su	1,60	13,0	7,5	7,06	1,94
				Se		13,0	7,5	8,31	2,21
14	13:35h	13:43h	12	Su	1,50	13,0	8,0	6,70	2,74
				Se		13,0	8,0	12,00	2,29
15	13:50h	13:57h	7	Su	1,80	13,0	8,0	8,04	2,29
				Se		13,0	8,0	11,76	1,94
16	14:04h	14:10h	12	Su	1,70	13,0	8,0	3,05	2,11
				Se		13,0	8,0	7,41	2,29
17	14:20h	14:25h	14	Su	1,50	13,0	8,0	4,73	2,29
				Se		13,0	8,0	5,98	2,47
18	14:35h	14:53h	14	Su	1,40	13,0	8,0	7,14	2,12
				Se		13,0	8,0	6,26	2,29
19	15:00h	15:06h	14	Su	1,70	13,0	8,0	6,99	2,82
				Se		13,0	8,2	4,55	2,29
20	15:16h	15:28h	14	Su	1,60	12,5	8,2	4,22	2,29
				Se		12,5	8,5	10,19	2,29
21	-	-	10	Su	-	-	-	13,37	2,82
				Se		-	-	-	-
22	-	-	8,0	Su	-	-	-	5,64	2,82
				Se		-	-	-	-

Obs.: Su = Superfície Se = Secchi.

Na Tabela 2 constam somente parte dos dados observados e analisados.

Apesar das dificuldades encontradas para efetivar tal procedimento, alguns resultados já foram obtidos e apresentados em Simpósios e Congressos (Hartmann, 1988; Mendes et alii, 1989).

Desde o início das pesquisas na região e na possibilidade do uso de dados de Sensoriamento Remoto, que existia preocupação no sentido de conhecer de maneira efetiva, qual o custo por  $\text{km}^2$  que envolvia as amostragens in situ e de satélite e, ao mesmo tempo avaliar quais os benefícios advindos do uso desta técnica.

Muitas são as publicações no exterior onde se constata a preocupação de Entidades e pesquisadores em conhecer o custo efetivo entre os métodos, os quais apontam como sendo de menores custos os obtidos das imagens, dentre os quais citamos: Blyth, 1981; Shih, 1988; Klemas, 1980; Alföldi, 1982, dentre outros

Compreende a região de estudo uma área de aproximadamente  $457 \text{ km}^2$ , Fig. 3 (Hartmann, 1988). Os custos computados que envolvem ambos os métodos e utilizados neste trabalho são discriminados a seguir:

#### A- Método convencional

- . Embarcação - custo operacional de manutenção e equipamento = 530 BTN/dia.
- . Pessoal - custo da tripulação = 152,32 BTN/dia

Considerando que o tempo de trabalho efetivo durante uma missão corresponde a 28 horas para a embarcação e de 36 horas para Pessoal (Tripulação), o custo operacional final de amostragem é igual a: 771,77 BTN.

Ressalta-se que não são considerados os custos da equipe de pesquisadores em número de seis (6): dois professores; um aluno de pós-graduação e de três alunos de graduação.

Dos custos envolvendo as análises de laboratório são considerados os relacionados na quantificação do MS e Fitoplancton.

#### Concentração do MS

Foram computados os custos de:

- . Tempo de Laboratorista;
- . Filtros de acetato de celulose
- . Equipamento, luz, etc., como sendo da ordem de: 10,30 BTN/Análise.

#### Análise do Fitoplancton

Compreendeu a determinação de Clorofila-a e de Feopigmentos sendo computados os custos de:

- . Tempo de laboratorista;
- . Filtro de fibra de vidro;
- . Equipamento, luz, etc., como sendo da ordem de: 50 BTN/Análise.

Tendo em vista que foram 22 s os pontos de amostragem (Fig. 3) sendo coletadas amostras da superfície e na profundidade de Secchi, foram analisadas 44 amostras por parâmetro, que resultaram num custo para o MS de 453,2 BTN e para o Fitoplancton de 4400 BTN.

O custo total de uma missão do tipo e condições relatadas neste trabalho somando-se aos da embarcação e, das análises de laboratório, como sendo da ordem de 5.701,13 BTN, que corresponde a 12,48 BTN/ $\text{km}^2$ .

#### B- Método de imageamento por Satélite

Neste são considerados os custos de uma imagem na forma de fita CCT do TM/Lansat correspondendo a um quadrante nas sete (7) bandas e, do custo de análise no SITIM 150, material e pessoal técnico:

- . Imagem CCT Q.C TM = 625,78 BTN
- . Hora no SITIM 150 = 16,52 BTN
- . Custo total = 642,30 BTN.

Considerando as dimensões da área de  $457 \text{ km}^2$  o custo final neste tipo de levantamento, como sendo da ordem de 1,366 BTN/ $\text{km}^2$ .

#### 4. CONCLUSÃO

Ao compararmos os resultados de custos finais do emprego de ambas as técnicas, conclui-se que de fato, para a região e nas condições relatadas neste trabalho, que as técnicas de levantamentos efetuadas através de dados de Sensoriamento Remoto Orbital tem um custo bastante reduzido em relação aos métodos convencionais.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Superintendência de Apoio a Atividade de Pesquisa SUAAP da FURG e, ao Conselho Interministerial para os Recursos do Mar-CIRM.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLYTH, K. Remote Sensing in Hydrology. Institute of Hydrology. The National Environment Research Council, Report nº 74, february, 1981, 170 pp; 1981.
- ALFOLDI, T.T. Remote Sensing for water quality monitoring, Remote Sensing for Resources Management. IN: Soil Conservation Society of America, 1982 p. 317-328.
- HARTMANN, C.; CALLIARI, L.J.; CARDOSO, J. N. Aplicação de Sensoriamento Remoto nos processos estuarinos da Laguna dos Patos, RS. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2. Brasília, DF. 10-14 Maio de 1982. Anais. São José dos Campos, INPE, V.2 p. 333-342.
- HARTMANN, C. Estudo do material em suspensão e dissolvido no estuário da Laguna dos Patos, RS, fase II, maio de 1982 à Dezembro de 1983. Relatório, Rio Grande, Deptº de Geociências, FURG, 1985.
- HARTMANN, C.; SANO, E.E. Estudo da hidrologia e evolução das massas de água na Laguna dos Patos, através de imagens MSS/Landsat. Revista Brasileira de Geofísica, 4:215-228, 1986.
- HARTMANN, C. Utilização de dados digitais do mapeador temático para obtenção dos padrões de distribuição do material em suspensão na desembocadura da Laguna dos Patos. Tese de Mestrado, INPE, 190 p., março 1988.
- KLEMAS, V. Remote Sensing of coastal fronts and their effects on oil dispersion. Int. Journal of Remote Sensing, 1(1): 11-28, 1980.
- KANTIN, R. Hydrologie et qualité des eaux de la region sud de la lagune dos Patos (Brésil) et la Plateforme Continentale adjacente. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bordeaux I, 1983.
- KHORRAM, S. Development of water quality Models applicable through the entire San Francisco Bay and Delta. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, Nº 1, January 1985, pp. 53-62.
- LATHROP, Jr., R.G.; LILLESAND, T.M. Use of Thematic Mapper Data to Assess Water Quality in Green Bay and Central Lake Michigan, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, Nº 5, may 1986, pp.671-680.
- MENDES, C.A.B.; HAERTEL, V.; HARTMANN, C.; NUNES, J.C.R. Aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto à região estuarina da Laguna dos Patos, RS, Brasil. Anais do IV Simpósio Latino-Americano em Sensoriamento Remoto, 1989, p. 872-833.
- PAIM, P.S.G.; MOLLER, Jr., O.O. Material em suspensão e dissolvido no estuário da Lagoa dos Patos, Fase III, Relatório final. Rio Grande, Deptº de Geociências, FURG, 1986.
- SVERDRUP, H.V.; JOHNSON, M.W.; FLEMING, R.H. Physical properties of sea water. IN: the Oceans-their physics, chemistry and general biology. New Jersey, Prentice-Hall, 1942, cap. 3, p. 80-89.
- STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. Determination of particulate materials, IN: A Practical Handbook of Seawater Analysis, 1972, Part IV, p. 185-207.
- SHIH, S.F. Satellite data and Geographic Information System for Land Use Classification. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 114, Nº 4, 1988.