

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO
NA REGIÃO ESTUARINA DA LAGUNA DOS PATOS
RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Autor Carlos André Bulhões Mendes
Orientador Prof. Dr. Vitor Haertel

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção
do grau de Mestre em Engenharia Civil, área de
concentração Recursos Hídricos e Saneamento
no Instituto de Pesquisas Hidráulicas
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, Julho de 1990

12933 }

IPH
90/17635-7
1990/11/16

Mendes, Carlos André Bulhões

Aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto na região estuarina da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil / Carlos André Bulhões Mendes - Porto Alegre : UFRGS-Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, 1990 - XV, 191 f. : il. ; 30cm.

Diss. (Mestr. Engenharia Civil) - UFRGS
Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Porto Alegre, BR-RS, 1990.

1. Sensoriamento Remoto I. Título

À memória de Carmelita Bulhões,
minha avó.

À Myriam e Ângela,
pelo desconforto causado pela
saudades e distância.

AGRADECIMENTOS

Ao término deste trabalho quero agradecer às pessoas e Entidades que contribuíram para a sua conclusão:

Ao Professor Vitor Haertel da UFRGS, pelo empréstimo de sua experiência, conhecimento e dedicação na realização deste trabalho;

Ao Professor Carlos Hartmann da FURG, pelas sugestões, amizade e dedicação com que auxiliou o trabalho;

Ao Professor Roberaldo C. de Souza da UFAL, pelo incentivo e contribuição técnica-científica no início de minha vida acadêmica;

Aos meus amigos e colegas de curso, em especial a Jorge Centeno;

A todos os funcionários do IPH, em especial à Lygia Ourives Campos e Maria Nelci pelo carinho e apoio;

Ao técnico José Carlos Nunes pelos trabalhos e análises nos computadores;

por último agradeço às Entidades e Instituições que deram suporte financeiro e apoio técnico, a saber:

Comissão Interministerial dos Recursos do Mar (CIRM);

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES);

Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS);

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e
Meteorologia (CEPSRM);

Departamento de Geociências da Fundação Universidade do
Rio Grande (FURG);

Departamento de Engenharia Eletro-Mecânica da
Universidade Federal de Alagoas (EEM/UFAL);

demais Entidades que forneceram dados de campo
Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN Departamento
Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE); Universidade
Federal de Pelotas (UFPEL) e Empresa de Portos do Brasil S. A.
(PORTOBRÁS).

RESUMO

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA REGIÃO ESTUARINA DA LAGUNA DOS PATOS RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Carlos André Bulhões Mendes

Julho de 1990

Neste trabalho investigou-se o transporte e a dispersão de sedimentos em suspensão, bem como aspectos da circulação da região estuarina da Laguna dos Patos, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Os dados obtidos por satélite foram calibrados utilizando resultados da análise das amostras coletadas *in situ* e permitiram obter informações sobre condições da qualidade da água no estuário. O objetivo deste trabalho foi alcançado através de modelos estatísticos de mapeamento de alguns parâmetros de qualidade de água de superfície a partir de dados de natureza espectral.

Os modelos foram elaborados com base em imagens digitais fornecidas pelo satélite LANDSAT-5, obtidas em duas datas distintas, e dados de amostras coletadas na região de estudo. A análise desses dados, permitiu obter correlações significativas, cujos resultados variaram para cada parâmetro, intervalo espectral, situação hidrológica e na diferença de tempo entre as amostragens e a tomada das imagens. Além da simultaneidade, entre os dados de satélite e amostras de campo, observa-se que as correlações estão associadas as modificações hidrológicas e variação temporal dos parâmetros considerados.

ABSTRACT

REMOTE SENSING TECHNIQUES APPLIED TO THE ESTUARINE REGION OF PATOS LAGOON RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

Carlos André Bulhões Mendes

July, 1990

The transport and dispersion of suspended sediment and aspects of circulation patterns in the estuarine area of Patos Lagoon were studied using remote sensing techniques. The satellite data were calibrated utilizing results of samples collected *in situ*, resulting in information on water quality in the estuary. The purpose of this study was achieved with statistical models which mapped surface water quality parameters from spectral data.

Digital images supplied by the LANDSAT-5, on different dates and data of samples collected in the region were used to prepare these models. The analysis of these data allowed significant correlations with results which varied for each parameter, spectral band, hydrologic situation, and time difference between sampling and image. Besides the simultaneity, it is observed that the correlations are associated to hydrologic modifications and temporal variation of the parameters included.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	1
I.1 - O Sensoriamento Remoto como sistema de aquisição de informações.....	8
I.2 - Sistemas Sensores.....	11
I.3 - Comportamento espectral da água.....	16
I.4 - Trabalhos anteriores na área de estudo.....	22
I.5 - Relevância do trabalho.....	23
I.6 - Objetivo.....	25
I.7 - Apresentação do trabalho.....	26
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
II.1 - Sistema LANDSAT-Melhores canais.....	27
II.2 - Sensoriamento remoto dos sistemas aquáticos.....	32
CAPÍTULO III - FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	37
III.1 - Considerações básicas sobre a interação da radiação solar com a água..	37
III.1.1 Interações da radiação eletromagnética com águas costeiras.....	39
III.1.2 - Reflectância na superfície da água pela radiação direta do sol.....	40
III.1.3 - Transmissão da radiação na água.....	42
III.1.4 Atenuação da água oceânica e costeira.....	44
III.1.5 - Radiância recebida pelo satélite....	47
III.1.5.1 Propriedades espectrais da água e poluentes.....	50
III.1.5.2 - Efeitos e interações.....	55
III.2 - Mecanismos sedimentológicos.....	56
III.2.1 - Introdução.....	56
III.2.2 - Características dos sedimentos em estuários.....	58

III.2.3 - Um modelo da interação entre o escoamento, sedimento em suspensão e o leito.....	61
III.2.4 - Mecanismos sedimentológicos em estuários.....	63
III.2.5 - Diferenças entre os mecanismos geradores da morfologia dos rios e dos estuários.....	64
III.2.6 - Efeitos da circulação estuarina no transporte de sedimentos.....	70
III.3 - Medição de sedimento.....	74
III.3.1 - Medição direta.....	74
III.3.2 - Medição indireta.....	79
III.3.2.1 - Efeitos atmosféricos.....	84
III.3.2.2 - Fatores que afetam a determinação da reflectância..	86
CAPÍTULO IV - IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.....	88
IV.1 - Descrição da área de estudo.....	88
IV.1.1 - Localização da área de estudo.....	88
IV.1.2 - Aspectos geológicos.....	91
IV.1.3 - Batimetria da região.....	95
IV.1.4 - Sedimentos.....	98
IV.1.5 - Pluviosidade e fluxo de água doce....	98
IV.1.6 - O regime dos ventos.....	105
IV.1.7 - O regime das enchentes e vazantes....	106
IV.1.8 - Salinidade.....	109
IV.1.9 - Considerações finais.....	109
IV.2 - Metodologia.....	111
IV.2.1 - Cartas geográficas, localização, posicionamento e dados <i>in situ</i>	112
IV.2.2 - Análise dos parâmetros ambientais....	115
IV.2.3 - Dados de reflectância.....	117
IV.2.4 - Análise da imagem digital.....	121
IV.2.4.1 - Pré-processamento da imagem....	122
IV.2.4.2 - Correção atmosférica.....	123
IV.2.5 - Modelo utilizado para análise.....	125

IV.2.6 .- Produção dos resultados.....	128
CAPÍTULO V - RESULTADOS.....	129
V.1 - Análise dos resultados.....	129
V.2 - Análise da circulação.....	139
V.3 - Outras informações.....	145
CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	150
ANEXO I : Conceitos estatísticos	166
ANEXO II : Programa para mapeamento do material em suspensão.	177
ANEXO III : Programa para mapeamento da transparência d'água.	184
ANEXO IV : Relação dos dados in situ e níveis de cinza.....	190

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura I.1	Definição esquemática de estuário.....	3
Figura I.2	Retrato do Litoral.....	5
Figura I.3	Localização da área de estudo.....	6
Figura I.4	Componentes básicas do sistema de aquisição de informações por sensoriamento remoto.....	9
Figura I.5	Regiões do espectro óptico.....	14
Figura I.6	Sistema Brasileiro de recepção de dados LANDSAT/SPOT.....	15
Figura I.7	Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos.....	16
Figura I.8	Componentes do sinal recebido pelo sensor sobre a água.....	18
Figura I.9	Curva de irradiância solar.....	19
Figura I.10	Atenuação da radiação incidente através da água.....	20
Figura I.11	Radiação refletida em sólidos em suspensão....	20
Figura I.12	Características de absorção e espalhamento de água pura.....	21
Figura I.13	Curvas de transmitância espectral de vários tipos de água.....	21
Figura I.14	Radiância sobre a água em baixa e alta altitudes.....	22
Figura II.1	Relação entre quantidade de radiação solar refletida, comprimento de onda e concentração de sólidos em suspensão na superfície da água, para as bandas dos sistemas MSS e TM.....	29
Figura II.2	Características de reflectância para água pura e água turva.....	30
Figura III.1	O espectro eletromagnético, o sol e a atmosfera.....	38
Figura III.2	Raio de sol incidente e refletido.....	40
Figura III.3	Raio solar refratado.....	40
Figura III.4	Feixe de luz incidente, refletido e refratado.	41

Figura III.5	Transmitância espectral para 10 metros de diversos tipos de água.....	43
Figura III.6	Curvas de atenuação de vários tipos de água do mar.....	47
Figura III.7	Interação da radiação solar com a atmosfera e com a água.....	48
Figura III.8	Reflectância espectral medida em diversos tipos de efluentes industriais e esgotos domiciliares.....	53
Figura III.9	Radiância espectral calculada com os dados da Figura III.8 e recebida pelo satélite a 900 Km de altura.....	54
Figura III.10	Transporte de partículas de solo, por salpicos em terrenos inclinados.....	57
Figura III.11	Desenho esquemático do sedimento coesivo.....	60
Figura III.12	Forças devido a fricção, embriçamento e atração físico-química.....	63
Figura III.13	Conceito de "Equilíbrio".....	68
Figura III.14	Velocidade, sedimento em suspensão e descarga de sedimentos em rios.....	76
Figura III.15	Distribuição de sedimentos na vertical.....	77
Figura III.16	Amostragem de sedimentos em suspensão.....	80
Figura III.17	Elementos do processo de interação entre a radiação eletromagnética e a água.....	82
Figura III.18	Componentes direta e indireta (difusa) da irradiância.....	84
Figura III.19	Parâmetros que afetam a reflectância.....	87
Figura IV.1	Região sul (estuarina) da Laguna dos Patos... ..	89
Figura IV.2	Compartimentação da Laguna dos Patos.....	90
Figura IV.3	Bacia hidrográfica do sistema Patos-Mirim.....	92
Figura IV.4	Sub-bacias hidrográficas do sistema.....	93
Figura IV.5	Carta geológica do complexo hidrográfico Patos-Mirim.....	94
Figura IV.6	Evolução da embocadura do estuário da Laguna dos Patos.....	97
Figura IV.7	Mapa geológico da região estuarina da Laguna dos Patos.....	99

Figura IV.8	Distribuição dos sedimentos superficiais do fundo baseado no conteúdo areia-silte-argila..	100
Figura IV.9	Precipitação média mensal em 1984 por bacia hidrográfica.....	101
Figura IV.10	Precipitação média mensal na bacia da Laguna dos Patos.....	102
Figura IV.11	Descarga média mensal do sistema Guaíba.....	103
Figura IV.12	Distribuição anual e sazonal do regime de ventos.....	107
Figura IV.13	Padrões de circulação estuarina observada através dos dados <i>in situ</i>	110
Figura IV.14	Lancha oceanográfica "Larus".....	113
Figura IV.15	Localização das estações de coleta no período de 1984, maregráficas e anemométrica.....	114
Figura IV.16	Garrafa horizontal de coleta.....	116
Figura IV.17	Triângulo astronômico.....	119
Figura IV.18	Filtros.....	123
Figura V.1	Linha de regressão. Parâmetro: Transparência, imagem original e alvo de 5x5 pixels.....	132
Figura V.2	Mapeamento da concentração de sedimentos superficiais (sem correção atmosférica).....	135
Figura V.3	Correção atmosférica.....	136
Figura V.4	Mapeamento da concentração de sedimentos superficiais (com correção atmosférica).....	138
Figura V.5	Desníveis entre Rio Grande e Arambaré para o ano de 1984.....	140
Figura V.6	Séries de tempo dos dados obtidos dos fundeios no Canal do Norte, no período de 3 a 5/04/84..	143
Figura V.7	Direção e velocidade do vento para a estação de Rio Grande, no período de 2 a 9/04/84.....	144

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela I.1	Características dos sistemas sensores..... 14
Tabela I.2	Representatividade espacial de amostragens de propriedades físico-químicas e biológicas..... 24
Tabela II.1	Potencialidade das bandas espectrais do sensor LANDSAT/TM para estudos de ecossistemas aquáticos..... 35
Tabela III.1	Variações de reflectância com a distância zenital, para uma superfície lisa..... 42
Tabela III.2	Comprimentos de onda de máxima transmitância para águas oceânicas e puras..... 45
Tabela III.3	Medidas de coeficiente de atenuação de águas costeiras na região de 0.40 a 0.55 μm 46
Tabela III.4	Irradiância espectral do sol em $\text{watts}/\text{m}^2/\mu\text{m}$... 51
Tabela III.5	Modalidades de transporte sólido..... 78
Tabela III.6	Contribuição ao sinal recebido pelo sensor.... 83
Tabela IV.1	Radiâncias espectrais, $L_{\text{MIN}\lambda}$ e $L_{\text{MAX}\lambda}$ 120
Tabela IV.2	Irradiância espectral média no topo da atmosfera..... 120
Tabela IV.3	Matriz de covariância entre canais TM (Região estuarina da Laguna dos Patos)..... 128
Tabela V.1	Matriz variância-covariância para as componentes principais (Região estuarina da Laguna dos Patos-RS)..... 129
Tabela V.2	Variância dos níveis de cinza dos canais originais e canais transformados..... 130
Tabela V.3	Sumário dos resultados obtidos..... 131
Tabela V.4	Resultados do modelo linear de regressão. Parâmetro : Transparência, imagem original e alvo de 5x5 pixels..... 132

Tabela V.5	Resultados do modelo linear de regressão. Parâmetro : Material em suspensão, imagem original (1 ^o C.P.) e alvo de 1 pixel.....	133
Tabela V.6	Resultados do modelo linear de regressão. Parâmetro : Material em suspensão, imagem original (sem correção atmosférica) e alvo de 1 pixel.....	134
Tabela V.7	Correção atmosférica.....	137
Tabela V.8	Resultados do modelo linear de regressão. Parâmetro : Material em suspensão, imagem original (com correção atmosférica) e alvo de 1 pixel.....	137

I . INTRODUÇÃO

Os estuários tem uma importância histórica e contínua para o desenvolvimento das atividades do homem. Esta afirmação pode ser verificada quantitativamente pelo fato de que dois terços das grandes cidades do mundo estão localizadas em estuários ou na sua vizinhança imediata (*Kennish, 1986*).

Tal como ocorre em outros países, as facilidades para as construções de instalações portuárias, a abundante e diversificada comunidade biológica e a capacidade natural dos estuários em renovarem sistematicamente e periodicamente suas águas (*Barnes e Green, 1972*), foram também as principais razões para o estabelecimento e desenvolvimento de algumas das principais áreas urbanas brasileiras nas proximidades de estuários.

Em linguagem não rigorosa, estuário pode ser definido como trecho de rio sujeito à influência da maré. Entretanto, um conceito generalizado de estuário, definido por *Pritchard (1967)*, é :

"Um corpo d'água semi-confinado na costa, que tem ligação livre com o mar e dentro do qual água do mar entra em contato com água doce, proveniente da drenagem de águas continentais".

Recentemente, *Kjerfve (1989)* tomando como ponto de partida a gênese geológica desses ambientes costeiros e o fato de

que os mesmos apresentam vários estágios de desenvolvimento em escalas de tempo dependentes de um lado dos ciclos de glaciação e de outro das variabilidades locais (suprimento de sedimentos, fatores climáticos, geológicos e energéticos - correntes, ondas e marés), propôs uma definição sistemática para as zonas ou sistemas estuarinos, a saber:

É um ambiente costeiro, em comunicação limitada com o oceano adjacente, à qual permanece aberta pelo menos intermitentemente. Este sistema pode ser dividido em três regiões distintas:

a - Zona de maré de rio (ZR) é a parte fluvial contendo apenas água doce mas sujeita a influência da maré.

b - Zona de mistura (ZM) é o estuário propriamente dito e que se caracteriza pela mistura de massas de água distintas (doce e do mar) e conseqüentemente por uma acentuada variação espacial e temporal de suas propriedades. Esta zona estende-se desde a ZR até a entrada do estuário (embocadura). Em alguns casos esta última pode ser limitada fisicamente por uma barra de areia de maré enchente ou um delta de maré de vazante.

c - Zona costeira (ZC) é a região costeira do mar adjacente e que se caracteriza por uma maior turbidez se comparada as regiões vizinhas. Horizontalmente essa zona se estende até a chamada zona frontal.

Esta definição , é mais abrangente e envolve todos os elementos do sistema estuarino, que interagem entre si. É ainda adequada à compreensão desse sistema sob o ponto de vista dos processos físicos e geológicos e serve para caracterizar os mais diversos ambientes costeiros conforme esquematizado na figura I.1.

A capacidade de renovação das águas de um sistema estuarino e de substâncias estranhas nele introduzidas, depende de uma série de processos de natureza física, biológica, química e geológica, as quais interagem entre si de uma forma extremamente complexa (Margalef, 1983).

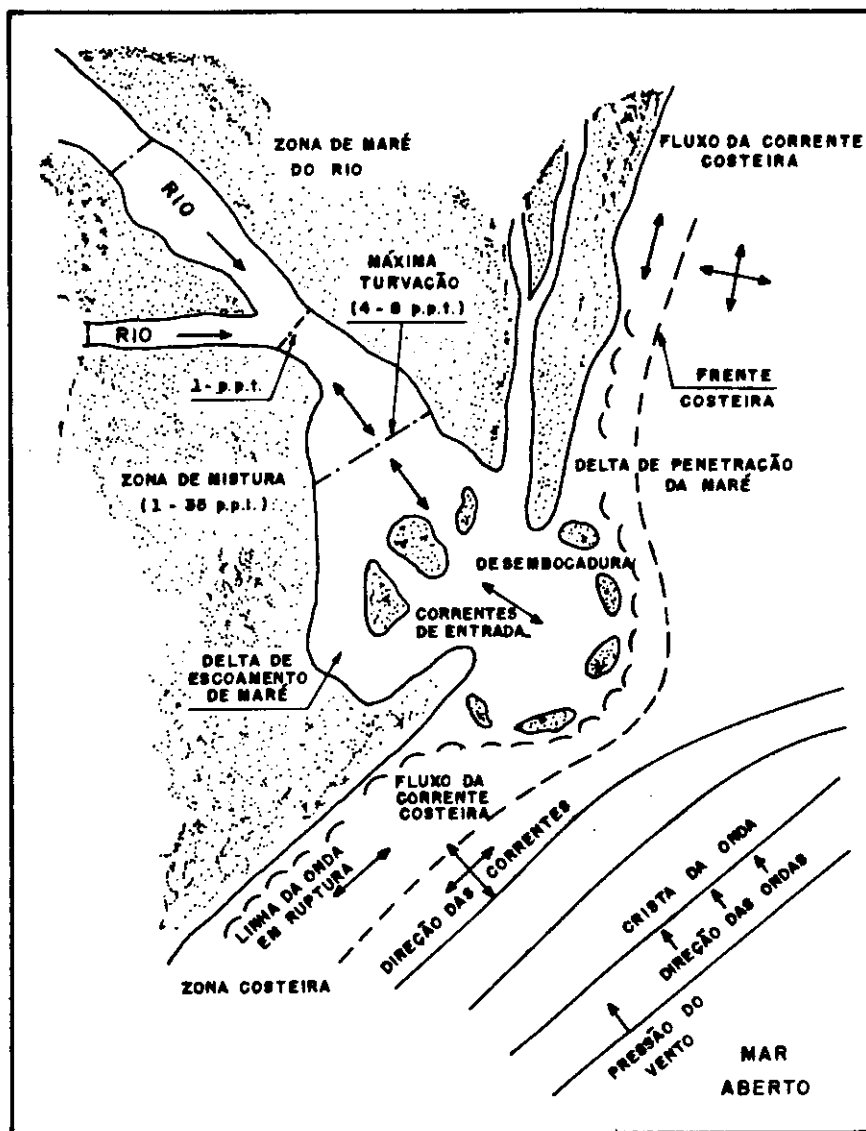


Figura I.1 - Definição esquemática de estuário.
 Fonte: Kjerfve (1989)

Depois de décadas de abuso, em que serviram silenciosamente de depósito para substâncias tóxicas, poluentes e danosas que as cidades brasileiras geram diariamente, as águas das praias, estuários e restingas estão devolvendo sob a forma de peixes mortos, infestações de algas e doenças, todo o lixo que receberam e tentaram metabolizar ao longo dos anos. A figura I.2 apresenta um retrato dos exemplos do litoral brasileiro.

Conseqüentemente, para evitar a degradação desses corpos d'água é de fundamental importância que toda interferência externa seja cuidadosamente planejada, simulada e monitorada com continuidade.

Na planície costeira do Rio Grande do Sul, por exemplo, é onde encontramos um dos maiores sistemas lagunares da América do Sul (figura I.3) sendo a maior dessas, a Laguna dos Patos. Pela sua extensão, e pouco uso ainda feito de suas águas e, conseqüentemente, pela qualidade geralmente boa das mesmas, a Laguna dos Patos se constitui em um sistema de expressivo potencial, suscetível de ser aproveitado sem sofrer maiores prejuízos, desde que o gerenciamento de suas águas seja adequadamente promovido.

A Laguna dos Patos possui em sua extremidade sul, um complexo sistema, caracterizado como estuarino, pois está diretamente ligado ao Oceano Atlântico. Essa ligação com o oceano foi estabilizada, por meio de molhes, na barra de Rio Grande, para permitir o acesso de navios de maior porte.

Em suas margens, se localiza a cidade de Rio Grande, importante centro industrial e sede de complexo sistema portuário em franca expansão, o que torna esta, uma região de grande importância econômica, exigindo portanto estudos de monitoramento de suas águas e de muitos aspectos relacionados ao gerenciamento costeiro.

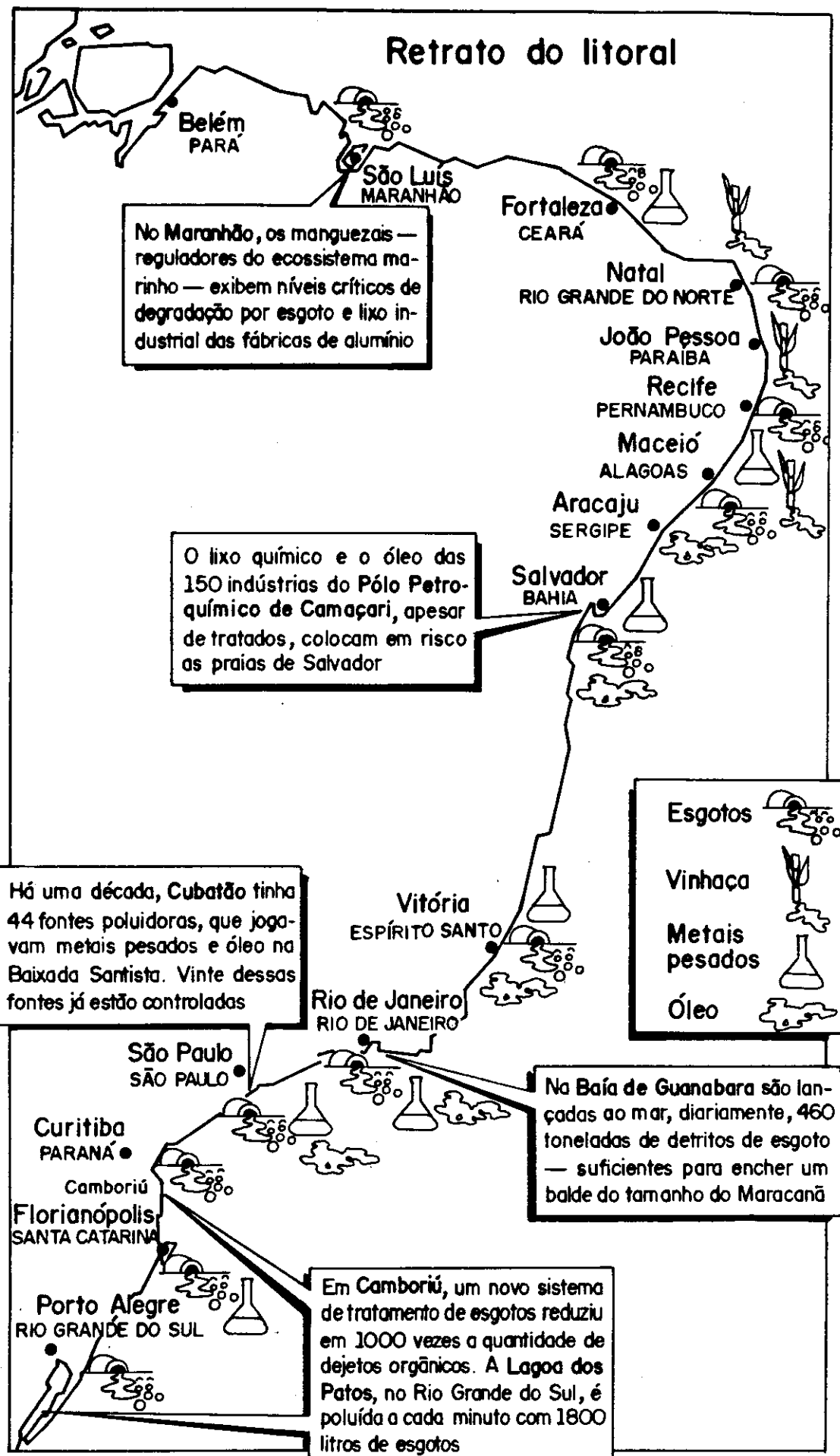


Figura I.2 - Retrato do litoral

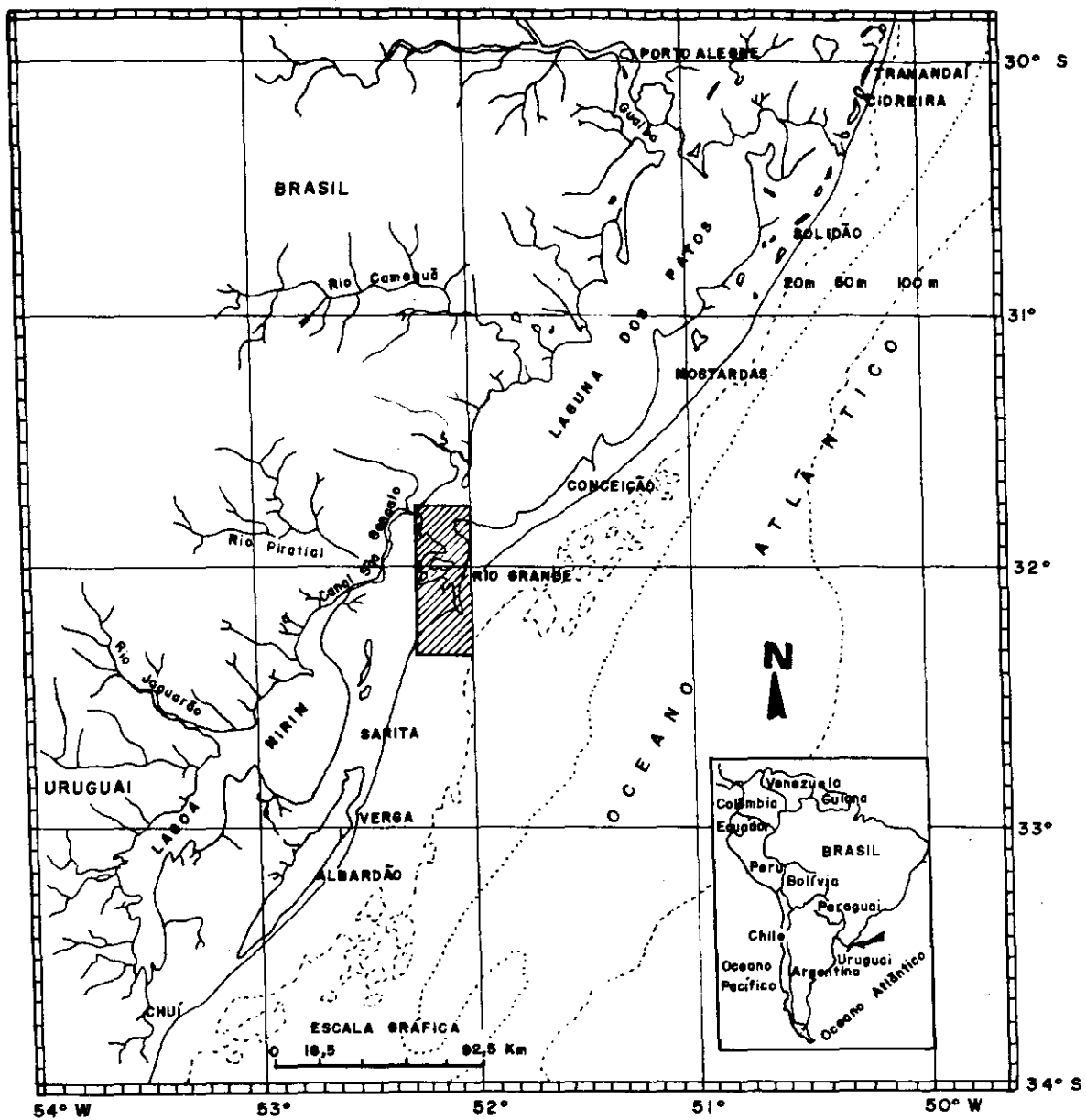


Fig. 13— Localização da área de estudo
(região hachurada)

A região da planície costeira do Rio Grande do Sul tem sido objeto de diversos estudos (Delaney, 1965). Estes dizem respeito tanto à sua formação geológica (estrutural, estratigráfica e de evolução), como a sua fisiografia e qualidade das suas águas (química e física), sendo grande parte dos mesmos de caráter regional. Ao situarmos a área de estudo (figura I.3), estamos nos restringindo à região de maior circulação da laguna, onde ocorre a mistura das águas que demandam à região (Herz, 1977; Hartmann e Sano, 1986).

Esta área requer um estudo completo, com acompanhamento sistemático (de monitoramento) e interdisciplinar, para se buscar um entendimento integrado das condições que regem e regulam as distribuições espaciais e temporais dos parâmetros físicos de qualidade de água (p.ex.: material em suspensão, salinidade e transparência d'água), além das preocupações com relação ao impacto ambiental sobre a área.

O escoamento dos sólidos em suspensão constitui-se numa fase do ciclo sedimentológico, envolvendo a erosão, o transporte e a deposição do material continental e é um processo geológico particularmente adequado a utilização das técnicas de sensoriamento remoto, pois permite o acompanhamento simultâneo de toda a região, com custo relativamente baixo, já que os sedimentos são bem detectáveis em algumas bandas das imagens de satélite.

Salinidade pode afetar a distribuição de organismos e vegetação em um sistema estuarino. Também, variações de curto e longo prazo na salinidade podem alterar a produção aquática do estuário. Khorram e Knight (1977) mostraram que a salinidade é um importante fator de sobrevivência e desenvolvimento para muitos organismos aquáticos.

I . 1 - O sensoriamento remoto como sistema de aquisição de informações

Em princípio, pode-se definir Sensoriamento Remoto como sendo a técnica que permite a aquisição de informações sobre objetos de interesse sem contato físico com os mesmos. Esta definição, entretanto, é muito ampla. Para fins desta pesquisa, definiu-se Sensoriamento Remoto como sendo a utilização conjunta de sensores, a bordo de aeronaves e/ou espaçonaves, equipamentos para transmissão dos dados coletados pelos sensores e equipamentos para processamento dos mesmos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através da análise das interações entre energia eletromagnética e os elementos que compõe a superfície da Terra e a atmosfera.

Pode-se considerar o sensoriamento remoto como um sistema de aquisição de informações que pode ser subdividido em quatro módulos : (1) Fonte de energia eletromagnética; (2) Alvo na superfície da Terra; (3) Sensor e (4) Sistema de Processamento.

A figura I.4 ilustra os componentes básicos dos atuais sistemas de sensoriamento remoto. Cada um destes componentes será agora explicado de modo simplificado, sendo os assuntos inerentes a esta pesquisa tratados com maior profundidade nas seções seguintes.

O primeiro componente consiste de uma fonte de radiação eletromagnética natural (Sol, por exemplo) ou artificial (Radar por exemplo). A radiação eletromagnética originária da fonte, propaga-se através da atmosfera e atinge o alvo, interagindo com ele. Nesse processo, parte da energia incidente é absorvida pelo alvo, parte é transmitida e parte é refletida.

Por definição, irradiância é o fluxo incidente sobre uma superfície por unidade de área; absorção é o processo pelo qual a radiação eletromagnética incidente sobre o alvo é transformada em

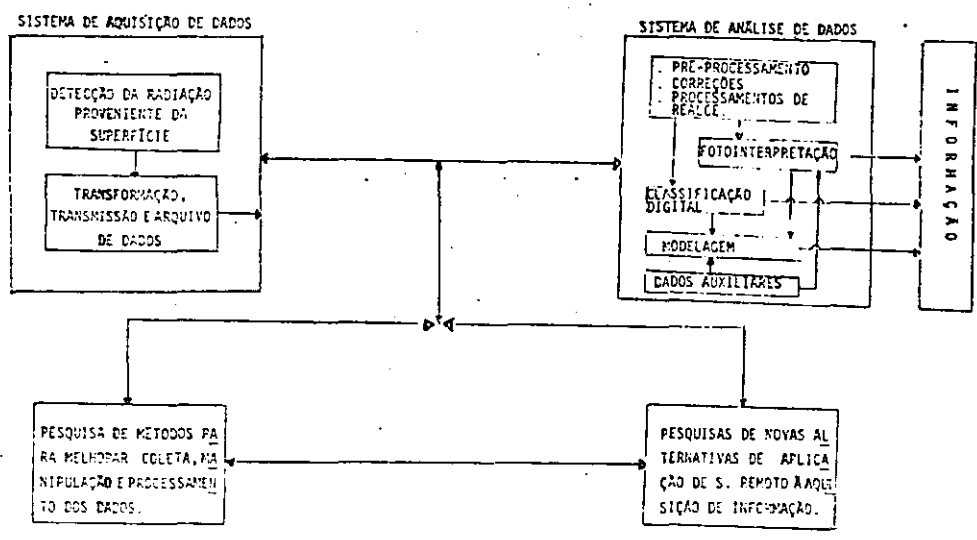
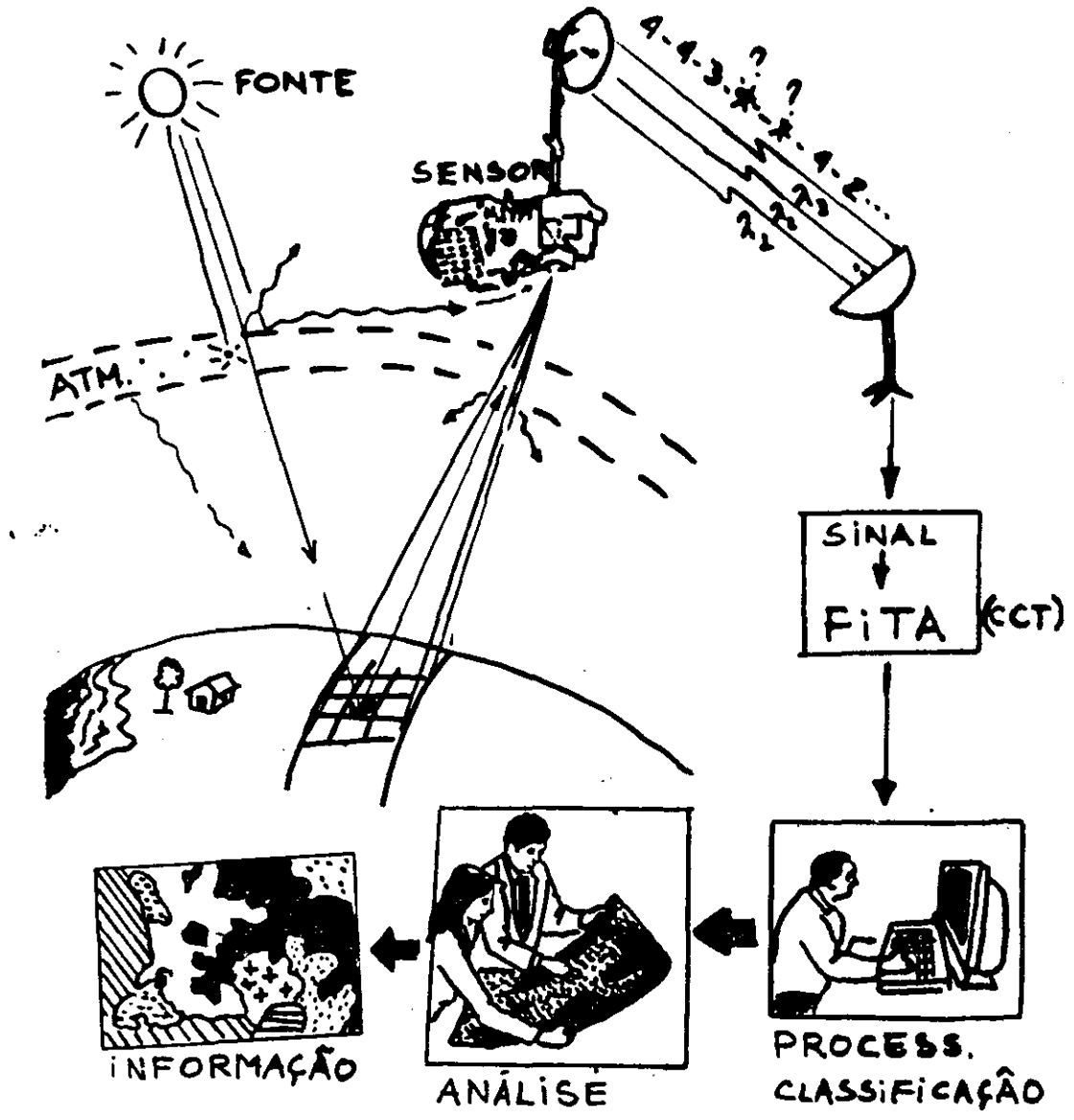


Figura I.4 - Componentes básicos do sistema de informações por Sensoriamento Remoto.

uma outra forma de energia (calor, por exemplo). A quantidade de energia refletida (ou emitida) por unidade de tempo e unidade de área, normal à fonte, numa dada direção denomina-se radiância. A energia eletromagnética pode ser, também, transmitida a superfície adjacente. Tais efeitos depende basicamente do comprimento de onda da energia, resultando:

$$I(\lambda) = A(\lambda) + T(\lambda) + R(\lambda)$$

onde :
I - energia incidente;
A - energia absorvida;
T - energia transmitida;
R - energia refletida (ou emitida).

Um sistema sensor pode ser definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente. No caso específico do sensoriamento remoto, a energia utilizada é a radiação eletromagnética.

O que chega ao sensor é uma certa intensidade de energia eletromagnética (radiação) que será posteriormente transformada em um sinal passível de interpretação. Apenas como exemplo, admite-se que o nosso sensor é uma máquina fotográfica e o detector é a emulsão fotográfica. Para que a energia que atingiu o detector se transforme num sinal passível de interpretação, o filme deve ser revelado, devem ser feitas cópias em papel que serão então interpretadas segundo procedimentos sistematicamente testados de modo a serem obtidas informações sobre a superfície terrestre. Estas informações podem ser imediatamente absorvidas pela comunidade de usuários ou podem ser utilizadas para , por exemplo, implementar modelos de previsão de safras, cheias, parâmetros de qualidade de água, etc.

Entretanto, esse sistema de aquisição e análise de dados deve ser extremamente dinâmico, porque a natureza também o é ; desta forma, sempre serão necessárias pesquisas para melhorar o

processo de aquisição de dados. Estas pesquisas são alimentadas pelos problemas enfrentados no processo de transformação de dados coletados pelo sensor em informação. Desta forma são desenvolvidos filmes mais sensíveis, com melhor capacidade de detecção bem como novos procedimentos de fotointerpretação. No decorrer do tempo, esse sistema tem crescido e se transformado, recebendo contribuições de um grande número de áreas de conhecimento. Nesse sentido, têm-se ampliado também suas aplicações, nas quais este trabalho faz parte.

I . 2 - Sistemas sensores

Os sistemas sensores podem ser classificados de diferentes maneiras. Quanto à fonte de energia, os sistemas sensores podem ser classificados em sensores passivos e sensores ativos.

Os *sensores passivos* detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos objetos da superfície. Dependem, portanto, de uma fonte de radiação externa para que possam funcionar. Os sistemas fotográficos são um bom exemplo de sistemas sensores passivos.

Os *sensores ativos* são aqueles que incluem sua própria fonte de radiação. Os radares são um exemplo de sensor ativo, uma vez que produzem a energia radiante que irá interagir com o alvo desejado.

Os sistemas sensores podem ser também classificados em função da região do espectro eletromagnético em que funcionam. Desta maneira pode-se encontrar sensores que funcionam na região óptica do espectro e que se caracterizam pela utilização de componentes ópticos na sua construção, tais como espelhos, prismas e lentes.

Os sistemas sensores que funcionam na região óptica do

espectro podem ser classificados em função do tipo de energia que detectam como, por exemplo, sensores termais e sensores de energia solar refletida.

Os sistemas sensores podem ainda ser classificados em função do tipo de transformação sofrida pela radiação detectada. Desta forma, tem-se *sistemas sensores não imageadores*, ou seja, que não fornecem uma imagem da superfície sensoriada. Exemplos de sensores não-imageadores seriam radiômetros cuja saída é em forma de dígitos ou gráficos. São essenciais para a aquisição de informações minuciosas sobre o comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre.

Os sistemas sensores *imageadores* fornecem como resultado uma imagem da superfície observada. Os sensores imageadores fornecem informações sobre a variação espacial da resposta espectral da superfície observada.

Os sistema sensores imageadores podem ainda ser classificados em função do processo utilizado na formação da imagem. Os *sistemas de quadro* (framing systems) adquirem a imagem da cena em sua totalidade num mesmo instante. Nos *sistemas de varreduras* (scanning systems), a imagem da cena é formada pela aquisição sequencial de 'imagens elementares do terreno' ou 'elementos de resolução', também chamados 'pixels' (Schowengerdt, 1983).

Antes de se tratar dos diferentes tipos de sensores, vamos definir operacionalmente alguns termos que serão utilizados na descrição desses sistemas.

Em primeiro lugar vamos definir o termo *resolução*, uma vez que os diferentes sistemas são caracterizados por sua resolução.

A resolução é uma medida da habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes

espectralmente ou próximos espacialmente.

A resolução pode ser classificada em resolução espacial e resolução espectral. A resolução espacial mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos. A resolução espectral é uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno.

Os sensores que produzem imagens podem ser classificados em função do processo de formação de imagem, em sensores fotográficos, sensores de varredura eletro-óptica e radares de visada lateral.

A figura I.5 apresenta as diferentes regiões do espectro óptico e os termos pelas quais são conhecidas.

A figura I.6 apresenta, de forma esquemática, o sistema brasileiro de recepção de dados do satélite LANDSAT e SPOT.

A tabela I.1 apresenta as principais características dos sistemas sensores cujos dados são disponíveis no País.

Até o momento foram lançadas cinco plataformas espaciais da série LANDSAT. As quatro primeiras já foram desativadas e atualmente o LANDSAT 5 continua, a cada 16 dias, a coletar dados da superfície da Terra. Este satélite conta com um novo tipo de sensor, denominado de THEMATIC MAPPER (TM) com sete canais espectrais, além do já tradicional MULTISPECTRAL SCANNER SYSTEM (MSS) com quatro canais que equiparam as versões anteriores.

As imagens TM, graças à combinação de sua alta resolução no terreno com a resolução espectral, constituem poderosa ferramenta nas atividades de mapeamento básico, possibilitando vantagens para muitas das aplicações sobre o estudo da qualidade da água, como é o caso do presente trabalho.

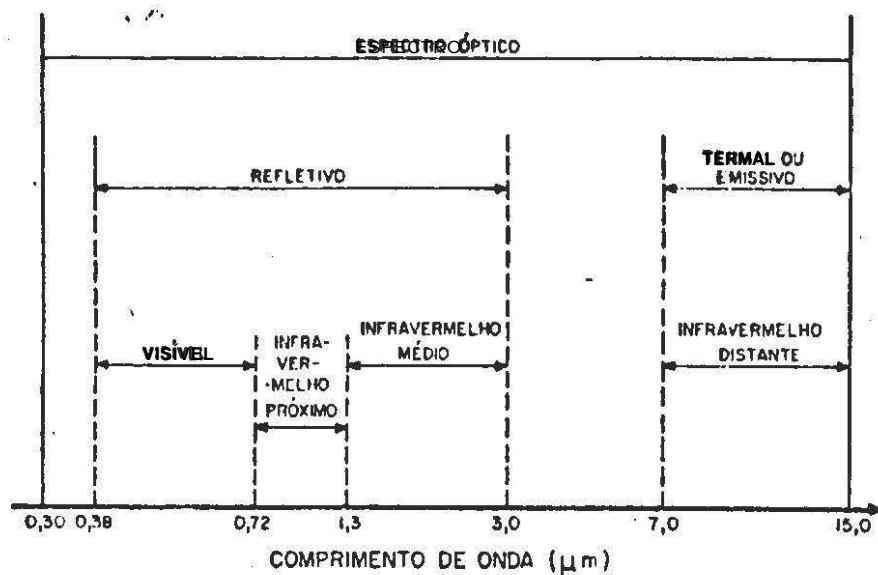


Figura I.5 - Regiões do espectro óptico.

TABELA I.1 - Características dos sistemas sensores¹

	Landsat/MSS	Thematic Mapper(TM)	SPOT/HRV
Lançamento	1 1972 2 1975 3 1978 4 1982	5 1984	1984
Altitude (Km)	920 (1 - 3) 695 (4)	695	822
Bandas Espectrais (μm)	4 0.5-0.6 5 0.6-0.7 6 0.7-0.8 7 0.8-1.1	1 0.45-0.53 2 0.52-0.60 3 0.63-0.69 4 0.76-0.90 5 1.55-1.75 6 10.4-12.5 7 2.08-2.35	1 0.50-0.59 2 0.61-0.69 3 0.79-0.89 p 0.51-0.73 ²
IFOV (m)	76x76 (4 - 6) 80x80 (7)	30x30 (1-5,7) 120x120 (6)	20 (1-3) 10 (p)
Resolução Pixel(m)	57x82 (4 - 6) 57x80 (4)	30x30 (1-5,7) 120x120 (6)	20 (1-3) 10 (p)
FOV (Km)	185x185	185x185	60x60
Pixels/cena (x 10 ⁶)	28	231	27 (1-3) 36 (p)
Bits/pixel	6	8	8 (1-3) 6 (p)

1) - FONTE : Schowengerdt (1983)

2) - Modo pancromático

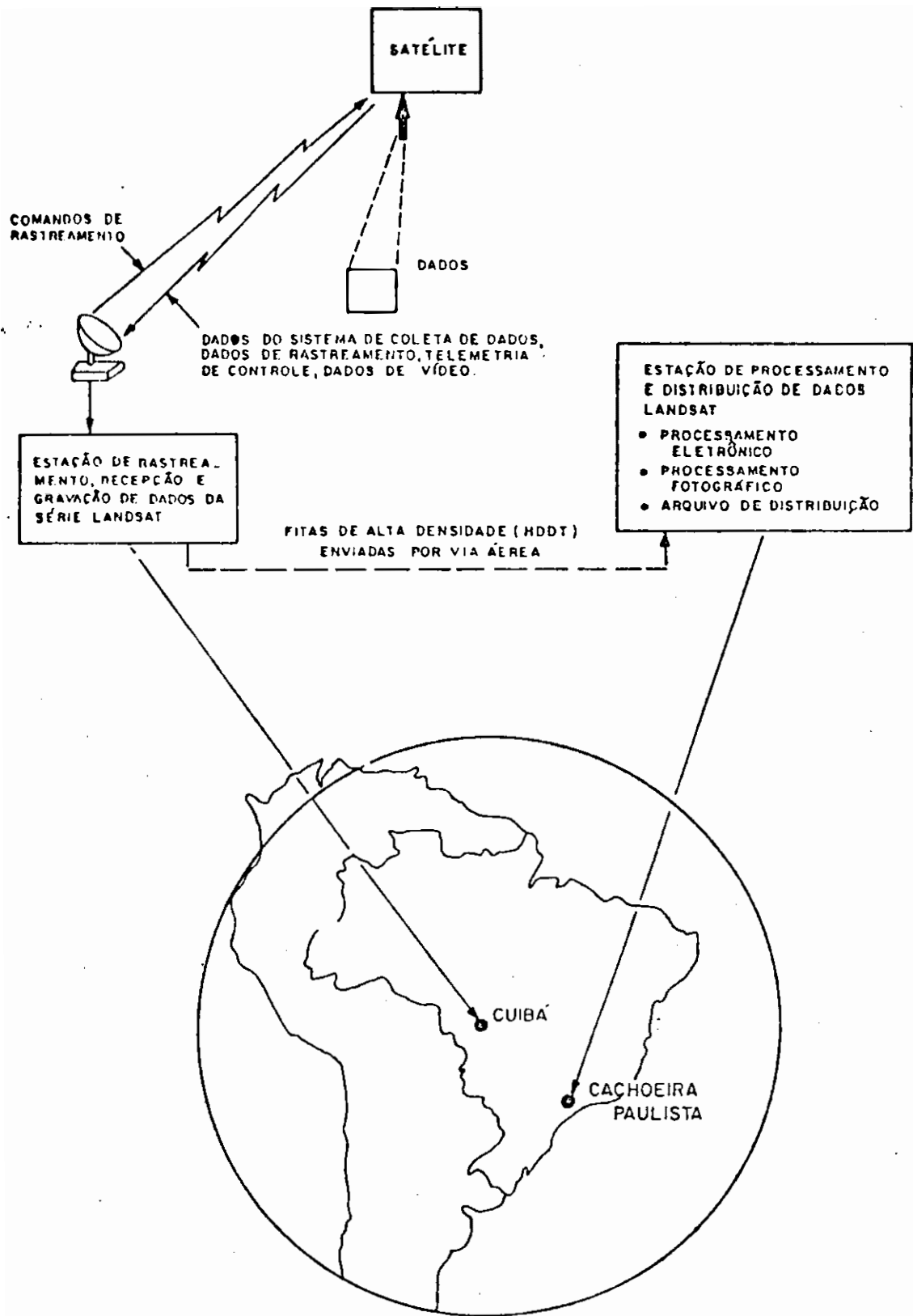


Fig. I.6 - Sistema brasileiro de recepção de dados LANDSAT/SPOT
 FONTE: Buss Filho et alii (1975).

I . 3 - Comportamento espectral da Água

Para que se possa extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície e dos fatores que interferem nesse comportamento.

O conhecimento do comportamento espectral de alvos não é importante somente para a extração de informações de imagens obtidas pelos sensores, é também importante na própria definição de novos sensores, na definição do tipo de pré-processamento a que devem ser submetidos os dados brutos ou mesmo na definição da forma de aquisição dos dados (geometria de coleta dos dados, frequência, altura do imageamento, resolução limite, etc.).

No caso específico da água (H_2O), apresenta-se na natureza sob diferentes estados físicos, que influenciam de modo fundamental seu comportamento espectral. Na figura I.7 apresenta-se o comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos : água propriamente dita (estado líquido), água em forma de nuvens e água em forma de neve.

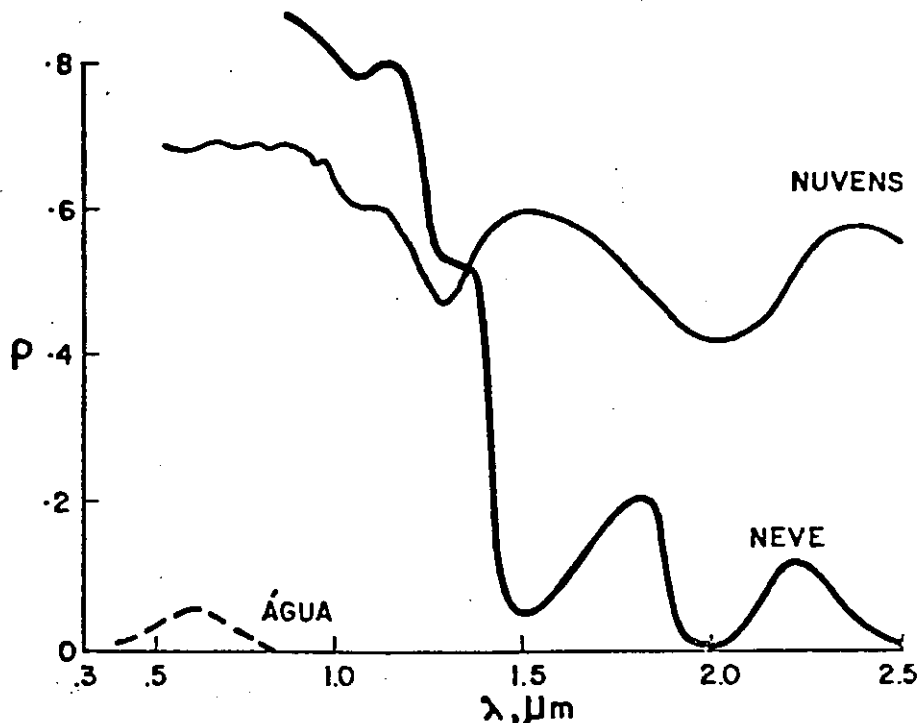


Figura I.7 - Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos.
Fonte: Swain e Davis (1978)

Pela análise da figura I.7, pode-se observar as seguintes características da água : a) a água em seu estado líquido apresenta baixa reflectância entre $0,38 \mu\text{m}$ e $0,70 \mu\text{m}$ ($\rho < 0,1$), absorvendo toda a radiação acima de $0,7 \mu\text{m}$; b) As nuvens apresentam altíssima reflectância ($\rho > 0,7$) entre $0,38 \mu\text{m}$ e $2,5 \mu\text{m}$, com bandas de absorção amplas em torno de $1,0 \mu\text{m}$, $1,3 \mu\text{m}$ e $2 \mu\text{m}$; c) a água em forma de neve apresenta elevada reflectância (maior que a das nuvens) entre $0,7 \mu\text{m}$ e $1,2 \mu\text{m}$; de $1,2 \mu\text{m}$ a $1,4 \mu\text{m}$ a reflectância decresce com um gradiente altíssimo (de $0,8$ a $0,2$), atingindo valores de ρ inferiores a $0,1$ em $1,5 \mu\text{m}$. Entre $1,5 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$, há um aumento de reflectância da neve (máximo em $1,75 \mu\text{m}$ quando atinge um valor de $\rho = 0,2$). Em $2,0 \mu\text{m}$, a reflectância aproxima-se de zero para aumentar até $0,2$ em torno de $2,25 \mu\text{m}$.

Em seu percurso da fonte ao alvo, a radiação inicialmente interage com a atmosfera. Observando-se a maneira como a intensidade e a coloração da luz é alterada enquanto interage com a água, pode-se deduzir a natureza e concentração dos constituintes da água responsáveis pela atenuação da luz. Após atingir o alvo o sinal retorna ao sensor interagindo novamente com a atmosfera.

A figura I.8 apresenta uma visão das várias contribuições que são feitas ao sinal recebido pelo sensor remoto sobre a água. Somente uma dessas componentes - reflexão do corpo d'água - possui informações da qualidade da água.

A irradiância original (solar) é modificada inicialmente em sua passagem através da atmosfera terrestre (figura I.9). Dependendo do ângulo da elevação solar e outros fatores, alguma irradiância será refletida na interface ar/água. Esse sinal contudo não contém nenhuma informação da qualidade sobre a água subsuperficial. Na mesma figura estão indicadas as faixas onde ocorrem absorção pelos seus constituintes mais comuns.

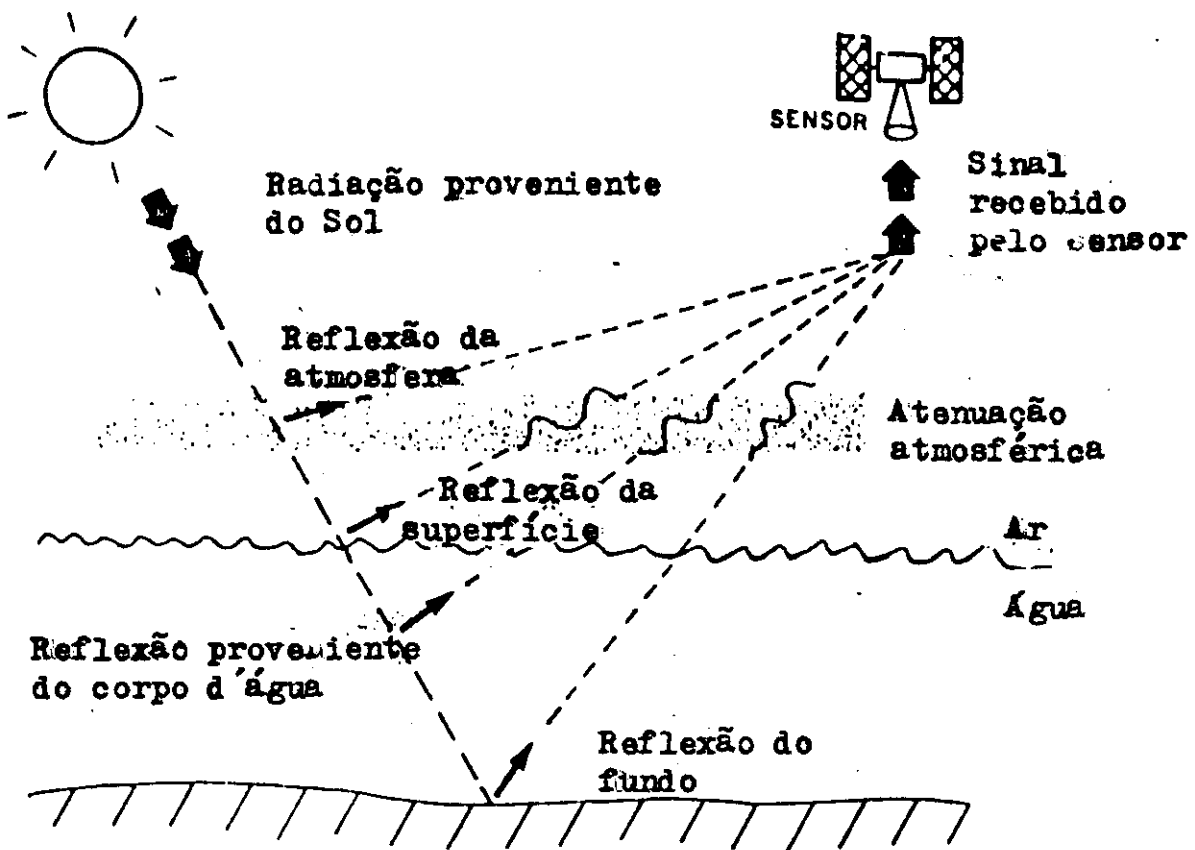


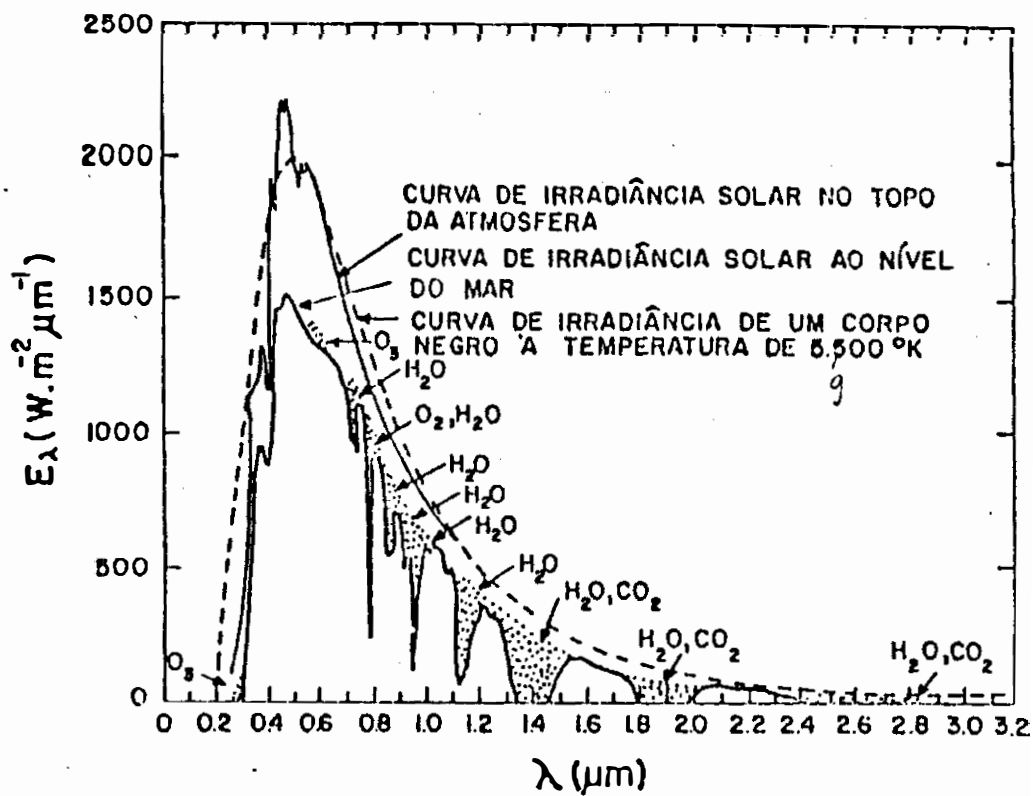
Fig. I.8 - Componentes do sinal recebido pelo sensor.


FONTE: Alfödi (1982)

Após penetrar na água a radiação incidente é atenuada (figura I.10) . A atenuação é o resultado da combinação da ação do espalhamento com o da absorção, que em conjunto determinam o processo de propagação da luz na água (Duntley, 1963).

Absorção foi definido em itens anteriores e o espalhamento é a mudança de direção da radiação através do meio por refração, reflexão e difração (Gordon et alii, 1980) sendo que tais efeitos dependem basicamente do comprimento de onda da energia.

A figura I.11 mostra, por exemplo, a dependência da radiância do silte em suspensão em relação a concentração do material total em suspensão.



 BANDA DE ABSORÇÃO POR GASES QUE CONSTITUEM A ATMOSFERA TERRESTRE

O_3 - OZÔNIO

H_2O - VAPOR D'ÁGUA

O_2 - OXIGÊNIO

CO_2 - GÁS CARBÔNICO

Fig.I.9 - Curva de irradiância solar.
FONTE: Slater (1980).

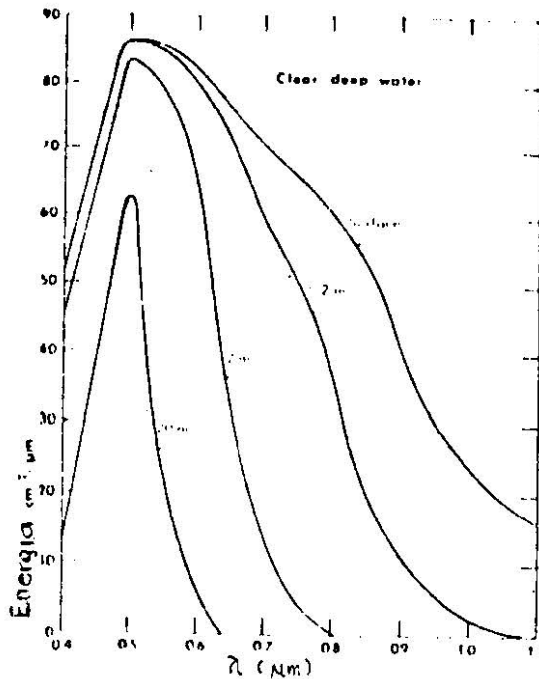


Fig. I.10 - Atenuação da radiação incidente através da água.

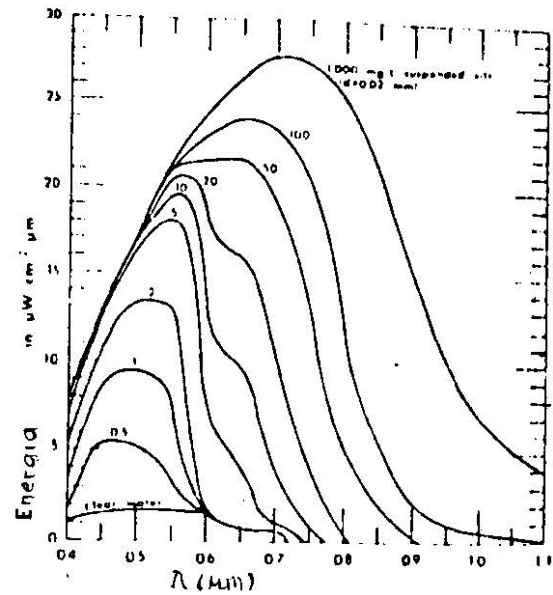


Fig. I.11 - Radiação refletida em sólidos em suspensão.

FONTE: Alfödi (1982)

Morel (1974), ao analisar a curva de 200 a 2000 nm do espectro eletromagnético, concluiu que na parte visível do espectro, principalmente na região do azul (450 a 550 nm), o coeficiente de atenuação da água, apresenta-se menor, agindo como uma janela de maior transmissão. (figura I.12 e I.13). Em ambos os lados desta janela de transmissão, isto é, no ultravioleta, abaixo de 200 nm e no infravermelho, a absorção aumenta consideravelmente.

Uma porção significativa do sinal que atinge o sensor é devido ao espalhamento atmosférico, sendo este um dos mais sérios obstáculos a medir corretamente a reflexão do corpo d'água (figura I.14). Em itens posteriores, apresenta-se o método de correção atmosférica que foi utilizado no presente estudo.

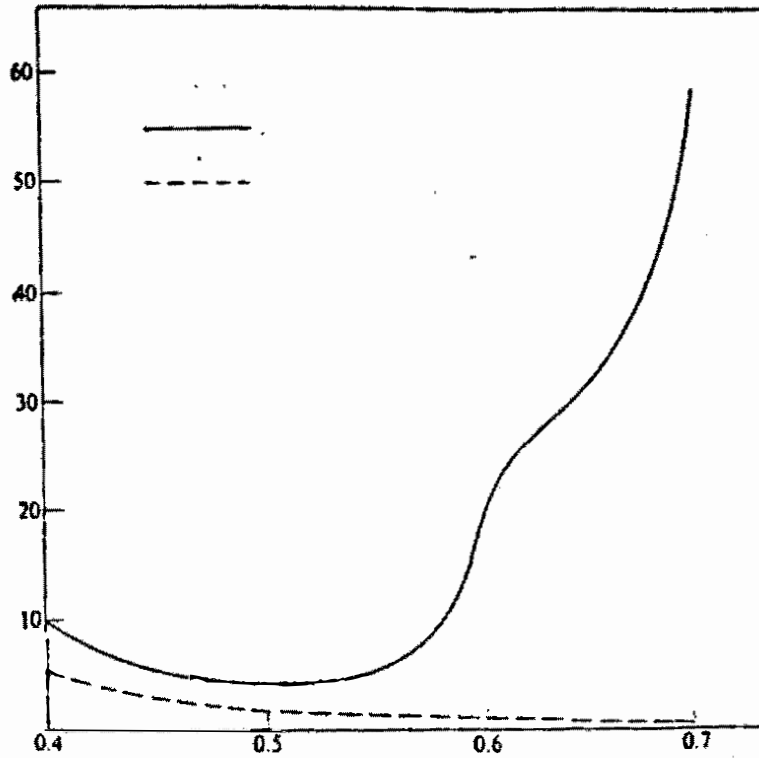


Fig.I.12- Características de absorção e espalhamento de água pura. Fonte: Swain e Davis (1978)

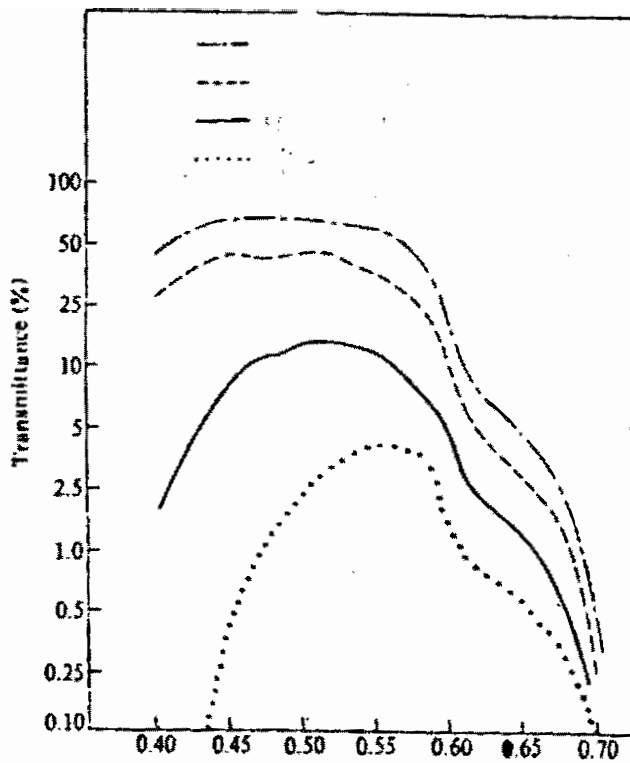


Fig.I.13- Curva de transmitância espectral de vários tipos de água. Fonte: Swain e Davis (1978)

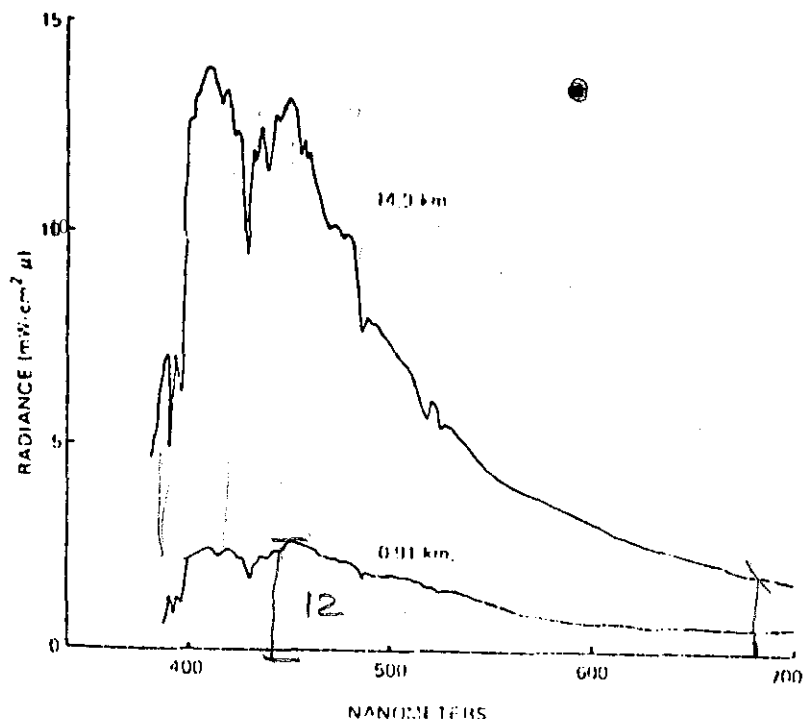


Fig. I.14- Radiância sobre a água em baixa e alta altitudes.
 FONTE: Alfödi (1982)

I . 4 - Trabalhos anteriores na área de estudo

As primeiras informações da região lagunar do RS registradas através de sensoriamento remoto orbital, foram adquiridas pelas missões Apolo e Skylab e posteriormente pelo sistema LANDSAT (Herz, 1973; Herz e Tavares Jr., 1974; Herz et al., 1978; dentre outros). Os estudos iniciais realizados por estes autores revelam que a Laguna dos Patos constitui uma das áreas mais promissoras para o emprego desta metodologia, devido a sua dimensão e ao grande aporte de sólidos em suspensão, que são introduzidos na bacia e transportados para a região litorânea, pela desembocadura da laguna no oceano.

O processamento automático das imagens realizado por computadores, ao contrário da interpretação visual, oferece condições para a construção de mapas temáticos quantitativos, quando tal estudo for apoiado por algumas amostras pontuais, principalmente se obtidas em posições representativas e de forma simultânea. Com este objetivo foi que o Departamento de Geociências da Fundação Universidade de Rio Grande (FURG), por

Intermédio do Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG), elaborou um programa de estudos da região estuarina e costeira adjacente, realizando campanhas de amostragem in situ em toda a área estuarina, com a finalidade de obter subsídios para estudos desta natureza, no qual este trabalho representa um destes estudos.

Na região oceânica, as pesquisas que utilizaram dados de sensoriamento remoto, estão relacionadas ao estudo da Convergência Subtropical do Atlântico Sul. Dentre outros trabalhos citamos Tseng, 1974; Tseng et al., 1977; Johnson e Norris, 1977; Godoi e Stevenson, 1984, 1985 .

I . 5 - Relevância do trabalho

Técnicas convencionais de coletas de amostras utilizando embarcações , podem ser usadas para avaliar parâmetros de qualidade de água. Amostras pontuais são coletadas em vários locais, analisadas, e os resultados são extrapolados para cobrir a área de interesse. O mapeamento e monitoramento efetivo da qualidade de água em regiões estuarinas torna-se entretanto difícil por sua variabilidade temporal e espacial (Khorram, 1985).

Considerando o tamanho da região estuarina da Laguna dos Patos, torna-se muito difícil o monitoramento efetivo da qualidade de suas águas usando somente técnicas convencionais. Por estas razões, as técnicas de sensoriamento remoto oferecem as seguintes vantagens:

1. Resolução temporal: A aquisição da imagem está relacionada com a passagem do satélite, que para o LANDSAT 5 ocorre a cada 16 dias. Isto significa que a cada 16 dias pode-se obter dados da área de estudo, dependendo da condição meteorológica local. Por exemplo, existindo um modelo de previsão de parâmetros de qualidade de água, a análise dos dados e a

produção de resultados finais pode ser acompanhada rapidamente e eficientemente por computadores.

2. Custos efetivos: Os custos de um quadrante LANDSAT com área de 8556.25 Km² (92.5 x 92.5 Km), recebidas na forma de fitas compatíveis com computador (CCT's) são da ordem de 625,78 BTNs(27/mar/1990) com sete canais. O processamento da imagem é um custo adicional, mas estas despesas são bem inferiores ao custo destas informações obtidas por técnicas convencionais.

3. Representatividade espacial: A análise de uma amostra da produção científica brasileira em limnologia e ecologia aquática demonstra que uma questão crucial é a da variação espacial dos dados coletados. Grande parte desses estudos baseia-se em um número limitado de amostras. A tabela I.2 resume alguns desses trabalhos.

Tabela I.2

REPRESENTATIVIDADE ESPACIAL DE AMOSTRAGENS DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

FONTE	NOME DO SISTEMA	DIMENSÃO (km ²)	NÚMERO DE AMOSTRAS	RESOLUÇÃO ESPACIAL
Tundoi e Tindoi, 1978	Reservatório de Broc	8,80	1	6,8 km ²
Tundoi e alii, 1978	Reservatório de Broc	8,80	2	3,4 km ²
Berbes e Tindoi, 1980	Lago Corroco	0,13	2	0,06 km ²
Schmidt, 1978	Beizo rio Negro	-	1	-
Cécere e alii	Reservatórios do Estado de São Paulo	10.000 ^a	114 ^a	67 km ²
Esteves et alii, 1984	Reservatório de Três Marias	1.120	4	280 km ²
Tundoi et alii, 1988	Lago de Tequeral	0,16	3	0,06 km ²
Junk et alii, 1982	Curú - Uca	100	7	14,28 km ²

^a Valores aproximados

Fonte : NOVO et alii(1988)

Através de sua análise observa-se que:

1) A distribuição espacial dos dados é bastante variável, tornando os dados resultantes dificilmente comparáveis entre si;

2) O problema da variação espacial das amostras se agrava com o aumento das dimensões do sistema aquático em estudo.

Obviamente esta observação não representa uma crítica

aos trabalhos em questão, mas apenas uma constatação das dificuldades de se aplicar métodos limnológicos convencionais no estudo de sistemas aquáticos com as dimensões e variedades como os encontrados no território brasileiro. Na área em estudo (figura I.3), aumentam as dificuldades, pois nesta região existe uma dinâmica muito intensa entre massas de águas diferentes (água doce e salgada). Os métodos que se adequam a pequenos corpos d'água, tornam-se inadequados a estudos de grandes corpos d'água. E se tornam ainda mais ineficientes pelo fato de que, quanto maior o corpo d'água em questão, maior a variabilidade de fatores bióticos, abióticos e antrópicos a que se encontra sujeito. Por outro lado a necessidade de dados frequentes (semanais e/ou quinzenais) por longos períodos de tempo, torna muito onerosa a operação de um número maior de estações amostrais.

É nesse quadro de limitações das técnicas convencionais de estudo dos sistemas aquáticos que o sensoriamento remoto pode se inserir como a tecnologia que possibilita a obtenção de dados ao longo de grandes áreas, de uma forma rotineira e a um custo razoável, condicionando a necessidade de amostragens convencionais a um número limitado de pontos.

Logo, um auxílio importante para tal empreendimento é a utilização de imagens digitais geradas a nível orbital, por satélites do tipo LANDSAT, que possibilitam a obtenção das características espectrais de alvos na superfície da Terra, atualmente, a cada 16 dias, associado aos dados *in situ*, estes adquiridos, sempre que possível, simultaneamente a passagem do satélite.

I . 6 - Objetivo

A laguna dos Patos apresenta ao longo do ano grandes concentrações e variações de sedimentos em suspensão, o que a torna um alvo adequado à utilização de técnicas de sensoriamento remoto a nível orbital.

O objetivo desta pesquisa consiste no desenvolvimento de modelo(s) de mapeamento de parâmetros de qualidade de água de superfície a partir de dados de natureza espectral (energia eletromagnética nas regiões do visível, infra-vermelho próximo e médio, refletidos pelo corpo d'água). Na elaboração desse(s) modelo(s), foram utilizadas imagens digitais, fornecidas pelo satélite LANDSAT-5, obtidas em duas datas distintas, e dados de amostras coletados na região de estudo. Os parâmetros de qualidade de água de superfície selecionados na área, incluem sólidos em suspensão e salinidade.

Assim sendo, este trabalho utiliza as técnicas de sensoriamento remoto, juntamente com dados *in situ*, para investigar o transporte e a dispersão de sedimentos em suspensão, bem como avaliar a circulação da região estuarina da Laguna dos Patos.

Espera-se que o(s) modelo(s) minimizem tempo e recursos econômicos alocados para a realização de trabalhos similares.

I . 7 - Apresentação do trabalho

O trabalho acha-se estruturado da seguinte forma. O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica suscinta de métodos desenvolvidos para estimativa de parâmetros de qualidade de água a partir de dados de natureza espectral. No capítulo 3 é desenvolvida a fundamentação teórica usada no modelo e sua interpretação. No capítulo 4 apresenta-se o algoritmo computacional colocado para a solução do problema. No capítulo 5 é mostrada a aplicação do método proposto e seus resultados e as conclusões pertinentes ao trabalho são discutidas no capítulo 6.

II . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vários pesquisadores tem mapeado parâmetros de qualidade de água usando dados de sensores remotos combinados com dados *in situ*. Plumas de sedimentos e padrões de circulação foram detectados e medidos usando fotografias aéreas (*Klooster e Sherz, 1974; Lillesand et al., 1975; e Lo, 1976*); outros pesquisadores usaram sensores multiespectrais montados em aeronaves (*Klemas et al., 1973 e 1974; Williamson e Garbeau, 1973; Clark et al., 1974; Bartolucci et al., 1977; Johnson e Harriss, 1980; Khorram, 1979 e 1981*).

II . 1 - Sistema LANDSAT - Melhores canais

Segundo *Klooster e Scherz (1974)*, *Kritikos et alii (1974)* e *Ritchie et alii (1976)*, a turbidez é uma propriedade ótica relacionada à luz espalhada pela maior ou menor concentração de material suspenso na água. Desta forma, uma mudança na concentração de sedimentos em suspensão provocará uma mudança na turbidez que, por sua vez, provocará uma alteração nas características de reflectância da água.

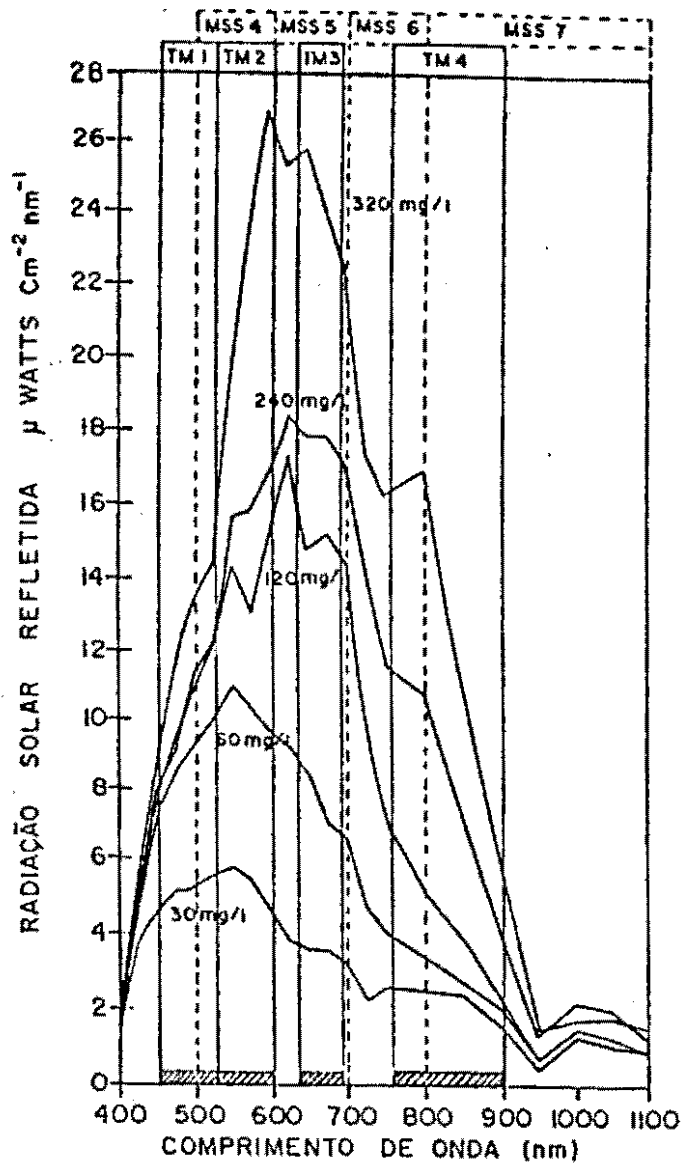
Ritchie et alii (1976), levando em consideração o comprimento de onda e a concentração dos sólidos em suspensão na camada superficial d'água, obtiveram dados descrevendo o comportamento espectral da radiação solar refletida por reservatórios d'água. As correspondentes curvas de resposta

espectral, bem como a posição dos sensores (canais) LANDSAT-MSS e TM são apresentadas na figura II.1

Analisando-se a figura (II.1) , constata-se que quando há uma maior concentração de sólidos em suspensão ou sedimentos, correspondendo uma maior reflectância em todos os canais. Observa-se também que o aumento da reflectância causada pelo sedimento em suspensão presentes na área, nos comprimentos de onda dos canais MSS 4 e 5 e TM 2 e 3 provoca um grande aumento no sinal de retorno. Isto se deve ao fato de que aumentando-se a concentração, a penetração de energia eletromagnética na água diminui, diminuindo portanto a absorção e ficando o sinal de retorno cada vez mais restrito às camadas superficiais dependentes da interação física entre a energia e o tipo de sedimento.

Observa-se também que na região correspondente ao infravermelho, a reflectância é baixa, mesmo para grandes concentrações de sedimentos. Esse comportamento é explicado pela alta absorção da água nesses comprimentos de onda.

Bartolucci et alii (1977), constataram que as maiores diferenças nas respostas espectrais entre águas túrbidas (100 mg/l de sólidos em suspensão) e límpidas (10 mg/l), ocorrem na região de 600 a 700 nm, que corresponde aos canais MSS 5 e TM 3. Estes autores constataram também que, para corpos d'água túrbidos (100 mg/l), a reflectância de fundo não afeta a resposta espectral da água, se o corpo d'água tiver profundidades superiores a 30 cm. Na natureza, os corpos d'água, geralmente não possuem águas límpidas, mas contem uma variedade de material orgânico e inorgânico, alguns dos quais em suspensão. Esses materiais causam absorção e espalhamento da energia incidente e conseqüentemente causam uma variação significativa na reflectância como mostrado na figura II.2.



19.IV.1 Relação entre quantidade de radiação solar refletida, comprimento de onda e concentração de sólidos em suspensão na superfície da água, para as bandas dos sistemas MSS e TM.

(Adaptado de Ritchie et alii, 1976)

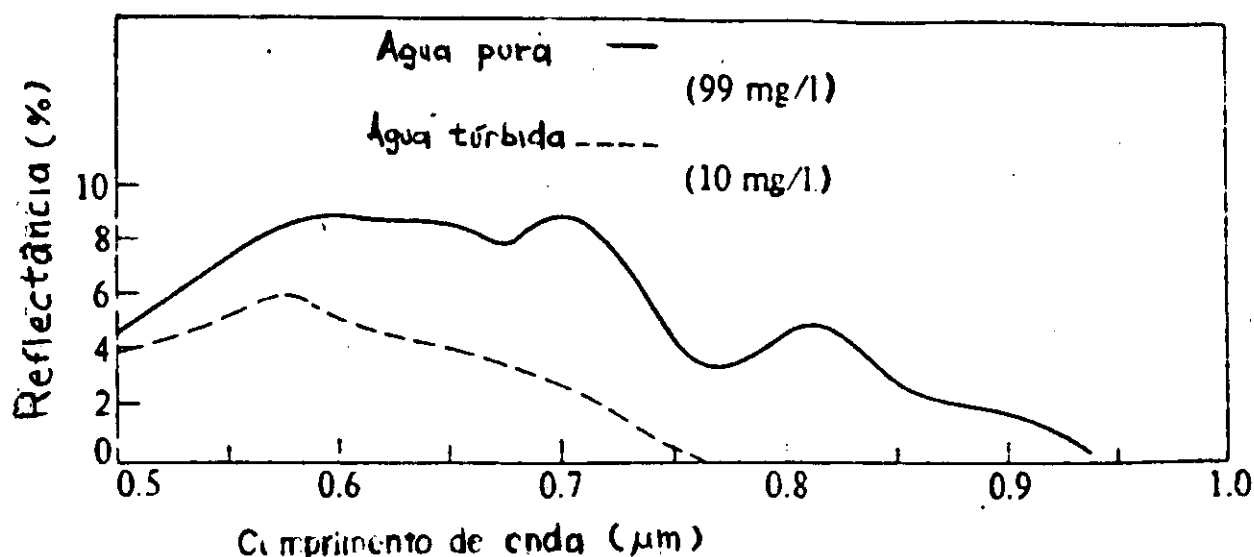


Fig.II.2 - Características de reflectância para água pura e água turva.
 FONTE: Bartolucci et al. (1977)

Sausen (1981) ao estudar o reservatório de Três Marias (Minas Gerais), fez uma análise de correlação entre dados de reflectância d'água coletados *in situ* e os valores de níveis de cinza observados nas imagens MSS/LANDSAT. Esta autora constatou, que o canal MSS 5 foi o que apresentou o maior coeficiente de correlação ($R=0.96$) e, sendo portanto o mais sensível às variações de energia refletida pelo corpo d'água.

Yarger et alii (1973), ao estudar os reservatórios de Perry e Tuttle Creek, em Kansas, USA, puderam observar que :

- há uma alta correlação entre os níveis de cinza e a carga suspensa nas faixas do verde (MSS 4, TM2), vermelho (MSS 5, TM 3) e infravermelho (MSS 6, TM 4).

- os canais MSS 5 e MSS 6, normalmente apresentam alta correlação com a quantidade de material em suspensão, sendo o canal MSS 5, o mais sensível.

- o canal MSS 7 apresenta uma baixa correlação com a carga suspensa, embora apresente um maior retorno para cargas suspensas em torno de 100 mg/l.

- a discriminação ou sensibilidade entre nível de cinza

e carga em suspensão apresenta níveis bons para concentrações de até 100 mg/l, mas aparenta deteriorar-se rapidamente acima deste nível de turbidez.

Schiebe et alii (1983), em estudos realizados no Lago Chicot, Arkansas, utilizando o sensor TM , constataram que este sensor pode ser útil no monitoramento de sedimentos em suspensão e clorofila, caso o lago tenha cargas altas de sedimentos em suspensão. O canal TM 3 aparentou ser o mais adequado, com os canais TM 1, 2 e 4 também contendo informações úteis referentes a sedimentos em suspensão.

Bowker et alii (1973) concluiu que o maior número de detalhes sobre sedimentos em suspensão podem ser detectados na região do canal MSS 5.

Wezernak (1974) descreve que um aumento da reflectância da água na região do vermelho (620 - 700 nm) é acompanhado de uma diminuição da reflectância no azul (420 - 480 nm) exceto, é claro, para águas túrbidas.

Yarger e McCauley (1975) estudando as correlações entre os níveis de cinza médios obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT e sólidos em suspensão, observaram que é possível medir a quantidade de sólidos em suspensão com uma precisão de 12 mg/l, no intervalo de 0 - 80 mg/l, e com uma precisão de 35 mg/l, no intervalo de 0 - 900 mg/l. Constataram também que a presença de clorofila causa uma maior absorção no intervalo correspondente ao canal MSS 5 (600-700 nm) e uma maior reflectância na região do canal MSS 4 (500-700 nm). Verificaram que a razão MSS 5/MSS 4 apresenta uma correlação negativa com a clorofila α . Observaram também que somente uma variação de clorofila maior que 20 $\mu\text{g/l}$ poderá ser detectada pelo sistema MSS-LANDSAT.

Hellden (1975), estudando lagos na Escandinávia, usando análise densitométrica com diapositivos nas regiões do espectro correspondentes aos canais 4 e 5 do MSS - LANDSAT 1, encontrou uma forte relação entre tons de cinza e a transparência de disco de Secchi (DS). Os tons mais claros se referem a baixa

transparência de DS e maior concentração de material em suspensão. Para esse autor a transparência do corpo d'água pode ser considerada uma medida das condições biológicas e químicas da água, as quais podem ser relacionadas com outros parâmetros limnológicos.

Scarpace et alii (1979) classificaram 250 lagos de Wisconsin e encontraram uma alta correlação entre medidas de turbidez no campo e a resposta espectral de um lago no canal 5 do sistema MSS . Mencionaram também que a principal fonte de turbidez em um lago é devido a presença de algas.

Desde Wezernak (1974) que se nutre a idéia de desenvolver uma expressão numérica que combinasse o maior número possível de parâmetros relativos a qualidade de água para indicar níveis de eutrofização. Chegou-se por fim, a um índice de estado de eutrofização, que pode ser obtido com os dados de campo ou com dados estimados a partir da resposta espectral do complexo água-sedimento nas faixas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (canais TM-1,2,3 e 4).

II . 2 - Sensoriamento remoto dos sistemas aquáticos

Graham et alii (1981), estudando Apalachicola Bay, EUA, observaram que as diferenças entre as curvas de resposta espectral de vários tipos de água podem ser atribuídos a diferentes parâmetros de qualidade de água (material em suspensão, turbidez, cor e Secchi) sendo possível, correlacionando estes parâmetros com outras características de qualidade de água que não podem ser obtidas por sensores remotos (p. ex.: oxigênio dissolvido, pH), uma avaliação completa da qualidade de água.

Concluíram que uma correta interpretação da imagem requer um modelo hidrodinâmico de circulação, sendo os valores das velocidades produzidas por este modelo, dados de entrada em um modelo de dispersão, e então comparadas com a imagem de satélite.

Klemas (1980), utilizando imagens de satélite, aviões

e observações em barcos, constatou que a alta resolução das imagens permite apontar a presença de pequenas anomalias tais como vórtex, frentes, etc., nem sempre representadas durante as observações de campo e em modelos de dispersão. Desta forma, as imagens contribuem na interpretação das observações *in situ* e no processo e resultado de simulações numéricas.

Buttner et alii (1981) encontraram boa correlação ($r > 0.9$) entre medidas de reflectância nas bandas visíveis do sensor Landsat MSS e valores de clorofila-a. Baseada nesta correlação apresentou-se um mapeamento de clorofila-a para o Lago Balaton na Hungria. Os resultados desta pesquisa demonstraram que o monitoramento através de imagens de satélite pode ser útil na obtenção de parâmetros ambientais de corpos de água, quando estes forem obtidos simultaneamente a passagem do satélite.

Há evidências experimentais que comprovam a variação da cor retroespalhada pela água em função da variação da concentração de clorofila (Clark et alii, 1970). Essa variação tem sido utilizada no desenvolvimento de modelos de estimativa de produtividade primária de oceanos (Perry, 1986). Embora sejam encontrados modelos de estimativa de concentração de clorofila através de dados de sensoriamento remoto (Gordon et alii, 1983; Brown et alii, 1985) a utilização de tais estimativas na determinação de produtividade primária do fitoplâncton ainda depende de pesquisas adicionais (Sturm, 1987)

demonstra a utilidade de imagens de satélite na interpretação da circulação superficial de águas, sendo necessário a descrição física da área, entendimento da maré, fatores meteorológicos e simultaneidade entre obtenção de dados de campo e imagens de satélite. Neste caso , as técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas para calibrar um modelo bidimensional de circulação.

Whitlock et alii (1982) ao examinar as limitações, exigências e precisão de técnicas de regressão linear múltipla para quantificação de parâmetros ambientais costeiros a partir de sensoriamento remoto, puderam constatar que em muitas observações,

as variáveis independentes (radiância em bandas espectrais) estão correlacionadas entre si, bem como com as variáveis dependentes (concentração de sedimentos e poluentes) o que torna os resultados de difícil interpretação.

Na pesquisa realizada por Lanthrop et alii (1986) que relaciona dados do sensor TM simultaneamente adquiridos aos dados *in situ* através de técnicas de regressão linear múltipla, pode-se observar que:

- Existem relações altamente significantes entre dados fornecidos pelo sensor TM e profundidade do disco Secchi (m), concentrações de clorofila-a ($\mu\text{g/l}$), níveis de turbidez (NTU) e temperatura de água da superfície ($^{\circ}\text{C}$).

- A maioria dos parâmetros de qualidade de água estudados foram ajustados pelo modelo $Y = aX^b$, resultando na transformação $\ln(Y) = \ln(a) + b \cdot \ln(X)$.

-A análise dos dados restringiu-se as bandas TM 1-4, (visível e infra-vermelho próximo) porque as bandas do infravermelho médio (TM 5,7) apresentaram baixas correlações com os parâmetros da qualidade de água (estes resultados são esperados devido a absorção da energia incidente, no infravermelho médio, sobre o corpo d'água).

- Todos os dados foram coletados em locais onde o potencial dos efeitos de fundo do corpo d'água pudessem ser eliminados (profundidade da coluna d'água > 2x profundidade secchi).

~~X~~ Braga (1989), estudando a Baía de Guanabara revela que uma importante etapa, neste contexto, é a do conhecimento da dinâmica da área estudada, seja ela costeira, estuarina ou continental, a fim de que se possam definir os padrões típicos de campo e associa-los a determinadas variações no comportamento espectral das imagens Landsat/TM, indicando-se os processamentos mais adequados em cada caso.

Um estudo integrado envolvendo medições em campo que permitiram caracterizar morfobatimetricamente o sistema em estudo (Estuários, lagoas e sistemas costeiros), o padrão de correntes e a distribuição de parâmetros físicos, aliados a simulação

matemática desses fenômenos e à aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para a obtenção de alta resolução espacial foram as ferramentas escolhidas por Jensen et alii (1989), Mendes et alii (1990) e sugeridas por Khorram (1985), Hartmann (1988) e Mendes et alii (1989) na obtenção de mapas temáticos de parâmetros de qualidade de água.

Existem numerosos trabalhos de pesquisa que tentam relacionar propriedades óticas da água às propriedades físico-químicas e biológicas dos sistemas aquáticos. A aplicação de tais modelos a sistemas aquáticos continentais, estuarinos e costeiros ficou sempre comprometida pela baixa resolução espectral dos sistemas sensores dedicados a estudos aquáticos, próprios apenas para grandes superfícies líquidas. Com a disponibilidade de dados do sensor TM, entretanto, abriram-se novas perspectivas de utilização de dados orbitais em estudos destes sistemas, dentre os quais se inclui o estuário da Laguna dos Patos. Na tabela II.1 pode-se observar a relação entre as faixas espectrais do TM e suas respectivas aplicações no estudo de sistemas aquáticos.

Tabela II.1 - Potencialidade das bandas espectrais do sensor Landsat/TM para estudos de ecossistemas aquáticos

CANAL TM	FAIXA ESPECTRAL (μm)	PICOS DE ABS DA CLOROFILA				ALGAS FLUTU	BATIM	TURB	SEDIM EM SUSP	DELIM TERRA/ AGUA
		A	B	C	D					
1	0.45-0.52		■		■		■		■	
2	0.52-0.60						■		■	
3	0.63-0.69	■	■	■	■		■	■	■	
4	0.76-0.90				■	■			■	■
5	1.55-1.75									■
7	2.08-2.85									■

FONTE : Novo et alii (1988)

As metas atuais por parte da comunidade internacional (Tassan, 1988) são no sentido de desenvolver algoritmos que permitam melhor estimar propriedades de águas tais como : a) concentração de sedimentos em suspensão; b) clorofila; c) poluição química; d) salinidade; e) propriedades de fundo, etc.

É necessário também desenvolver sistemas que minimizem

ou corrijam efeitos ambientais (Por exemplo: efeitos atmosféricos) que afetam a relação entre reflectância da água e suas propriedades físico-químicas e biológicas (Curran & Novo, 1988).

Enquanto em outros países tem havido um volume considerável de pesquisas que utilizam as técnicas de sensoriamento remoto como fonte de dados para o estudo dos sistemas aquáticos continentais e oceanográficos (Nihoul, 1984; Khorram, 1985; Gomer, 1987; Rios et alii, 1988), no Brasil esta técnica ainda não tem sido utilizada com todo o seu potencial. Dentre os trabalhos já realizados destacam-se as contribuições de Herz (1977); Sausen (1981); Betancourt (1981), Hartmann (1988), Mendes et alii (1989), Mendes et alii (1990) e Hartmann et alii (1990).

Tendo em vista, entretanto, o volume dos recursos hídricos brasileiros e o grau de comprometimento a que estão sujeitos, torna-se fundamental um esforço mais sistemático de integração destas técnicas às atividades de pesquisa *in situ*, em andamento no país, nos sistemas aquáticos .

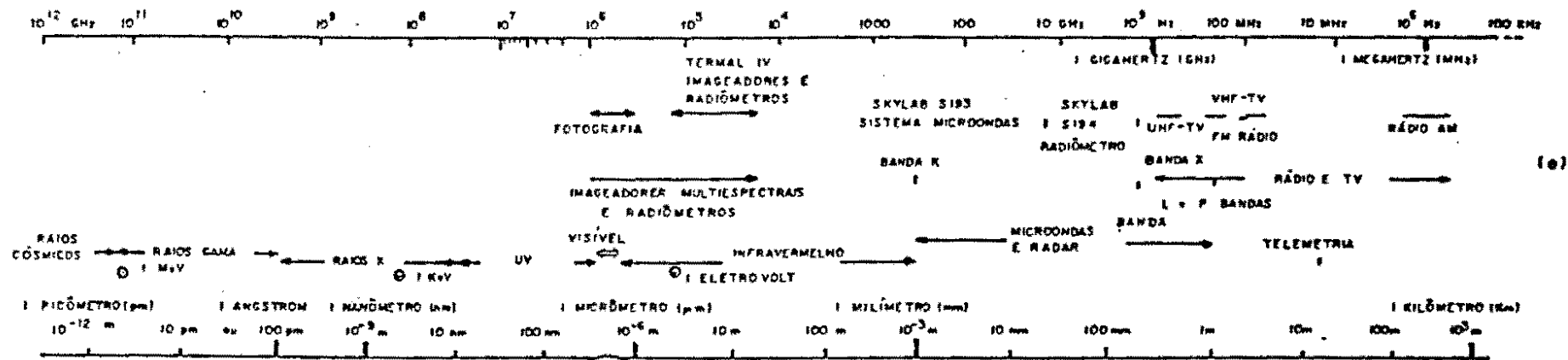
III . FUNDAMENTOS TEÓRICOS

III . 1 - Considerações básicas sobre a interação da radiação solar com a água

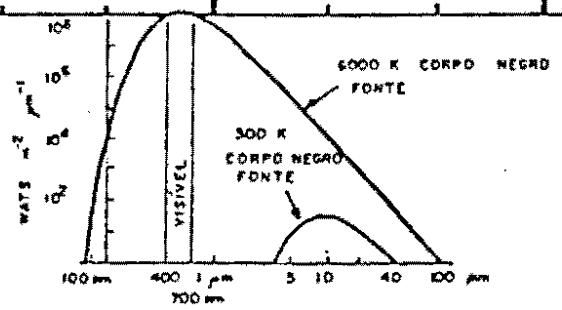
O Sol é a fonte de energia eletromagnética mais importante utilizada em sensoriamento remoto passivo. Comporta-se aproximadamente como um corpo negro, a uma temperatura aproximada de 6000 K, (figura III.1a). Verifica-se pela figura III.1b, que o comprimento de onda de máxima emissão é de aproximadamente $0.5 \mu\text{m}$ e quase 99% da radiação solar cai dentro do intervalo espectral de 0.15 a $4.0 \mu\text{m}$.

O fluxo radiante detectado pelos sistemas de sensoriamento remoto, é descrito como sendo parte de regiões do espectro eletromagnético. Este não tem limites inferior ou superior. Compreende desde os raios cósmicos até os comprimentos de onda longos, passando pelos comprimentos de onda visíveis ao olho humano (figura III.1a). Pode-se esquematizar a distribuição da radiação eletromagnética (REM) segundo seu comprimento de onda ou frequência como na figura III.1c, considerando a transmitância pela atmosfera.

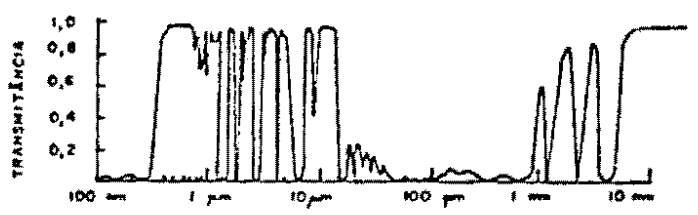
As regiões mais utilizadas do espectro para fins de estudos de sensoriamento remoto passivo localizam-se na região do visível (0.4 a $0.7 \mu\text{m}$) e do infravermelho termal ou emissivo (10 a $14 \mu\text{m}$).



(a)



(b)



(c)

Fig. III: I - O espectro eletromagnético, o sol e a atmosfera.

FONTE: Slater (1980).

É importante lembrar que, ao se obter um dado através de um sensor remoto passivo, o sinal coletado interage com a atmosfera no seu percurso até o alvo e após até o sensor . Desta maneira, é importante conhecer os efeitos causados pela atmosfera no sinal medido pelo sensor. As curvas da figura I.9 mostram os espectros de radiação solar no topo da atmosfera e ao nível do mar. Também estão indicadas as faixas onde ocorre absorção pelos seus constituintes mais comuns.

A transmissão da luz e seus efeitos resultantes após a incidência da radiação, tem sido assunto de inúmeros pesquisadores interessados em conhecer os aspectos desta interação, dentro os quais o estudo da qualidade da água (Slater, 1980).

Inicialmente, estas pesquisas estavam relacionadas à interação da luz com a água pura, porque a determinação do problema da penetração da luz nestas condições, é fundamental para determinação dos coeficientes de atenuação em águas naturais, com turbidez. Estes valores padrões em água pura observados em laboratório servem, portanto, de comparação com os valores radiométricos encontrados em águas naturais, permitindo assim se obter os dados de atenuação em águas naturais.

III . 1.1 - Interações da radiação eletromagnética com águas costeiras

Um raio de luz (raio solar) ao incidir sobre um meio líquido é sujeito a vários efeitos, tais como :

a) Reflexão na superfície da água, quando o raio solar atinge a água e a deixa (figura III.2).

b) Refração na superfície da água, quando o raio solar penetra a água e a deixa (figura III.3).

c) Absorção do raio solar pela água e outros materias presentes no corpo d'água.

d) Espalhamento e mudança na direção de propagação da luz no corpo d'água causada por partículas (moléculas, partículas

em suspensão , etc.)

e) Reflexão do raio luminoso no fundo do corpo d'água.

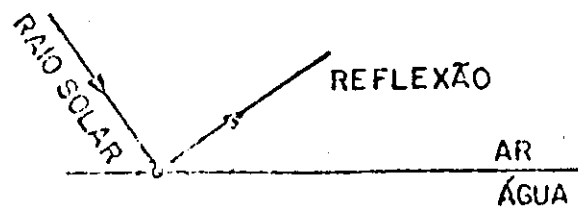


Figura III.2 - Raio de sol incidente e refletido.

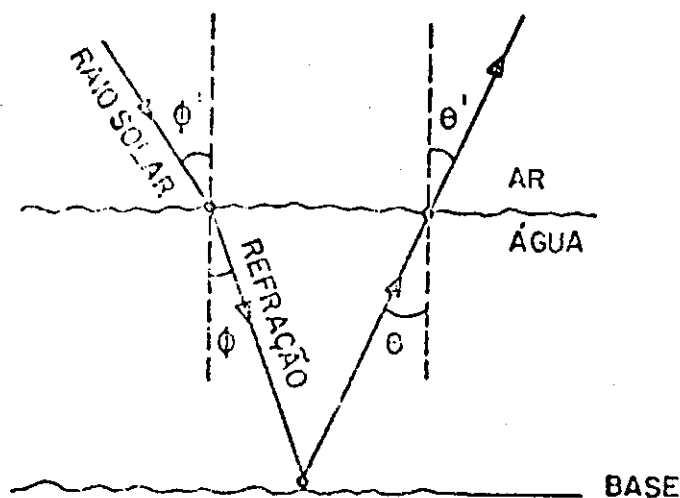


Figura III.3- Raio solar refratado.

III . 1.2 - Reflectância na superfície da água pela radiação direta do Sol

Segundo Williams (1970), a quantidade de luz refletida pela superfície oceânica é função de tres parâmetros, que são : a natureza da superfície oceânica, que pode ser lisa ou rugosa; o ângulo de elevação solar (irradiação solar direta), e a energia incidente proveniente do espalhamento atmosférico. Existe também o quarto parâmetro que é a luz espalhada pelas partículas existentes no oceano e que voltam para a atmosfera (Figura III.4).

O efeito da altura (ou seu complemento; distância zenital) do Sol sobre a reflectância, por uma superfície lisa, é dada pela equação de Fresnel: (na ausência de absorção da superfície)

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{tg}^2(i-r)}{\text{tg}^2(i+r)} + \frac{\text{sen}^2(i-r)}{\text{sen}^2(i+r)} \right]$$

onde :

ρ é a reflectância

i é o ângulo em relação a normal, produzido pela luz incidente. (distância zenital do Sol)

r é o ângulo em relação a normal, produzido pela luz refratada.

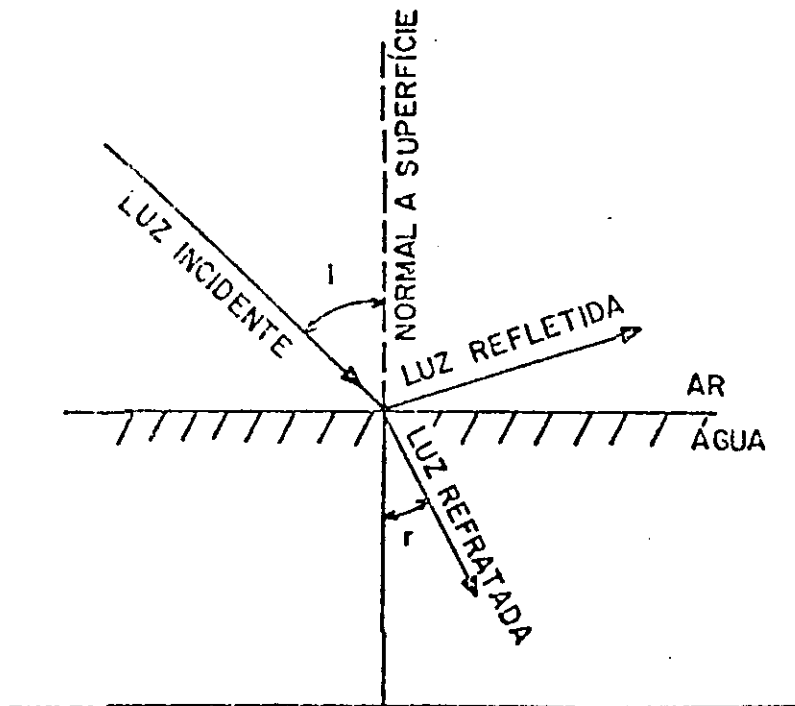


Figura III.4 - Feixe de luz incidente, refletido e refratado.

A tabela III.1 mostra a reflectância calculada em diferentes ângulos para a radiação direta do Sol, a uma superfície lisa.

Tabela III.1 - Variações de reflectância com a distância zenital, para uma superfície lisa.

Distância zenital	reflectância(%)
0°	2.0
10°	2.0
20°	2.0
30°	2.1
40°	2.4
50°	3.5
60°	5.9
70°	13.2
80°	34.7
90°	100.0

Fonte : *Willians* (1970)

A radiação que não é refletida diretamente na superfície do mar, penetra no oceano, e aí ocorrem processos de espalhamento e absorção. Uma parcela dessa energia é finalmente refletida de volta.

III . 1.3 - Transmissão de radiação na água

Mesmo a água mais pura e mais clara tem aspecto de névoa. A visibilidade dentro da água é limitada a poucas centenas de metros em condições ideais, mas em condições normais, é muito menor. Em casos extremos, a turbidez pode impedir que um mergulhador veja suas mãos em frente do seu rosto. A visão, fotografia e imagem "no visível", no mar, são deste modo dependentes das propriedades de transmissão de luz na água. Esta situação é significativamente diferente "no ar", onde a visibilidade é bem maior.

A água absorve a luz seletivamente de uma maneira complexa, em função do comprimento de onda, ou cor da luz. Água destilada e água oceânica clara tem maior transmitância na região do azul-verde do espectro. Em outros comprimentos de onda a absorção é mais intensa, sendo a radiação quase completamente

eliminada após uns poucos metros de percurso na água.

Além disso, partículas em suspensão e contaminantes na água servem para reduzir a transmissão de luz. O pico de transmissão da água desvia em direção a comprimentos de onda maiores (verde, ou amarelo-verde) a medida que aumenta a concentração de partículas em suspensão (figura III.5). Este desvio é facilmente observado na mudança da água clara oceânica para áreas costeiras menos claras.

Specht et alii (1973) transformaram os dados de atenuação em transmitância de quatro tipos de água, para uma camada de 10 metros de profundidade (figura III.5). Nesta figura, observa-se que, à medida que se aproxima da costa, a transmitância de luz na água diminui em todos os comprimentos de onda. Esta diminuição pode ser provocada pelo aumento do espalhamento não seletivo (espalhamento de Mie), devido à maior concentração das partículas em suspensão.

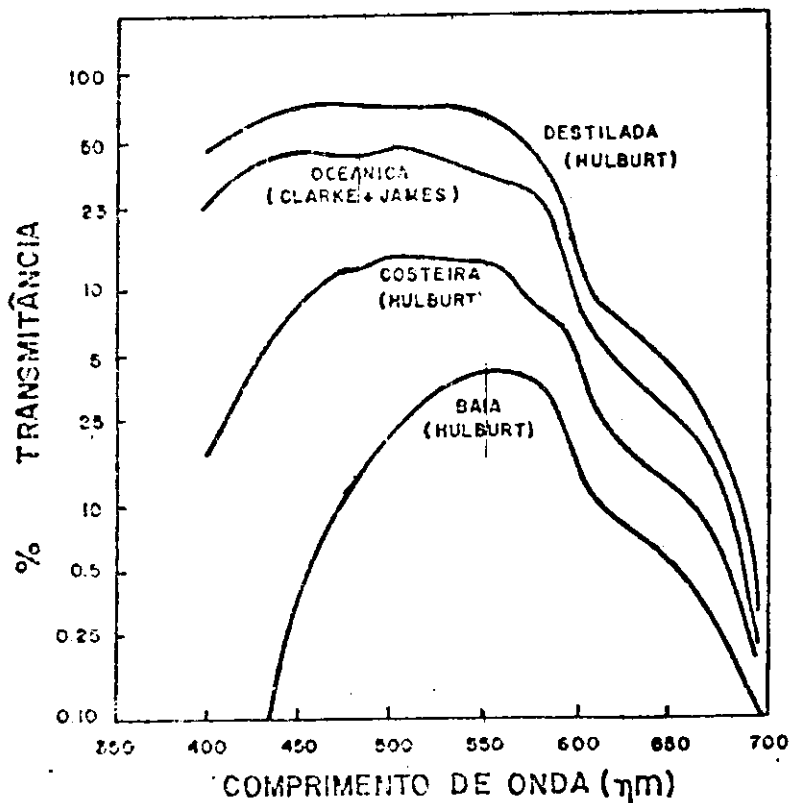


Figura III.5 - Transmitância espectral para diversos tipos de água.

FONTE: Specht et alii (1973)

Portanto, a água do mar, através dos seus mecanismos de absorção e espalhamento, atua como um filtro óptico para a energia radiante visível, atenuando fortemente os comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e ao azul. O máximo de transmissão de água oceânica clara coincide com a da água destilada, e ocorre nas proximidades do comprimento de onda de 0.48 μm . As águas de baía têm atenuação maior, e o seu máximo de transmissão é deslocado para 0.55 μm ou mais, devido, principalmente, à maior presença de produtos dissolvidos da decomposição de materiais orgânicos, e de partículas em suspensão.

III . 1.4 - Atenuação da água oceânica e costeira

Existe uma janela de transmissão da luz na água na região do azul-verde, com o máximo variando de um comprimento de onda igual à 0.48 μm para água destilada, até 0.55 μm , ou próximos dele (figura III.5), para águas com maior presença de partículas em suspensão. Além da mudança de cor da água, partículas em suspensão desviam os comprimentos de onda de máxima transmitância em direção a comprimentos de onda maiores.

A relação entre transmitância e coeficiente de atenuação pode ser derivada. O coeficiente de atenuação, ou coeficiente de extinção α , é definido, na equação, de acordo com a lei de Beer : (Slater, 1980)

$$I_z = I_0 e^{-\alpha z}$$

onde I_z é a intensidade de um feixe de luz, após penetrar uma distância z ; I_0 é a intensidade na superfície e z é a espessura da camada d'água.

A transmitância é definida como:

$$T = \frac{I_z}{I_0}$$

A tabela III.2 apresenta os comprimentos de onda de máxima transmitância para várias águas oceânicas e água pura.

TABELA III.2 - Comprimentos de onda de máxima transmitância para águas oceânicas e puras

VÁRIOS TIPOS DE ÁGUA	COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA TRANSMITÂNCIA (μ)	TRANSMITÂNCIA (%)	COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO TOTAL (α) (m^{-1})
Água pura	0.470	98.5	0.015
Água oceânica + clara	0.470	98.1	0.0192
Água oceânica média	0.475	89.0	0.1053
Água costeira + clara	0.500	88.6	0.1210
Água costeira média	0.550	72.4	0.3230
Água oceânica perto da costa média	0.600	68.8	0.3857

FONTE : Polcyn and Rollin (1969)

A figura III.6 compara os coeficientes de atenuação espectral para várias águas costeiras e água pura, com medidas tomadas em nove localizações geográficas diferentes, as quais estão indicadas na tabela III.3 e figura III.6 . Os coeficientes de atenuação mínima (máxima de transmitância da água do mar) das águas costeiras e oceânica média, desviam em direção a comprimentos de ondas mais longos. A curva da "costeira máxima" tem seu mínimo em 0.549 μm . Os coeficientes de atenuação média para água oceânica são 4 a 5 vezes maiores do que os da água pura. Como mostrado na figura III.6 , no intervalo de 0.46 a 0.60 μm , os coeficientes de atenuação mínima, média e máxima são respectivamente 16, 24 e 30 vezes maiores que os da água pura. As curvas de coeficiente de atenuação versus comprimentos de ondas das águas costeira mínima e costeira média ficam entre as curvas da costeira máxima e oceânica. A diferença na transmitância da água costeira é devida ao número de partículas em suspensão na água. As águas de baías e interiores geralmente tem coeficientes de atenuação maiores do que as costeiras, conforme mostrado na tabela III.3 .

**TABELA III.3 - Medidas de coeficiente de atenuação
de águas costeiras na região de
0.40 a 0.65 μm**

POSIÇÃO	PROFUNDI- DADE (m)	INTERVALO ESPECTRAL (μ)	PICO DE RESPOSTA (ν)	COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO (α) (m^{-1})
A. "Woods Hole Harbor" Lat. 41°33'N, Long. 70°40'W	20	0,4995-0,6000	0,54	0,30
B. "Off Grey Head" 41°10'N, 70°57'W	30	0,4995-0,6000	0,54	0,16
C. "Vineyard Sound" 41°30'N, 70°36'W	24	0,4995-0,6000	0,54	0,20
D. "Buzzards Bay" 41°33'N, 70°42.4'W	16	0,4995-0,6000	0,54	0,25
E. "Off George Bank" 40°48'N, 68°40'W	60	0,4995-0,6000	0,54	0,13
F. "Gulf of Maine" 42°08'N, 69°04'W	165	0,49-0,62	0,54	0,105
G. "Gulf of Maine" 42°08'N, 61°04'W	165	0,346-0,526	0,436	0,112
H. "Gulf of Panama"			0,440	0,453
I. Água costeira entre Madeira e Gibraltar			0,465	0,129

FONTE: Polcyn and Rollin (1969)

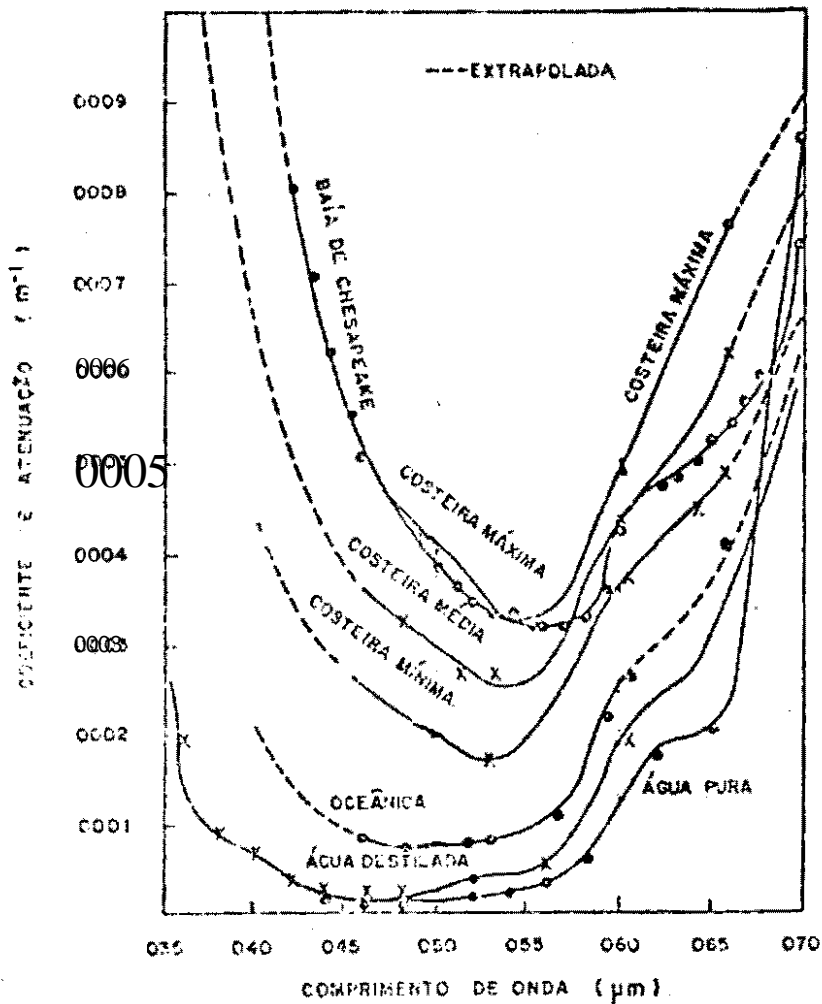


Figura III.6 - Curvas de atenuação de vários tipos de água do mar.
 FONTE: Polcyn and Rollin (1969)

III . 1.5 - Radiância recebida pelo satélite

Num dia sem nuvens, a irradiância do Sol (H_0) atinge a superfície da água, após passar pela atmosfera com uma transparência τ (alcance visual da atmosfera). A radiância resultante, na distância zenital do Sol θ (Scherz e Domelen, 1975) é :

$$L_{\theta}^* = \frac{H_0 \tau}{\cos \theta}$$

O símbolo ($*$) indica energia emergindo da interface água/ar, ou incidindo sobre ela, e ($**$) indica a energia que chega de volta ao espaço e atinge o satélite (figura III.7).

A radiancia G^M refletida pela interface ar-água abandona a superfície com um ângulo igual ao incidente e, pela geometria e a hora local do imageamento, geralmente não é registrada pelos detectores (reflexão especular).

Além da radiação direta do Sol, a água recebe a radiação espalhada pela atmosfera, denominada luz do atmosfera (skylight).

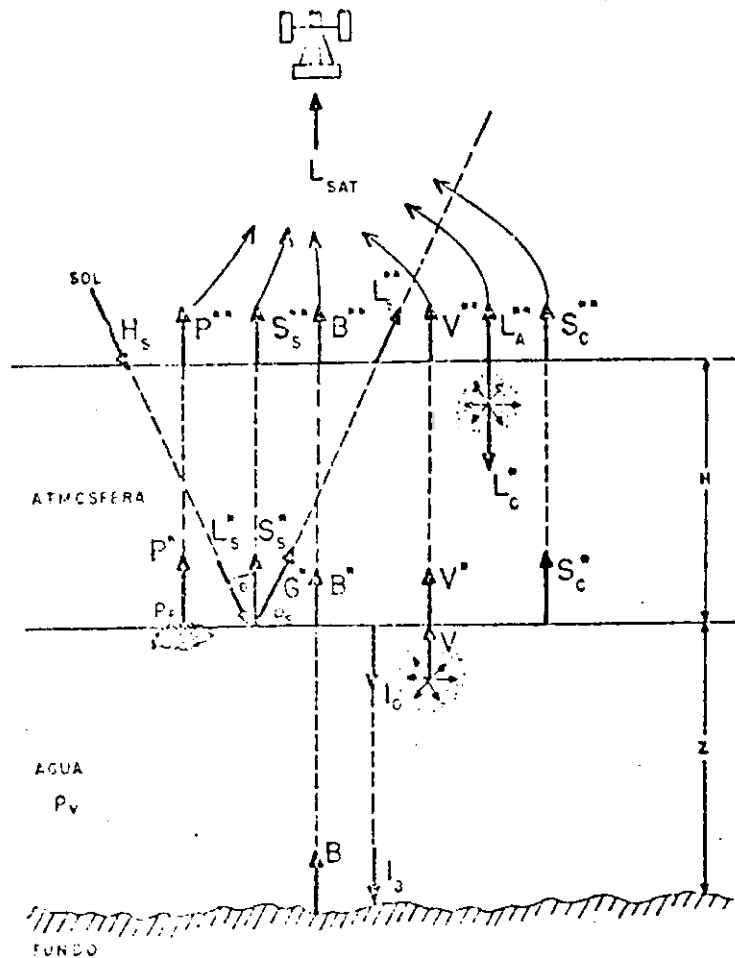


Figura III.7 - Interação da radiação solar com a atmosfera e com a água.
 FONTE: Scherz e Domelen (1975)

- L_{sat} - radiância recebida pelo sensor;
- H_{\bullet} - irradiância solar;
- L_A - radiância de retroespalhamento do atmosfera;
- L_{\bullet}^* - radiância do sol incidente na água;
- L_c^* - radiância do céu incidente na água;
- θ - ângulo zenital do sol;
- H_{\bullet}^* - irradiância da água devido à radiância do sol;
- H_c^* - irradiância da água devido à luz difusa da atm.;
- p^* - radiância de objetos flutuantes;
- V^* - radiância emergente retroespalhada pela água, devido ao espalhamento da luz dentro da água pelas partículas suspensas;
- S_{\bullet}^* - radiância da espuma e borrfifo do mar;
- S_c^* - radiância refletida pela superfície do mar;
- ρ - reflectância especular para a interface água-ar; em água calma e medida na vertical é igual a 0.02
- B^* - radiância emergente do fundo;
- G^* - reflexo especular do sol;
- I_o - energia radiante que consegue penetrar na água;
- I_b - energia radiante que atinge o fundo;
- ρ_v - reflectância do corpo de água;
- ρ_{\bullet} - reflectância da espuma e borrfifo do mar;
- ρ_p - reflectância dos materiais flutuantes;
- * - indica emergência da água;
- ** - indica emergência da atmosfera.

Segundo Scherz and Domelen (1975) a irradiância da atmosfera é:

$$H_c^* = L_c^* \Pi$$

sendo a irradiância total incidente igual a:

$$H_o^* = H_{\bullet}^* + H_c^*$$

A energia luminosa que passa a interface e penetra na água é (Slater, 1980):

$$I_0 = H_0 (0.98 - \rho_s)$$

A irradiância espectral do Sol H_0 pode ser obtida da tabela III.4, que contém os dados de Johnson (1954). Nela pode-se ver que a energia incidente do Sol é aproximadamente igual à de um corpo negro à temperatura de 6000 K. Nota-se que o ar tem uma transmitância que é função do comprimento de onda e da composição da atmosfera, e que este último fator varia com o tempo. Observa-se também que as reflectâncias da espuma do mar, da interface água/ar e do corpo de água constituem-se em variáveis adicionais. Finalmente, haverá uma somatória de efeitos consideráveis para cada comprimento de onda.

III.1.5.1 - PROPRIEDADES ESPECTRAIS DA ÁGUA E POLUENTES

Vários autores têm feito medições da reflectância espectral total da água, cuja fórmula é (Wezwenak et alii, 1976):

$$\rho_A = \rho_s \rho_v$$

sendo que ρ_A pode ser definido também como:

$$\rho_A = \frac{S_s^* + V^* + S_c^*}{L_s^* + L_c^*}$$

Wezwenak et alii (1976) compilaram todas estas medições feitas de barco e aeronave, aplicaram um modelo de transporte da radiação na atmosfera, e calcularam a radiância total que recebe o satélite a 900 Km de altitude. Esta radiância total é produto da soma da radiância inerente da água com a do retroespalhamento da atmosfera (figura III.7), onde:

$$L_{\text{sat}} = (V^{**} + S_c^{**} + S_s^{**}) + L_A^{**}$$

TABELA III.4 - Irradiância espectral do sol em Watts/m²/μm

(μm)	H _S	(μm)	H _S	(μm)	H _S
0,400	1,54	0,500	1,98	0,600	1,81
0,405	1,88	0,505	1,97	0,610	1,77
0,410	1,94	0,510	1,96	0,620	1,74
0,415	1,92	0,515	1,89	0,630	1,70
0,420	1,92	0,520	1,87	0,640	1,66
0,425	1,89	0,525	1,92	0,650	1,62
0,430	1,78	0,530	1,95	0,660	1,59
0,435	1,82	0,535	1,97	0,670	1,55
0,440	2,03	0,540	1,93	0,680	1,51
0,445	2,15	0,545	1,93	0,690	1,48
0,450	2,20	0,550	1,95	0,700	1,44
0,455	2,19	0,555	1,92	0,710	1,41
0,460	2,16	0,560	1,90	0,720	1,37
0,465	2,15	0,565	1,89	0,730	1,34
0,470	2,17	0,570	1,87	0,740	1,30
0,475	2,20	0,575	1,87	0,750	1,27
0,480	2,16	0,580	1,87	0,800	1,13
0,485	2,03	0,585	1,85	0,850	1,00
0,490	1,99	0,590	1,84	0,900	0,90
0,495	2,04	0,595	1,83	0,950	0,80
				1,000	0,73
				1,100	0,61

FONTE: Johnson (1954)

Como ilustração, construíram-se alguns gráficos (figuras III.8 e III.9), para as condições aproximadas que se encontram na Baía de Guanabara (elevação solar 35° e visibilidade de 16 Km). Em regiões tropicais, a visibilidade é normalmente baixa. No cálculo, leva-se em consideração que os arredores do alvo têm reflectância nula, a superfície refletora é de resposta lambertiana, e o ângulo de imageamento é zero (imagem vertical). Nos gráficos pode-se observar que é possível, nos comprimentos de onda do MSS, distinguir a presença de poluentes. Em comprimentos de onda menores que $0.5 \mu\text{m}$, a contribuição dos efeitos atmosféricos é tão forte que pode impedir a discriminação dos poluentes.

O cálculo despreza a contribuição do fundo (B^{**}), que neste caso, também não é importante, pois, no trabalho em questão usam-se dados de locais com o fundo a três metros da superfície. Também desprezam-se a influência dos sólidos flutuantes (P^{**}), uma vez que as medidas foram feitas na ausência de material flutuante. Na baía de Guanabara, por exemplo, existem regiões em que esta contribuição pode ser importante, dificultando o monitoramento das propriedades inerentes à água. As abundantes manchas de óleo encontradas na baía também podem ser consideradas da mesma maneira com que foram considerados os sólidos flutuantes.

A contribuição mais importante da radiação recebida pelo satélite deve-se a própria reflectância total da água: ρ_A (figura III.7). Nesta reflectância total, na Baía de Guanabara, ρ_s é pequena em relação a ρ_v , devido ao fato de existir pouca espuma gerada pela agitação superficial. Em mar aberto e em certas condições de agitação intensa, a contribuição de ρ_s pode ser importante e deve ser levada em conta (Scherz and Domelen, 1975)

A contribuição da radiação de retroespalhamento devido à interação da luz com os componentes da atmosfera, L_A , no caso da Baía de Guanabara, pode ser importante, pois trata-se de área tropical e industrializada. A alta umidade, a presença de grande quantidade de aerossóis naturais e artificiais, o pó e a fumaça decorrentes das atividades rurais fazem com que L_A varie muito ao

longo do ano e mesmo num dia. No inverno há menor índice de umidade atmosférica, além da presença de névoa durante algumas horas da manhã, com grandes possibilidades de acumulação de poluentes industriais. No verão, a poluição do ar pode ser menor, mas a umidade do ar é sempre mais alta.

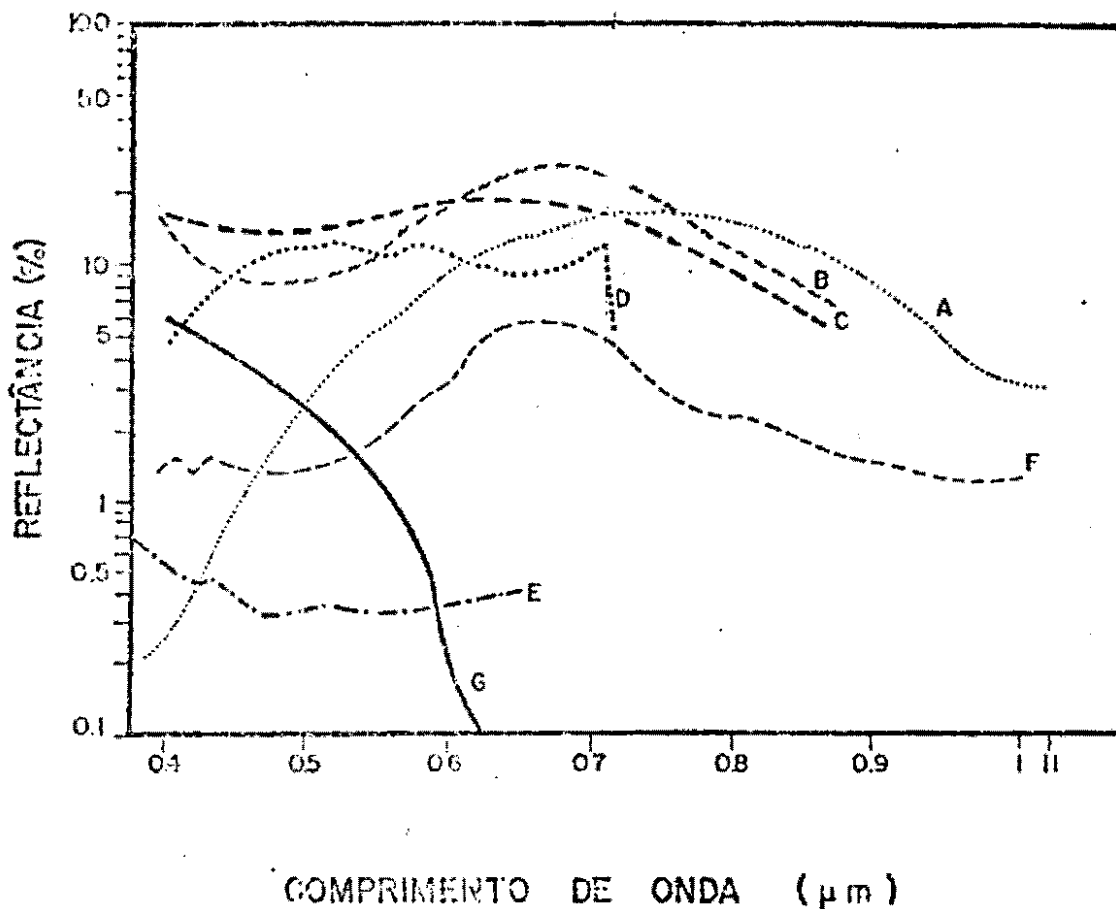


Fig. III.8 - Reflectância espectral medida em diversos tipos de efluentes industriais e esgotos domiciliares.

Fonte: Wozniak et alii (1976)

- A - efluente de fábrica de papel por sulfeto (8% de sólidos);
- B - efluente de siderúrgica;
- C - efluente de fábrica de produtos cloro-alcalinos;
- D - esgoto domiciliar;
- E - camada de óleo de menos de 10 μm de espessura;
- F - efluente de indústria de tanino;
- G - água clara do oceano.

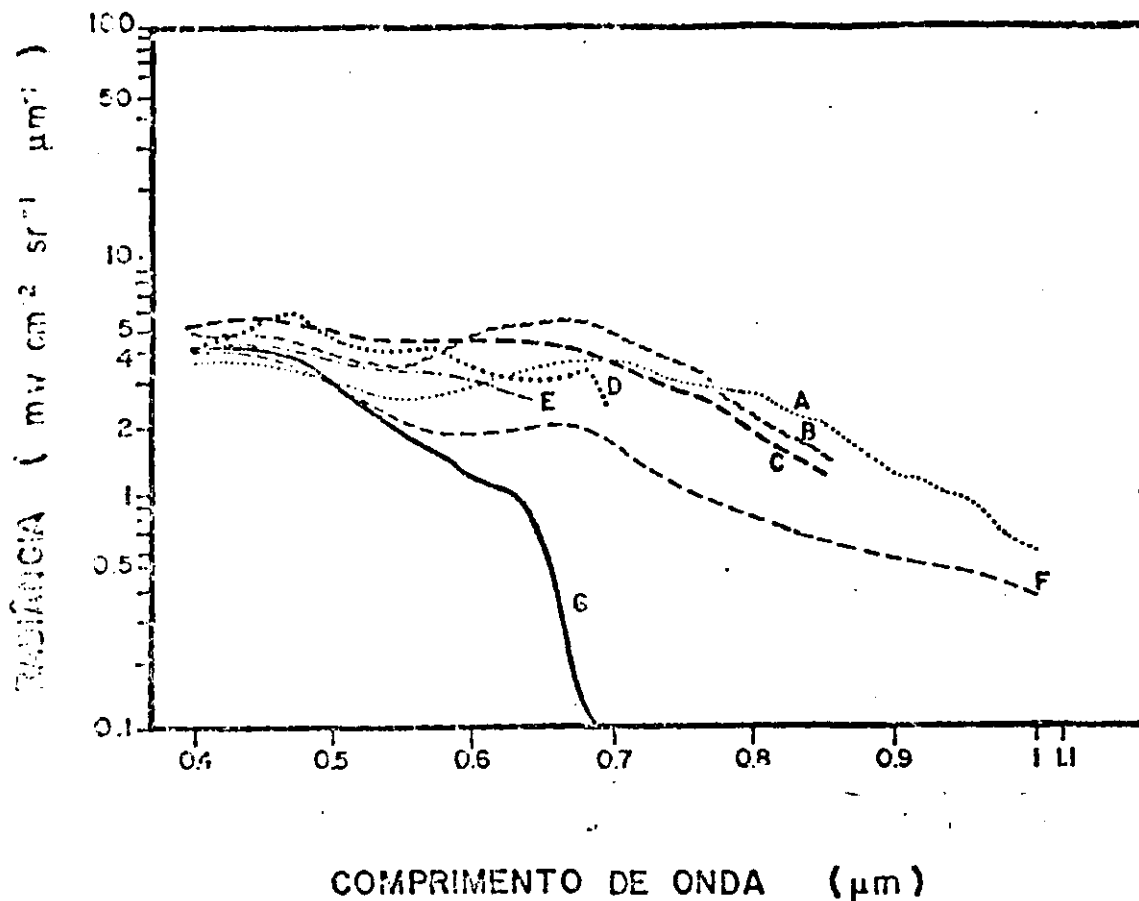


Fig. III.9 - Radiância espectral calculada com os dados da Figura III.8 e recebida pelo satélite a 900 km de altura.

FONTE: Wezernak et alii (1976)

Nas figuras III.8 e III.9 estão expressos os valores medidos para reflectância e calculados para a radiância recebida pelo satélite em águas oceânicas claras com sólidos em suspensão e águas poluídas. Pode-se observar que as radiâncias das águas poluídas têm sempre valores mais altos que as do oceano.

Neste ponto, é necessário chamar a atenção para o fato de que os dados de radiância foram calculados com medidas de reflectância total ρ_A , no ponto desejado, onde o teor em poluentes é grande (Wezwenak et alii, 1976). Também existem poluentes como a matéria orgânica de esgoto domiciliar que, ao chegar ao corpo de água receptor com salinidade maior, tendem a separar as partes mais leves e permitir a floculação de certas

frações e, em alguns casos, precipitar boa parte delas. Alguns poluentes industriais solúveis, ou pesados, embora muito nocivos, são de difícil percepção por não alterarem as características espectrais da água, ou por precipitar instantaneamente.

Os resultados de todas estas interações é que as curvas de reflectância espectral de diferentes tipos de água mostram diferentes formas, o que se observou na figura III.8 , em diferentes tipos de águas poluídas.

III.1.5.2 - EFEITOS E INTERAÇÕES

Até ser convertida em sinal eletrônico, a radiância emergente na água sofre inúmeros efeitos derivados de outros fatores; estes efeitos são descritos abaixo:

a) No item anterior já se explicou que o sinal proveniente da água e recebido pelo sensor do satélite é composto fundamentalmente do somatório da radiância refletida pelo alvo, proveniente da luz difusa da atmosfera, naquela direção (S_{θ}), da radiância proveniente do retroespalhamento da radiação solar pela atmosfera (L_A), da radiância proveniente do material flutuante na água, e da radiância emergente do interior do corpo d'água, produto do retroespalhamento da radiação solar que penetrou na água (V). Esta última radiância diz respeito à qualidade da água; portanto deve-se tentar eliminar os outros efeitos (todos os mencionados são aditivos, segundo *Kriegler et alii*, 1969).

b) Um outro efeito importante pode ser denominado ruído eletrônico, que se compõem de diversos sinais: ruído dos próprios sensores e do circuito da espaçonave (efeito predominantemente aditivo) e mudança nos ganhos dos amplificadores ou dos próprios detectores (efeito multiplicativo).

c) A iluminação da cena a ser imageada será variável ao longo do ano, devido às mudanças da elevação solar com as estações.

d) O valor da transmitância da atmosfera é importante, uma vez que varia muito devido à quantidade de aerossóis, à névoa, à variação da elevação solar, à variação da quantidade de umidade, etc. Estes efeitos podem variar de hora em hora e de local a local (efeito multiplicativo).

III . 2 - Mecanismos sedimentológicos

III . 2.1 - Introdução

Erosão e sedimentação por água numa bacia hidrográfica envolve três processos básicos : separação, transporte e deposição (Foster, 1982). A erosão é a separação e remoção das partículas de material através da ação dos agentes erosivos, ou seja, o impacto das gotas de chuva (figura III.10), o escoamento sobre a superfície do solo e os ventos, sendo tanto mais intensa a erosão quanto menor a cobertura vegetal. O transporte é a condução do sedimento a partir de seu lugar original até um local de assentamento. Nos terrenos planos as partículas desagregadas podem ser transportadas pelos ventos até as partes inclinadas dos terrenos e daí aos cursos ou lâminas d'água. A água em escoamento superficial transporta esses sedimentos formando as enxurradas que vão, no caso de erosão e transporte efetivos, até as calhas dos cursos d'água. Quando a energia do agente transportador não é suficiente para manter a fase sólida e líquida em escoamento o sedimento em movimento é separado e ocorre a sua deposição ; principalmente em reservatórios, planícies de inundação e estuários .

O próprio rio continua a desagregação das partículas em transporte, além de erodir principalmente suas margens e o fundo, podendo inclusive ocorrer o aumento do transporte sólido em percurso em função da disponibilidade crescente de sedimentos.

O solo erodido das zonas altas (Upland Areas) é a fonte mais importante dos sedimentos transportados pelos rios.

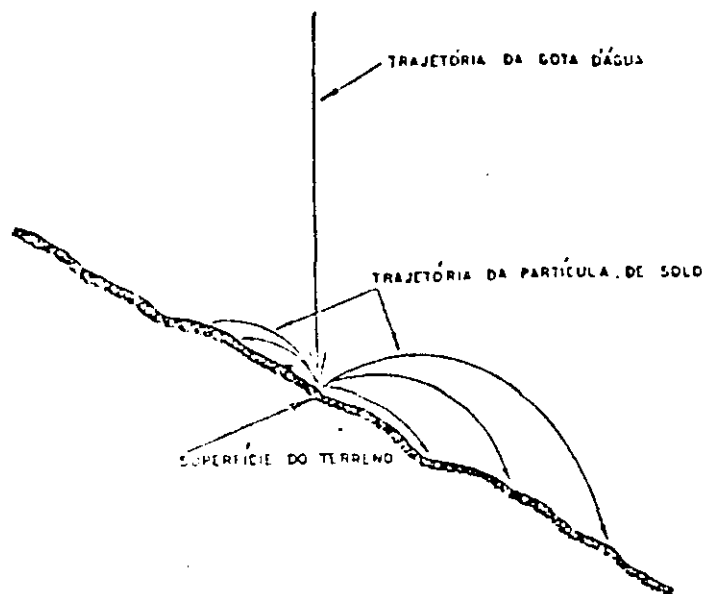


Figura III.10 - Transporte de partículas de solo por salpicos em terrenos inclinados.
FONTE: Carvalho (1982)

Enquanto a erosão é considerada, num primeiro momento, como problema do agricultor devido à redução da produtividade da lavoura, hoje são certamente reconhecidas suas implicações nos processos de transporte e deposição pelo escoamento. Os sedimentos modificam a qualidade da água e podem carregar poluentes químicos adsorvidos às partículas de solo. A deposição de sedimentos em canais de irrigação, reservatórios, rios, estuários, etc, podem diminuir suas capacidades de transporte e armazenamento (Foster, 1982).

A classificação de áreas de bacias sob o enfoque de fontes e sumidouros é útil para identificar e avaliar a extensão da erosão e sedimentação e para determinar as medidas de controle mais convenientes (Foster, 1982). As principais fontes de sedimentos são : terras agrícolas, sítios de construção, aterros e cortes na construção de estradas, áreas desmatadas, etc. A proveniência de sedimentos também pode ser identificada de acordo com o tipo de processo dominante de erosão, reconhecendo-se erosão laminar (sheet erosion), em pequenos canais (rill erosion), voçorocas (gully erosion), canais (stream erosion) ou

deslizamentos (landslide erosion).

Segundo Foster (1987) erosão laminar é a remoção de uma camada fina de partículas de solo; erosão em pequenos canais é entendido como a remoção do solo ou do substrato sólido que ocorre em depressões do terreno onde se nota convergência do escoamento , com formação de pequenos canais. Quando os pequenos canais não podem ser apagados pelas atividades comuns do agricultor, eles são chamados voçorocas. Erosão em canais é provocada pelo fluxo de água nos leitos e margens dos rios, e o deslizamento é o movimento de solo (Foster, 1987).

Os principais sumidouros de sedimentos incluem as zonas baixas de encostas côncavas, faixas de vegetação, planícies de inundação, reservatórios e estuários. A "perda" de sedimentos devido aos sumidouros diminui o transporte de material, o que implica que menos sedimentos abandonam a bacia em relação àqueles que foram inicialmente separados. Esta relação é definida pelo conceito de "proporção entrada-saída" (sediment delivery ratio) (ASCE, 1977).

III . 2.2 - Características dos sedimentos em estuários

Os sedimentos finos, coesivos, muito comum em estuários, consistem em uma mistura de argila, silte, areia fina e alguma matéria orgânica lançada nos corpos de água naturais. As propriedades dessa mistura devem, portanto, serem levados em conta em projetos de uso de água. O projeto de canais estáveis com material coesivo, o controle de bancos de areia em portos e a prevenção da erosão em zonas de estuários e costas, são exemplos típicos de casos onde a utilização dos recursos hídricos implica em estudos de erosão e depósito de sedimentos coesivos que inclusive podem se valer das técnicas propostas no presente trabalho.

Sedimentos coesivos são caracterizados por duas propriedades principais:

PLASTICIDADE

COESÃO

Ambas propriedades são devido a porção argilosa da mistura , com diâmetro médio da partícula $< 2 \mu\text{m}$.

Para materiais com tais dimensões as forças físico-químicas agindo entre as partículas tornam-se dominantes . Sob a influência dessas forças e sob as condições do meio ambiente presentes em estuários, rios e costas, estas partículas colidem ou se atraem devido as suas cargas elétricas; unindo-se e formando agregados, num processo conhecido como floculação, originando novas partículas com tamanho e velocidade de queda excedendo aqueles dos componentes individuais. Desta forma o floco, ao invés da partícula individual , torna-se um elemento do depósito, onde as mesmas forças físico-químicas, citadas anteriormente, fornecem a resistência principal à erosão. A taxa de desenvolvimento do floco é determinada pela concentração, propriedades físico-químicas do sistema sedimento - água e a intensidade de agitação , que depende principalmente das condições de escoamento. Existem também forças contrárias ao desenvolvimento do floco, como desagregamento por impacto de flocos, tensões cisalhantes na superfície do floco e nas proximidades do leito. Então, o tamanho e as velocidades de queda das partículas, dependem, além das propriedades físico-químicas da mistura sedimento-água, de parâmetros hidráulicos e da intensidade de energia transferida ao sistema (P.ex.: o vento).

Segundo *Partheniades* (1986) os flocos podem colidir entre si ou com outros componentes ou grãos e formar partículas maiores. Para simplificar considerar-se-ão somente três classes de partículas agregadas:

Floco primário - agregado com maior densidade.

Floco agregado - união de flocos.

Rede de agregados - combinação de flocos agregados

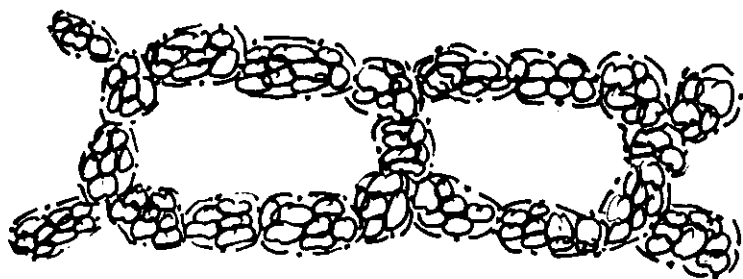


Figura III.11 - Desenho esquemático do sedimento coesivo.

As tensões cisalhantes e a presença de outros agregados maiores (formados a partir das partículas) são importantes na determinação da origem, grau e taxas de erosão, depósito e ressuspensão, que dependem da magnitude dos vínculos entre as partículas que, por sua vez, são funções da mineralogia da argila e dos componentes químicos da água, determinada pela duração e intensidade dos processos de mistura. A equação da taxa de cisalhamento para um fluxo laminar entre dois cilindros concêntricos é (Krone, 1962):

$$\tau \cdot r = \frac{16 \Delta r}{3\pi} \tau_{max}$$

Onde :

$\tau = \mu(du/dy)$: é tensão cisalhante em um fluxo uniforme.

r : é o raio do floco ou agregado.

Δr : é raio da área de contato durante a colisão.

τ_{max} : tensão cisalhante do floco ou agregado.

Logo, os flocos com uma tensão

$$\tau_{max} \geq \frac{3\pi\tau}{16\Delta r}$$

atingem o leito e desenvolvem ligações permanentes, caso contrário eles serão quebrados e reincorporando no escoamento principal através da turbulência (Partheniades, 1986).

Em adição às condições hidráulicas e as propriedades físico-químicas e mineralógicas da argila, os seguintes fatores podem ainda, afetar a floculação :

- a) Concentração de Sedimentos Suspensos - afeta a frequência de colisão das partículas suspensas .
- b) Salinidade - afeta a densidade da água.
- c) pH - afeta a eletronegatividade de partículas coloidais.
- d) Temperatura - eleva a floculação e depósito .
- e) Matéria orgânica dissolvida .
- f) Minerais dissolvidos - podem afetar a densidade da água.

III . 2.3 - Um modelo da interação entre o escoamento, sedimento em suspensão e o leito

Um modelo resumido do comportamento de sedimentos coesivos foi desenvolvido por *Partheniades* (1977) que descreve a interação hidrodinâmica entre o floco em suspensão e o leito. Este modelo é uma aproximação do modelo de Einstein (1950) para sedimentos em suspensão, mas introduziu-se , em adição ao peso relativo da partícula do sedimento, as interações físico-químicas entre as partículas e/ou flocos.

Atrito e embriquamento podem ser incorporados ao peso das partículas (W_b) e/ou flocos através de um coeficiente adimensional β , maior que a unidade. As ligações físico-químicas podem ser representadas por uma força de atração F_a , entre as partículas e o leito . A força total atuante é $\beta.W_b + F_a$. Se L é a força hidrodinâmica de sustentação instantânea do floco próximo do leito , a condição de depósito torna-se :

$$\frac{W_b}{L} \geq 1$$

Enquanto , a condição para ressuspensão do floco é :

$$\frac{\beta \cdot W_b + F_a}{L} \leq 1$$

Einstein (1950) com base em dados experimentais assumiu a seguinte lei estocástica de variação para L :

$$L = \bar{L} (1 + \eta)$$

Onde :

\bar{L} : valor médio de L.

η : variável randômica adimensional com média zero e desvio-padrão η_0 .

A probabilidade de erosão , P_e , torna-se :

$$P_e = \Pr \left[\frac{\beta \cdot W_b + F_a}{\bar{L}} - 1 \leq \eta \right] = 1 - \Pr \left[\eta \leq \frac{\beta \cdot W_b + F_a}{\bar{L}} - 1 \right]$$

enquanto a probabilidade de depósito , P_d , torna-se :

$$P_d = \Pr \left[\eta \leq \frac{W_b}{L} - 1 \right]$$

Das equações acima conclui-se que :

1) Se $W_b < L < \beta \cdot W_b + F_a$: Nem erosão ou depósito ocorrem.

2) Se $L < W_b$: Somente depósito ocorre .

3) Se $L > \beta \cdot W_b + F_a$: Somente erosão ocorre

Assumindo que L é limitado por uma fronteira superior L_u , e uma fronteira inferior L_l . Colocando $L_d = W_b$ e $L_e = \beta \cdot W_b + F_a$, a magnitude relativa dos intervalos $L_e - L_d$ e $L_u - L_l$ e a locação relativa dos pontos L_l , L_d , L_u e L_l determina o tipo de processo de sedimentação.

Considere-se a primeira situação onde $L_e - L_d > L_u - L_l$ que especificamente adapta-se aos sedimentos coesivos. Para F_a tornar-se muito maior que W_b é necessário que β consiga o máximo valor devido a forma irregular das partículas de argila ou flocos. O intervalo entre $L_e - L_d$ não pode estender-se entre $L_u - L_l$, isto é, L não pode atingir valores menores que W_b e maiores que $\beta \cdot W_b + F_a$. Neste situação nem erosão ou depósito é possível. Os seguintes casos podem acontecer :

1) $L_u > L_e$. Neste caso erosão pode ocorrer mas não depósito desde que L possa atingir valores maiores que L_e mas nunca menores que L_d .

2) $L_d < L_l < L_u < L_e$. Neste caso , já explicado , nem erosão ou depósito podem ocorrer. O sedimento é simplesmente transportado através do canal.

3) $L_l < L_d$ e $L_u < L_e$. Somente depósito pode ocorrer desde que as forças de sustentação sejam suficientemente baixas para depósito mas não suficientemente altas para erosão .

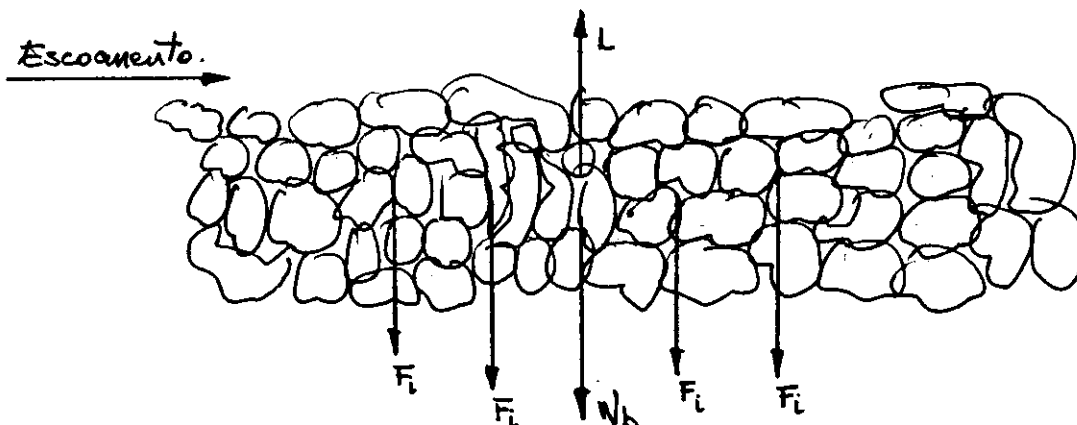


Figura III.12 - Forças devido a fricção, enbricamento e atração físico-química.

III . 2.4 - Mecanismos sedimentológicos em estuários

Chama-se de acordo com Foster (1987) de processos sedimentológicos a colocação em movimento de grãos de sedimento, o transporte e a cessação deste. O fato da maior parte de um dado estuário se encontrar abrigada da ação das ondas e a circunstância de em geral os estuários constituírem o trecho final de um rio, propiciam a presença de sedimentos muito finos, coesivos, silte e argila, que em geral não intervêm nos processos litorâneos. Tais sedimentos não são transportados por arraste mas somente em

suspensão, as maiores concentrações ocorrendo perto do fundo, e a cessação do transporte significa deposição no fundo.

Os processos morfológicos consistem nas alterações das características geométricas em planta e em perfil ou em seção transversal dos estuários, em consequência de rupturas no equilíbrio dinâmico do transporte de sedimentos. Um curso d'água em se trecho aluvial tem, em geral, quatro graus de liberdade: pode variar de largura, de profundidade, de declividade e de forma em planta. Nos estuários as declividades longitudinais do fundo são muito pequenas, podendo até serem nulas, e uma variação muito comum em planta se dá com as posições e as dimensões dos bancos.

São diversas as fontes de sedimentos que vão ter aos estuários. Podem provir da extremidade de montante, trazidos pelas vazões fluviais e resultante da erosão das bacias contribuintes ou dos próprios leitos fluviais. Podem penetrar pelas extremidades marítimas, trazidos pelas correntes de maré e de densidade ou até por ondas que entrem no estuário, e provir de transporte litorâneo ou da erosão da plataforma continental. Podem provir da erosão eólica e hidráulica de dunas ou de bancos que a maré cubra e descubra. Podem provir de despejos sólidos de origem industrial ou doméstica ou do retorno de materiais dragados. Podem provir até da decomposição ou dejetos de organismos vivos, marinhos ou fluviais.

III . 2.5 - Diferenças entre os mecanismos geradores da morfologia dos rios e dos estuários

O que distingue os estuários de qualquer outro sistema natural é a presença e a interação de vários mecanismos físicos dos quais os essenciais são os seguintes:

a) propagação da maré, decorrente da geometria do estuário e da maré na embocadura;

b) o aparecimento de gradientes longitudinais, verticais e eventualmente transversais de salinidade, em consequência dos efeitos de forças de gravidade devidas às

diferenças de densidade entre a água salgada, que penetra do mar, e a água doce, proveniente de montante;

c) o escoamento, com sentido resultante para a embocadura, das contribuições líquidas de montante;

d) as forças de Coriolis e centrífugas, induzindo correntes secundárias, devido respectivamente à rotação da Terra e à curvatura dos canais naturais;

e) a entrada de contribuições sólidas, que se pode fazer tanto pela embocadura (a extremidade externa) quanto pela extremidade interna, e os processos de transporte dos sedimentos, dentro do estuário, pelas correntes de maré e pela circulação provocada pelos gradientes de densidade.

Um conceito muito útil para os problemas de morfologia fluvial é o de "equilíbrio dinâmico" ou de "regime". Tal conceito estabelece que, um rio em terreno aluvial, sujeito unicamente a escoamentos unidirecionais, existe uma relação unívoca entre as variáveis independentes - a vazão líquida e sólida na extremidade de montante do estirão considerado - e as variáveis dependentes - a largura, a profundidade e a declividade - do estirão. Se as variáveis independentes se alteram por causas naturais ou artificiais, as variáveis dependentes também se modificam, no sentido de estabelecer nova situação de equilíbrio. Tal conceito foi estabelecido inicialmente para canais de irrigação que funcionavam a vazão constante. Posteriormente, foi generalizado para os rios sujeitos a regime de vazões variáveis ao longo do ano e comportando um quarto grau de liberdade: o de modificações em planta (*Blench, 1957*).

No caso dos rios, as variações sazonais das variáveis independentes acarretam flutuações das variáveis dependentes em torno de uma situação de equilíbrio médio anual, que se pode considerar como determinada por uma "vazão geradora do leito" (*dominant discharge*) (*Blench, 1957*). A figura III.13 apresenta o conceito de regime para um canal fluvial.

Nos estuários a amplitude da maré na embocadura varia continuamente entre máximos nas sizíguas e mínimos nas

quadraturas, no caso mais geral, e as vazões fluviais, na extremidade de montante, variam com as estações do ano. Entretanto, de acordo com *Mc Dowell et alii*, (1977) é possível generalizar o conceito "de regime" para os estuários, admitindo que haja também condições "dominantes" para a geração de sua morfologia. Tais "condições dominantes" consistem em marés de sizígia média na embocadura ou na combinação de tais marés com vazões fluviais de montante, no caso destas serem consideráveis, conforme ocorre frequentemente no Brasil.

Entretanto, existe uma diferença muito importante entre o mecanismo gerador da morfologia dos rios e a dos estuários. Nos rios as vazões líquidas e sólidas, variáveis independentes, são praticamente impostas pela bacia contribuinte e sua relação de causalidade, com as variáveis dependentes, é de sentido único. Nos estuários, há um retorno entre as variáveis dependentes e as independentes, aquelas podendo também atuar sobre estas. Com efeito, nos estuários sujeitos a maré, a primeira variável independente a considerar é o mecanismo de propagação de maré. Em terreno aluvial, onde não haja controles naturais de paredes fixas, como formações rochosas, e supondo pequenas as contribuições de montante, é uma dada amplitude de maré na embocadura que gera a geometria do estuário. Todavia, caso alterar-se artificialmente, de maneira extensa, a geometria do estuário, por alargamento e aprofundamento ou constrictões do leito modificar-se-á o mecanismo de propagação da maré, ao longo do estuário, ainda que a amplitude da maré externa permaneça constante.

As formas em planta e em perfil do estuário, bem como a distribuição e a textura dos depósitos, a natureza e a quantidade de sedimentos em trânsito, tanto por arraste quanto em suspensão, decorrem de uma interação complexa em que um conjunto de variáveis é representado por :

- a) a maré na foz (amplitude e andamento no tempo);
- b) o mecanismo de propagação de maré (amplitude e

andamento no tempo ao longo do estuário);

c) contribuições líquidas e sólidas de montante;

d) a quantidade e a qualidade de matéria sólida introduzida do mar para dentro do estuário por correntes de maré ou de densidade e eventual penetração de ondas;

e) a granulometria e a densidade dos sedimentos de origem continental.

O outro conjunto de variáveis engloba :

a) as profundidades, larguras e declividades dos canais naturais;

b) as dimensões e posições dos bancos;

c) os gradientes longitudinais e verticais de salinidades decorrentes do encontro da água salgada do oceano com água doce de origem continental;

d) a textura granulométrica dos depósitos.

Funções desconhecidas (e provavelmente diferentes para cada estuário) ligam todas estas grandezas entre si. Se houver alteração de uma das grandezas dependentes, sem que mudem as variáveis independentes, a grandeza alterada volta a seu valor de equilíbrio. Se houver modificação de uma variável independente, as grandezas dependentes assumem novos valores correspondentes à nova situação de equilíbrio. A variável "independente" principal - o mecanismo de propagação de maré - pode ser afetada por qualquer alteração natural ou artificial na geometria do estuário. Esta modificação pode agir, quer sobre a celeridade de propagação da maré, quer sobre a defasagem entre a variação de níveis e a variação de velocidades, quer sobre a perda de carga no escoamento de maré, quer diretamente sobre o volume do prisma a ser enchido e esvaziado.

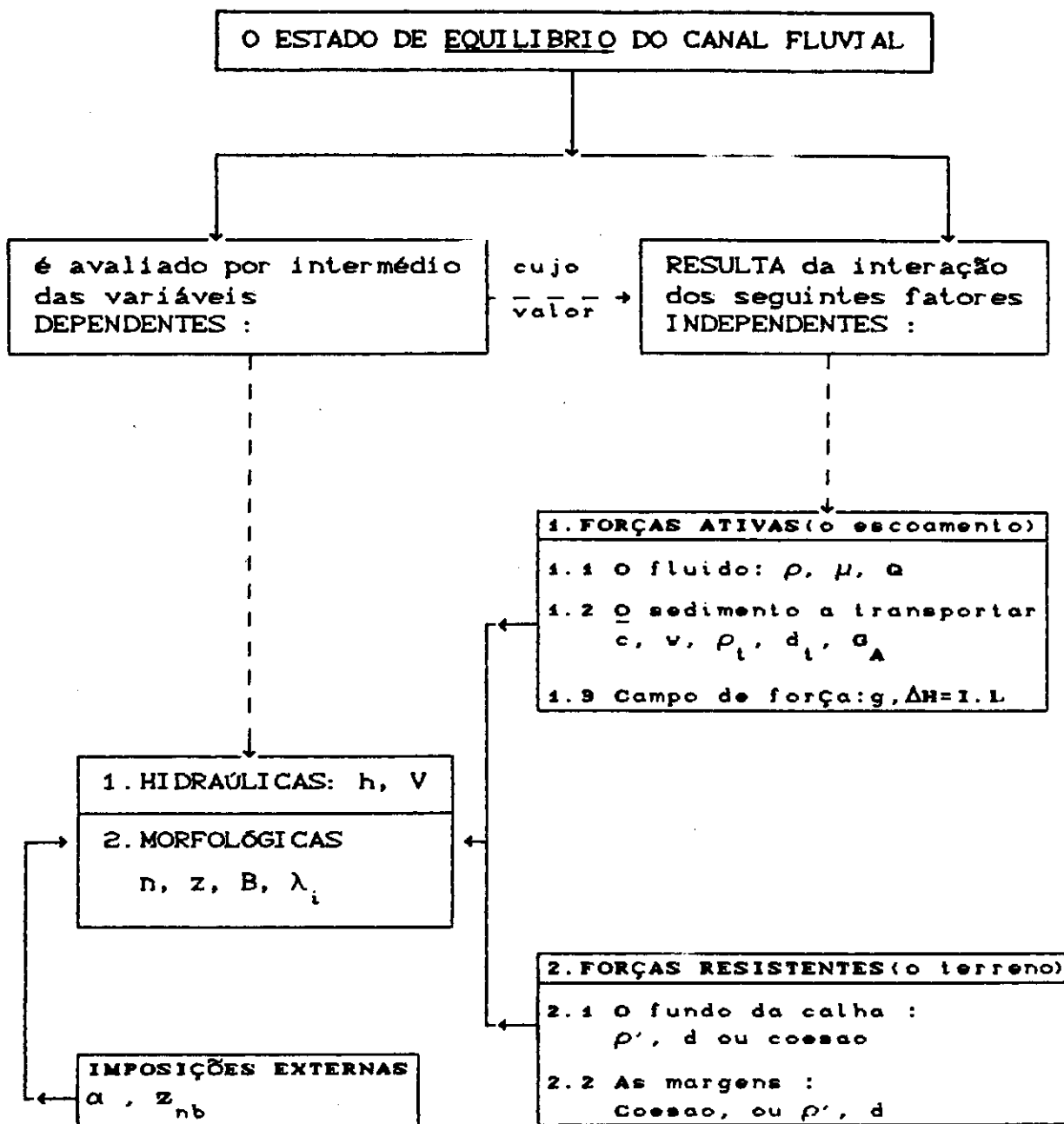


Figura III.13 - Conceito de "Equilíbrio"

FONTE : Bordas (1989)

onde:

- h : profundidade média do escoamento,
- V : velocidade média,
- n : coeficiente de perda de energia,
- z : cota do fundo,
- B : largura da calha no espelho,
- λ_i : desvio de alinhamento em relação à linha de maior declividade,
- z_{nb} : cota de um nível de base,
- L : comprimento do trecho em estudo,
- ρ' : massa específica do material não coesivo da calha,
- d : diâmetro característico do material não coesivo da calha,
- ρ : massa específica da água,
- μ : viscosidade dinâmica da água,
- Q : vazão líquida,
- \bar{c} : concentração média da suspensão,
- w : velocidade de decantação do material em suspensão,
- G_A : descarga sólida de abastecimento por arraste,
- ρ_i : massa específica do sedimento de transporte por arraste na entrada do trecho (normalmente $\rho_i = \rho'$),
- d_i : diâmetro característico do material transportado por arraste na entrada (normalmente $d_i = d$),
- g : aceleração da gravidade,
- ΔH : energia disponível no trecho de canal considerado
 $\Delta H = IxL$,
- I : declividade média da linha de energia ao longo do trecho estudado.

Então, em vez da casualidade "unidirecional" dos rios, tem-se um "retorno" em que a variável a princípio "dependente" pode modificar a variável "independente" e esta, por sua vez, impor novo valor à variável "dependente".

Foi graças a tal fato que se conseguiu aprofundar consideravelmente o acesso a muitos portos no interior de

estuários, sem incorrer em aumentos insuportáveis dos volumes anuais de dragagem de manutenção. Em outras palavras, as profundidades "de equilíbrio" podem ser aumentadas, com a modificação apropriada da geometria do estuário.

Em resumo, há uma interação contínua entre os diversos processos que influenciam o movimento da água, do sal e dos sedimentos, particularmente os transportados em suspensão, em um estuário. A intensidade e a rapidez de tais interações variam consideravelmente e muitas vezes são de natureza unilateral.

III . 2.6 - Efeitos da circulação estuarina no transporte de sedimentos

De acordo com *Mc Dowell et alii* (1977) chama-se de circulação estuarina a circulação provocada por forças de gravidade resultantes dos gradientes longitudinais e verticais de salinidade. Tais gradientes são provocados pelo encontro da água salgada com água doce.

É evidente que nos estuários, enquanto se encontram totalmente estratificados, a cunha salina funciona como uma verdadeira rolha hidráulica, impedindo que sedimentos provenientes do mar penetrem no estuário além da extremidade da cunha e ao mesmo tempo impossibilitando que sedimentos de origem continental avancem para fora daquela mesma extremidade. Com efeito, em virtude da circulação existente dentro da cunha salina, com velocidades dirigidas para dentro do estuário ao longo do fundo, e para fora ao longo da interface, a extremidade da cunha salina constitui uma fonte de acumulação para sedimentos de origem tanto marinha quanto continental. Imediatamente a montante daquela extremidade o sentido do escoamento e portanto também do transporte de sedimentos perto do fundo se dirige para fora do estuário. Imediatamente a jusante do mesmo ponto o escoamento e o transporte de sedimentos próximos do fundo se dirigem para dentro do estuário.

Entretanto, também nos estuários parcialmente misturados e até nos totalmente misturados, a circulação estuarina desempenha grande papel no transporte de sedimentos, particularmente em suspensão.

Segundo *Mc Dowell et alii* (1977) para uma dada seção transversal de estuário e considerando a duração completa de um ciclo de maré, pode-se escrever a seguinte equação de continuidade:

$$V_v = V_e + \int_t^{t+T} Q_f dt$$

onde :

V_v - é o volume total da água que atravessa a seção durante a vazante;

V_e - é o volume total que atravessa a seção durante a enchente - é o volume do prisma de maré para montante da seção considerada;

Q_f - é a vazão fluvial, de água doce, na extremidade interna do estuário;

T - é o período da maré, 12h 25min para maré semi-diurna.

Entretanto, tal equação se aplica à seção transversal considerada como um todo. Em consequência da circulação estuarina, em estuário total ou parcialmente misturado, há uma parte da seção transversal - a parte mais profunda - em que entra mais água na enchente do que sai na vazante. Na outra parte da seção - mais próxima da superfície - sai mais água na vazante do que entra na enchente; a rigor, perto da superfície, a diferença entre a quantidade de água que sai na vazante é também maior do que a quantidade de água doce que entra pela extremidade interna do estuário, pois a esta quantidade de água doce se soma aquela quantidade de água salgada que entrou pelo fundo, diminuiu de salinidade e portanto de densidade, e em consequência subiu para a camada superior e por esta sai do estuário para o mar.

A presença de uma circulação estuarina faz com que as velocidades médias, ao longo de ciclos completos de maré e em pontos fixos em relação à geometria do estuário, em geral não sejam nulas. Isto é, tem-se em geral :

$$V_m = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} V dt = 0$$

onde :

T - é o período da maré, igual a 12h 25min para uma maré semi-diurna.

Abaixo de certa distância ao fundo, estas velocidades médias ou residuais são dirigidas para dentro do estuário, desde que se esteja na região de intrusão salina. Acima daquela distância as velocidades médias ou residuais são dirigidas para fora. O ponto no fundo, em que a velocidade residual é nula, é um ponto nodal no estuário (*nulldrift point*) para a maré na embocadura e o deflúvio de água doce durante o ciclo completo de maré, que estiverem em consideração. Para amplitude de maré constante na embocadura, o ponto nodal deslocar-se-á para dentro do estuário, se o deflúvio de água doce diminuir, e se deslocará em direção à embocadura, se aquele deflúvio aumentar. Caso o deflúvio de água doce durante o ciclo completo de maré permanecer constante, o aumento da amplitude de maré na embocadura tenderá a fazer avançar o ponto nodal para dentro do estuário e a diminuição da amplitude da maré na embocadura tenderá a aproximar desta o ponto nodal.

Em um estuário real, as amplitudes da maré na embocadura variam, ao longo do mês lunar, entre sizígias e quadraturas e as vazões fluviais na extremidade interna variam pelo menos com as estações do ano, entre cheia e estiagens. Em geral, portanto, o ponto nodal se deslocará dentro de um certo trecho do estuário, isto é, sua posição variará dentro de uma certa distância à embocadura.

O ponto nodal é, por conseguinte, um ponto de acumulação de sedimentos que entram no estuário e são transportados perto do fundo, sejam os mesmos de origem marinha ou continental. Dentre os estuários cujos os sedimentos são bem finos (areia muito fina, silt e argila) existem alguns cujos pontos nodais se situam muito para dentro e não controlam realmente os processos de deposição que neles se desenrolam. Em geral, um estuário no qual a zona, em que se desloca o ponto nodal, se situa em trecho aprofundado por dragagem, é naquela zona que se concentram os maiores gastos com dragagem de manutenção.

Na prática, em vez de calcular as velocidades residuais acima definidas, pode ser mais cómodo trabalhar com um "parâmetro de dominância dos escoamentos de vazante" definido por

$$\frac{V_z}{E + V_z} \quad \text{em: porcentagem}$$

onde :

V_z - é a área correspondente à fase de vazante em gráfico de velocidade para ponto fixo em relação à geometria do estuário, durante o ciclo completo de maré;

E - é a área correspondente à fase de enchente no mesmo gráfico.

Um valor de 50%, para o parâmetro em questão, indica que no ponto considerado, para determinada combinação de amplitude de maré na embocadura com deflúvio de água doce, entra durante a enchente o mesmo volume de água que sai na vazante. Valor superior a 50% revela dominância da vazante - sai mais água na vazante do que entra na enchente. É o que acontece perto da superfície em estuário total ou parcialmente misturado. Valor inferior a 50% significa dominância de enchente - entra mais água na enchente do que sai na vazante. É o que se constata nos pontos próximos do fundo em estuário total ou parcialmente misturados.

Gráficos traduzindo a variação dos valores de tal parâmetro na vertical e ao longo do estuário, no fundo e na superfície, permitem caracterizar a circulação estuarina e o sistema geral de transporte em suspensão.

Cabe assinalar que, para que os valores daquele parâmetro sejam realmente elucidativos, devem verificar-se as seguintes condições:

a) que não haja variação do nível médio durante o ciclo de maré;

b) que o nível final do ciclo seja igual ao inicial; este método de análise da circulação estuarina funciona bem em local sujeito a maré diurna, mas, em local de maré com desigualdades diurnas, as medições de correntes, com base nas quais se traçam as curvas de velocidade no ponto considerado, devem estender-se por um dia lunar completo, ou sejam 24h 50min solares médios.

III . 3 - Medição de sedimentos

Existem duas categorias fundamentais, direta e indireta, em que os sedimentos em escoamento que podem ser medidos. Os métodos diretos envolvem a coleta de amostra(s) da mistura água+sedimento e análise (usualmente em laboratório) para determinar características de interesse (concentração, granulometria, análise química e biológica, etc). São considerados métodos indiretos aqueles que não exigem a coleta de amostra(s) para obtenção da informação (P. ex.: turbidímetro , sensoriamento remoto, etc).

III . 3.1 - Medição direta

Vimos que são diversos os fenômenos que intervêm no transporte. A ação humana é um fenômeno modificador das condições normais. As construções de estradas, obras de terraplanagem em geral , terrenos descobertos para agricultura, desmatamentos para

aproveitamento econômico das florestas, construções de obras fluviais, etc., permitem a maior desagregação dos sólidos e o maior transporte.

O transporte sólido vem a ser, portanto, um fenômeno totalmente distinto; areia, lama e água se misturam em um constante processo de arranque, transporte e deposição. Conforme a dimensão da partícula, o seu peso e as condições de escoamento, o transporte pode ser em suspensão, por arrasto ou por saltos.

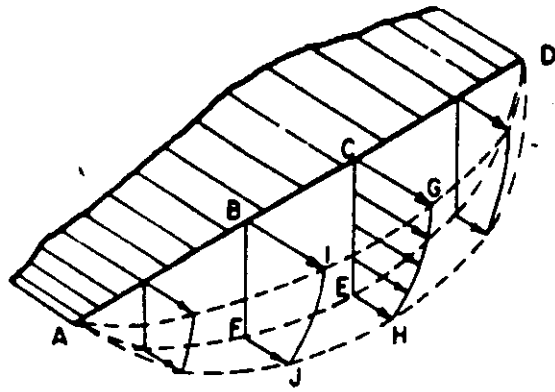
O transporte do sedimento depende fundamentalmente da velocidade da corrente - a aceleração causará a erosão e um maior transporte; a diminuição da velocidade provocará a sedimentação. (figura III.14)

Os cursos d'água, então, não mais seriam considerados correntes líquidas, mas sim correntes de materiais solúveis e insolúveis, transportados em suspensão ou rolados ao longo de seus leitos.

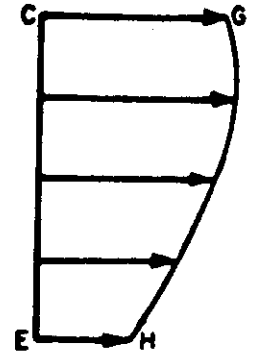
A distribuição das partículas na massa líquida não é uniforme. Geralmente aumenta a concentração da superfície para o leito, considerando uma mistura de areias, siltes e argilas. A figura III.15 ilustra essa distribuição para diversas granulometrias.

A tabela III.5 apresenta as modalidades do transporte sólido e suas principais características.

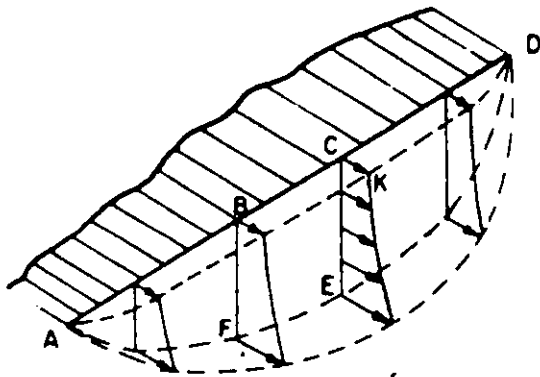
Amostragem do sedimento pode ser por integração ou pontual. No processo por integração o amostrador percorrerá uma vertical numa ida e volta até o leito numa mesma velocidade. É feito de tal forma que a garrafa de 0.5 litros fica quase cheia (400 cm³). Para profundidades até 5.5 m é possível o uso de uma só garrafa com o mesmo amostrador no processo por integração. Acima dessa profundidade usa-se integrar com amostradores tipo pontual em cada 5m até atingir a profundidade total.



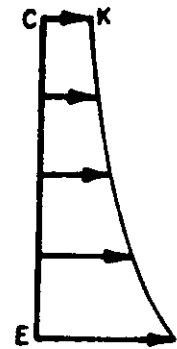
a VELOCIDADE



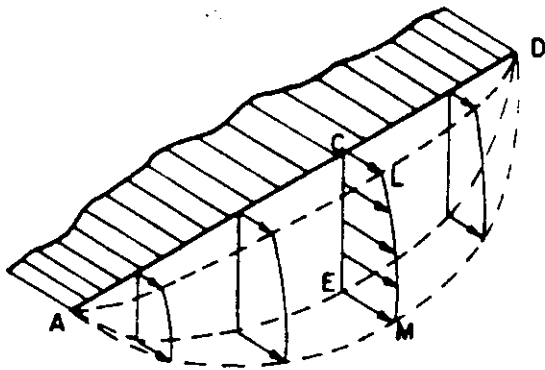
d



b SEDIMENTO EM SUSPENSÃO



e



c DESCARGA DE SEDIMENTOS EM RIOS

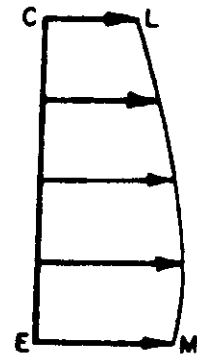
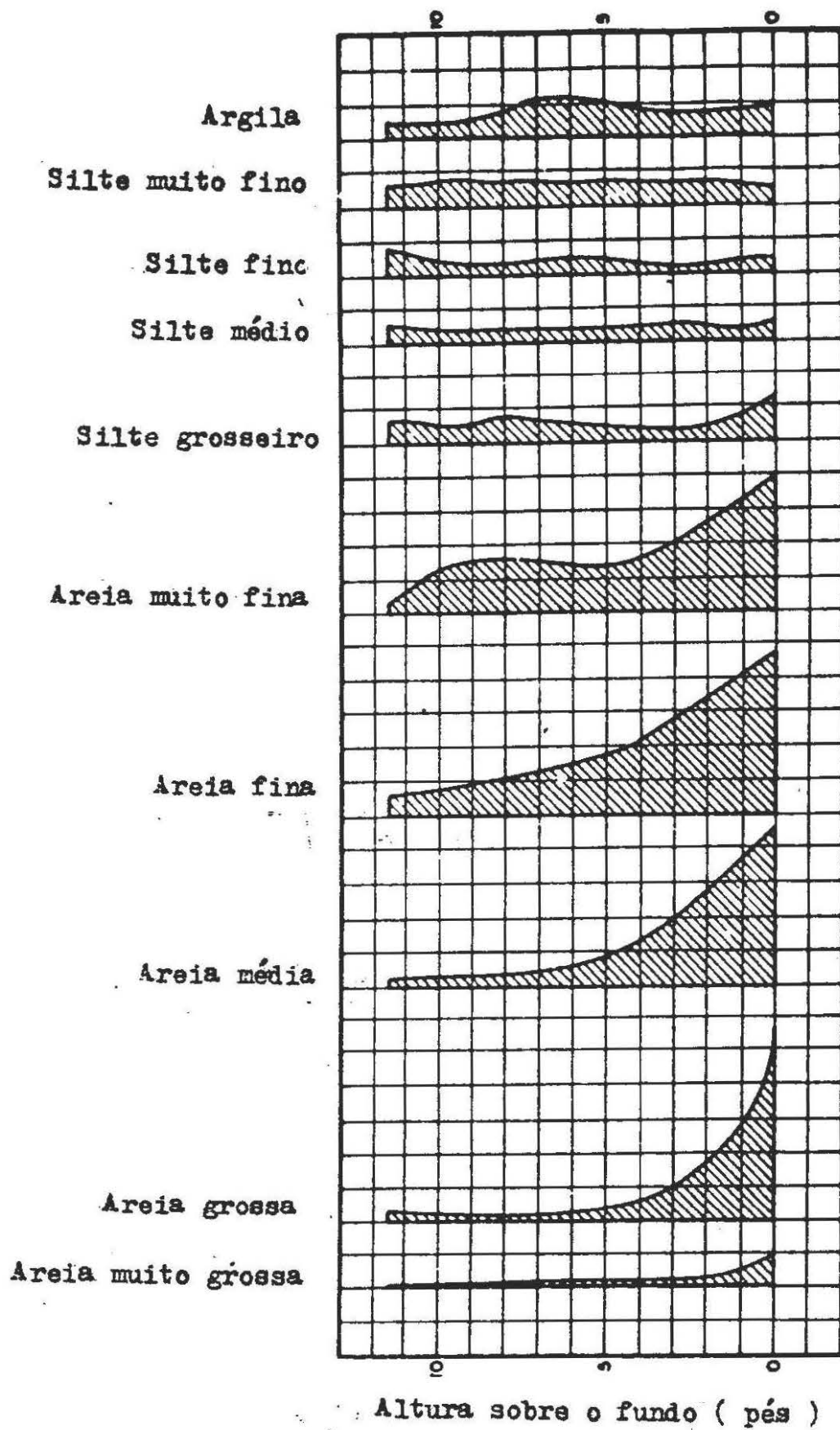


Figura III.14 - Velocidade, sedimento em suspensão e descarga de sedimentos em rios.
FONTE: Shelley (1976)



Concentração : 1 espaço = 100 ppm

Figura III.15 - Distribuição de sedimentos na vertical.
 FONTE: Shelley (1976)

Tabela III.5 - Modalidades de transporte sólido.

CARACTERISTICAS	TRANSPORTE TOTAL		
	TRANSPORTE DE MATERIAL DE FUNDO		TURBIDEZ (Wash load)
	ARRASTE	SUSPENSÃO	
1. Localizacao	Junto ao fundo - altura maxima na faixa de 50 cm . (incluindo a saltacao).	Toda a lamina d'agua, porem com maior concentracao perto do fundo.	Toda a lamina d'agua.
2. Faixa granulometrica	Acima de 0.2 mm, dependendo da tensao de cisalhamento (i.e. areia media para cima).	Areia fina, excepcionalmente d = 2 mm; dependendo da turbulencia.	Material coesivo, lodo e argila.
3. Origem do material	Fundo do leito.	Fundo do leito ou as margens (e bacia vertente durante enchentes excepcionais).	Bacia vertente ou margens da calha.
4. Causas	Tensao de cisalhamento nas paredes.	Turbulencia.	Turbulencia.
5. Relacionamento entre as vazoes liquidas e solidas	Univoco.	Existente, porem nao univoco.	Indefinido.
6. Movimento dos sedimentos	Deslocamentos curtos, descontínuos de frequencia media.	Deslocamentos longos, descontínuos, mais frequentes que o arraste.	Deslocamentos contínuos
7. Valor	Carga normal 20 ppm grande 500 ppm.	2 a 3 vezes a carga por arraste.	Varia conforme a natureza da bacia vertente, maxima registrada : 150 Kg/m .
8. Contribuicao a moldagem da calha	Efetiva. O arraste e o principal responsavel pela moldagem da calha.	Reduzida. A suspensao participa da formacao da planicie aluvial e dos deltas.	Indireta pelas alteracoes das propriedades dos fluidos.
9. Contribuicao ao transporte total	Da ordem de 6 %.	Da ordem de 9 %.	Da ordem de 85 %.
10. Avaliacao	Calculo ou medicao.	Calculo e/ou medicao.	Somente medicao.

FONTE : Bordas (1989)

Caso seja necessário conhecer a concentração de sedimentos em determinadas profundidades, ou mesmo granulometria, usa-se fazer amostragens pontuais.

A garrafa é transportada, limpa, e na hora da amostragem será lavada com água do rio. A amostra deverá ficar contida na própria garrafa até o momento da análise. Depois da amostragem as garrafas deverão ser etiquetadas e enviadas ao laboratório.

As análises a serem feitas dependem dos cálculos de descarga a efetuar. As amostras de sedimento do leito terão análise granulométrica por processo de peneiramento. As amostras de sedimento em suspensão terão determinação da concentração de sedimentos e análise granulométrica. Esta granulometria nem sempre é necessária, mas é desejável a sua determinação.

A determinação da concentração de sedimentos na amostra (ppm = mg/litro) pode ser feita por filtração em filtros de papel de pesos conhecidos, posterior secagem e pesagem. O processo de evaporação também é usado, sendo necessário a determinação da quantidade de sais solúveis.

A determinação da análise granulométrica do sedimento em suspensão é feita por pipetagem, tubo de acumulação visual, tubo de remoção pela base, bem como outros processos.

A concentração, obtida desta forma, é aproximada, pois o amostrador não vai até o leito, ficando o bocal cerca de 10 cm acima. Então surge uma zona não amostrada correspondente à de maior concentração de sedimentos (figura III.16). Deduz-se que a concentração obtida desta forma é menor que a verdadeira.

III . 3.2 - Medição indireta

Sedimentos em suspensão são feições facilmente observáveis em dados de sensoriamento remoto na região ótica do espectro eletromagnético. Entretanto, o relacionamento entre a

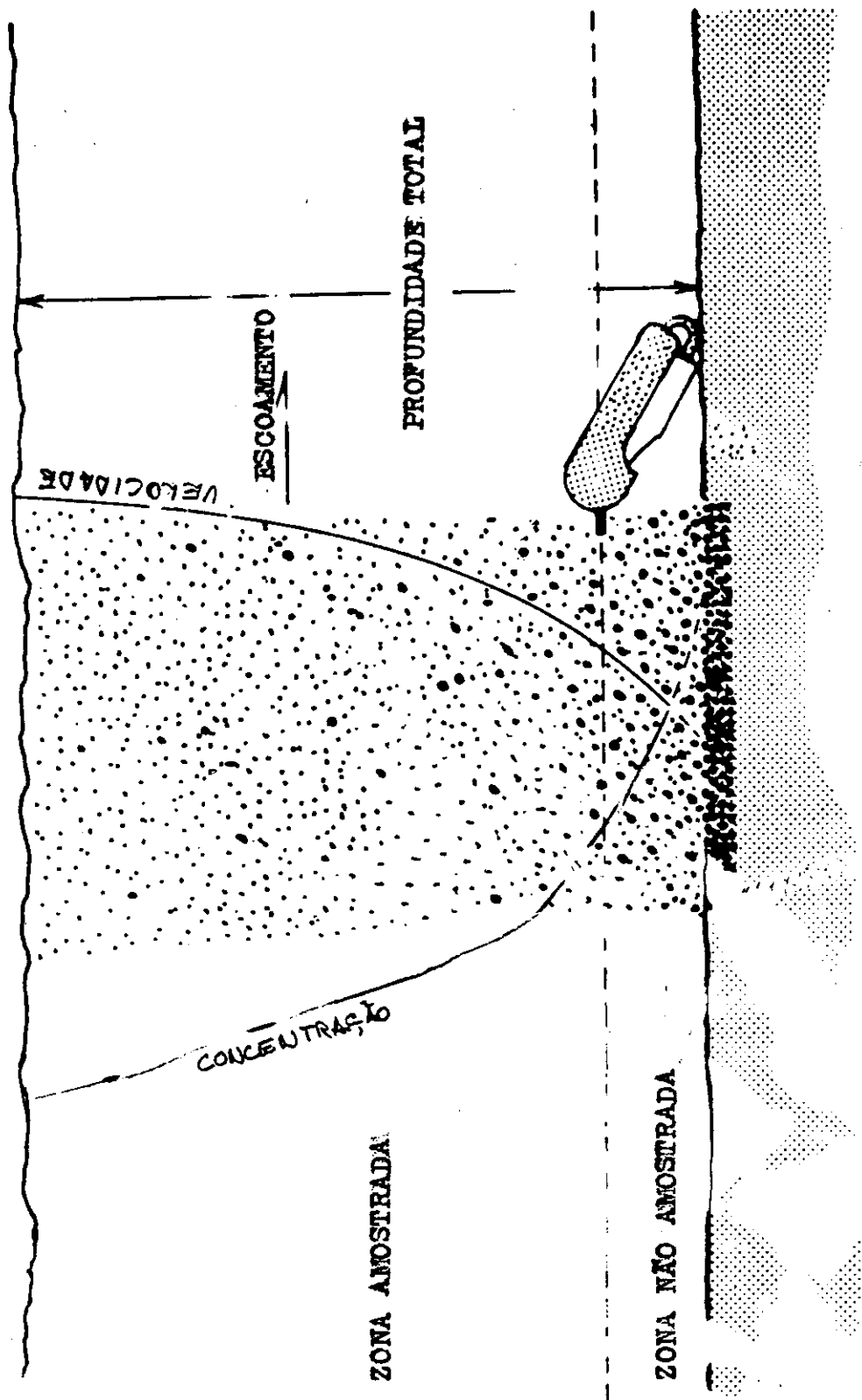


Figura III.16 - Amostragem de sedimentos em suspensão.
 FONTE: Shelley (1976)

concentração de sedimentos em suspensão e a radiância é de difícil quantificação, sendo portanto, de difícil utilização para fins de mapeamento da distribuição de sedimentos na superfície da água. Estas dificuldades se devem principalmente aos diversos fatores ambientais que interferem neste relacionamento. Estes fatores ambientais incluem a atmosfera, a geometria da iluminação da cena, a interface água/atmosfera e os componentes da água.

A base teórica sobre a qual repousa o sensoriamento remoto de características de água é a de que a interação da radiação solar com o volume de água determinará modificações no espectro da energia refletida por ele, e que tais modificações serão uma função de seus componentes. Os principais elementos a serem considerados no processo de interação entre a radiação eletromagnética e a água podem ser observados na figura III.17.

Os fotons (partículas de luz) detectados pelo sensor podem ser divididos em tres categorias :

a) Os fotons que atingem o sensor após terem feito sua última interação com moléculas de água ou material em suspensão na coluna d'água.

b) Os fotons que atingem o sensor após sua última interação ser efetuada com a atmosfera.

c) Os fotons que atingem o sensor após sua última interação ser efetuada na interface água/atmosfera.

Fotons da categoria (a) carregam a informação desejada porque sua distribuição espectral é influenciada pela água e material em suspensão ou solução presentes na coluna d'água. Fotons da categoria (b) contém informação sobre a atmosfera. Fotons da categoria (c) contém informação sobre o estado do mar no momento da passagem do satélite.

A quantificação dessas contribuições é apresentada na tabela III.6.

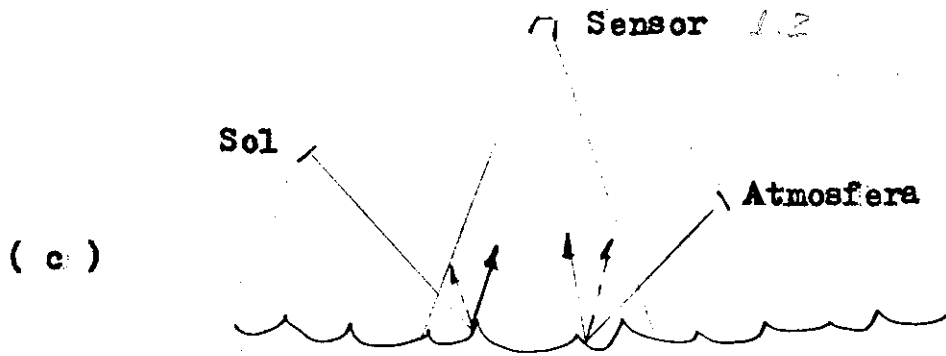
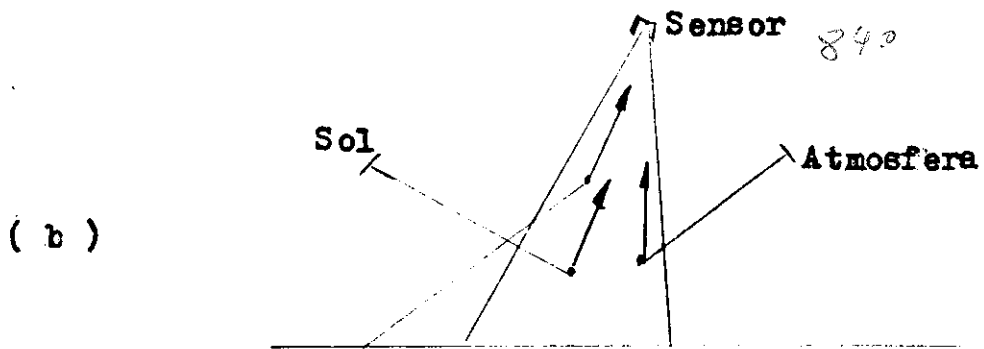
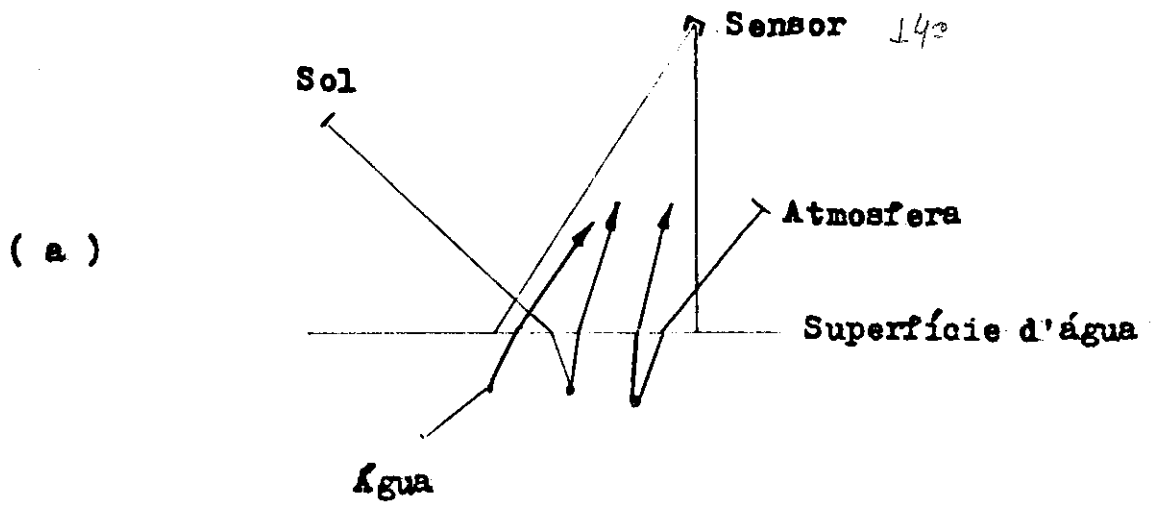


Figura III.17 - Elementos do processo de interação entre a radiação eletromagnética e a água.

Tabela III.6 - Contribuições ao sinal recebido pelo sensor

Comprimento de onda (μm)	% Contribuição ao sinal					
	A		B		C	
	água clara	água turva	água clara	água turva	água clara	água turva
440 —	14.4	18.1	84.4	80.8	1.2	1.1
520 —	17.5	32.3	81.2	66.6	1.3	1.1
550 —	14.5	34.9	84.2	64.1	1.3	1.0
670 —	2.2	16.4	96.3	82.4	1.5	1.2
750 —	1.1	1.1	97.0	97.4	1.9	1.5

FONTE : Sturm (1981)

O fundamental no processo de estimativa de propriedades da água a partir da radiação medida pelo sensor remoto é isolar a contribuição do caso (a) (informações da coluna d'água). Para isso deve-se encontrar meios de remover a contribuição dos outros componentes ou minimizá-la (casos (b) e (c)). Os componentes que adicionam ou se multiplicam à radiação inerente do volume d'água representam a contribuição de fatores ambientais variáveis ao sinal detectado pelo sensor.

III.3.2.1 - Efeitos atmosféricos

Na região espectral de interesse desta pesquisa, 0,3 a 2,5 μm (visível e infravermelho próximo e médio), a energia captada é quase que totalmente derivada da radiação solar que passa através da atmosfera, é refletida pela superfície, e é então transmitida ao satélite. A irradiância solar E_0 no topo da atmosfera é mostrada na figura I.9 . Depois de passar através da atmosfera, a irradiância atinge a superfície da Terra, tendo sido atenuada como mostra esta figura. Ambas as curvas apresentadas, referem-se ao Sol no zenite. As características de absorção atmosféricas, sombreadas na curva, são devidas ao ozônio, oxigênio, vapor d'água e dióxido de carbono, como indicado na figura I.9.

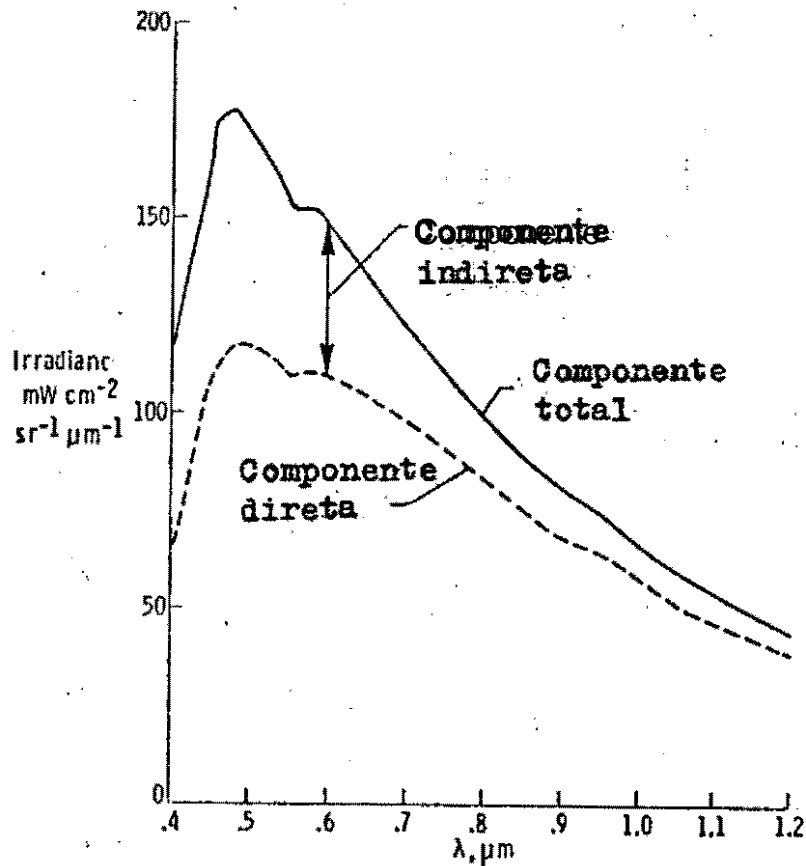


Figura III.18 - Componentes direta e indireta (difusa) da radiação.

FONTE: Bowler et alii (1985)

A irradiância solar na superfície é formada por uma componente direta e outra difusa, como mostrado na figura III.18.

Conforme explicações anteriores, pode ser visto que o conteúdo espectral da irradiância solar é modificado grandemente pela atmosfera antes que ocorra a reflexão. A irradiância na superfície da Terra, E_s é constituído por uma componente solar direta E_{os} e por uma componente difusa E_d , então:

$$E_s = E_{os} + E_d$$

A radiância na superfície da Terra L_s é uma função de E_s e da reflectância superficial ρ . Assumindo um comportamento lambertiano, para a superfície da Terra tem-se :

$$L_s = \frac{E_s \cdot \rho}{\pi}$$

Quando o alvo é observado a uma certa altitude (aeronave ou satélite), os efeitos da atmosfera devem ser levados em consideração. Por um lado, a radiância superficial (L_s) é atenuada, chegando ao sensor a fração $L_s \cdot T$, sendo T a transmitância da atmosfera. Por outro lado, à essa vem adicionar-se uma outra componente originada pelo espalhamento atmosférico (L_p). O valor registrado pelo sensor pode ser escrito como:

$$L_t = L_s \cdot T + L_p$$

Conforme foi visto anteriormente, reflectância superficial pode ser escrita como:

$$\rho = \frac{\pi L_s}{E_s}$$

sendo a reflectância aparente no topo da atmosfera

$$\rho_a = \frac{\pi L_t}{E_0} = \frac{\pi}{E_0} (L_s T + L_p)$$

que difere da reflectância verdadeira ρ de acordo com a magnitude de T e L_p para a altitude do sensor.

Não deve ser esquecido que todos esses valores são função do comprimento de onda da radiação em questão.

III.3.2.2 - Fatores que afetam a determinação da reflectância

No item anterior, apresentou-se o problema da atmosfera na determinação da reflectância. No presente item, todos os parâmetros que afetam a determinação da reflectância podem ser identificados na figura III.19, sendo agrupados como segue:

GEOMETRIA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

- Distância zenital do Sol, θ_z
- Ângulo vertical de visada, θ_v
- Ângulo azimutal, ϕ_a , ϕ_s
- Altitude do sensor, H

PARAMETROS METEOROLÓGICOS

- Umidade relativa
- Cobertura de nuvens
- Pressão atmosférica superficial

PARAMETROS ATMOSFÉRICOS

- Presença de aerossóis
- Turbulência
- Alcance Visual da atmosfera

PARAMETROS RELATIVOS AO ALVO

- Tamanho do alvo
- Reflectância do alvo
- Reflectância dos objetos adjacentes

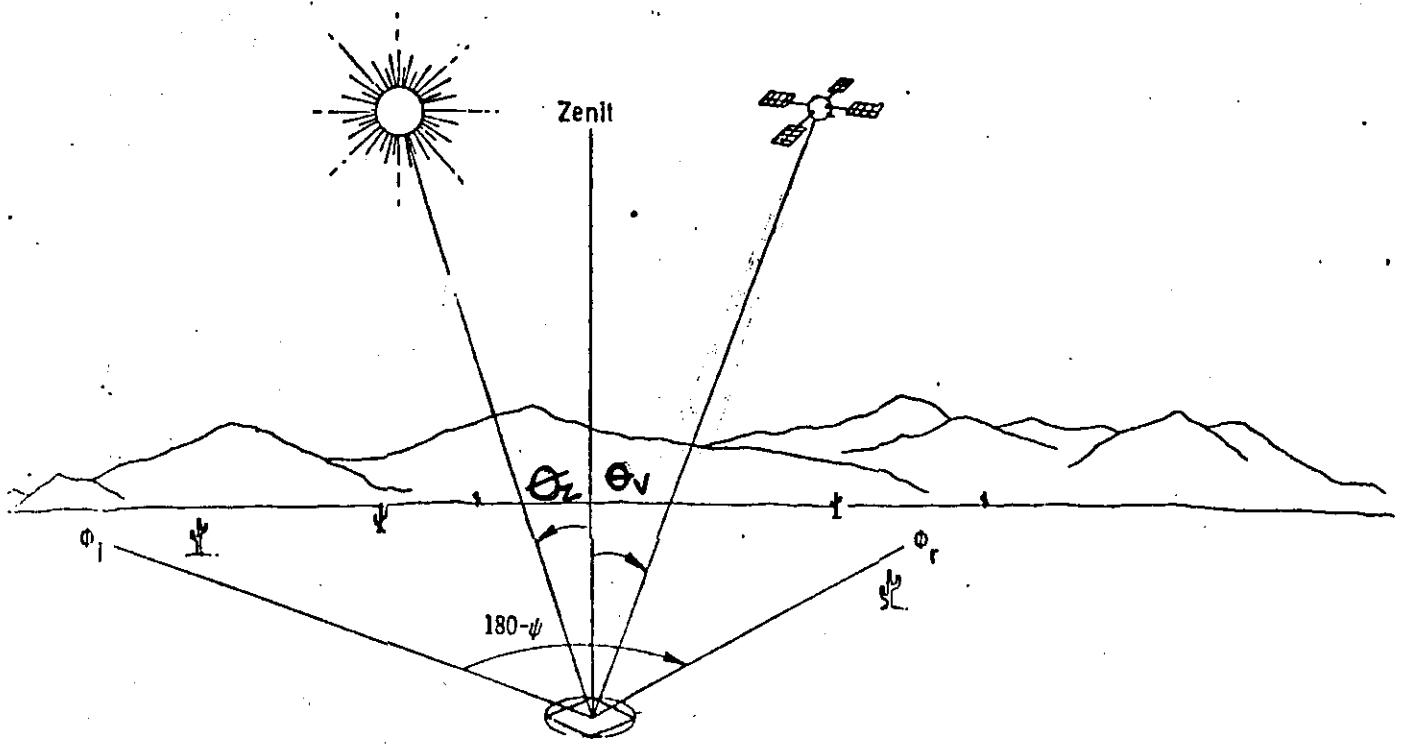


Fig. III.19- Parâmetros que afetam a reflectância.-
 FONTE: Bowker et al. (1985)

IV . IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

IV . 1 - Descrição da área de estudo

IV . 1.1 - Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na planície costeira do Rio Grande do Sul e está compreendida entre as latitudes $31^{\circ}41'$ S e $32^{\circ}12'$ S e longitudes $51^{\circ}49'$ W e $52^{\circ}15'$ W (figura IV.1), sendo caracterizada como estuário e ocupando uma área superficial de 900 Km².

A laguna dos Patos, devido a sua morfologia, foi subdividida em quatro células lagunares semi-isoladas pelos esporões transversais ("spits")(Hartmann & Sano, 1986), além da região estuarina. As células, denominadas C1, C2, C3 e C4(figura IV.2), estão dispostas sequencialmente num eixo NE-SW de aproximadamente 250 Km e uma largura média de 60 Km, ocupando em seu conjunto uma superfície de 10630 Km² (Herz, 1977). Nesta mesma figura, observa-se a distribuição das linhas isobatimétricas.

A Laguna Mirim, com uma superfície de 3749 Km² comunica-se com a laguna dos Patos através do canal de São Gonçalo, com extensão de 70 Km, localizado aproximadamente a 30 Km ao norte da desembocadura do complexo lagunar no Oceano Atlântico.

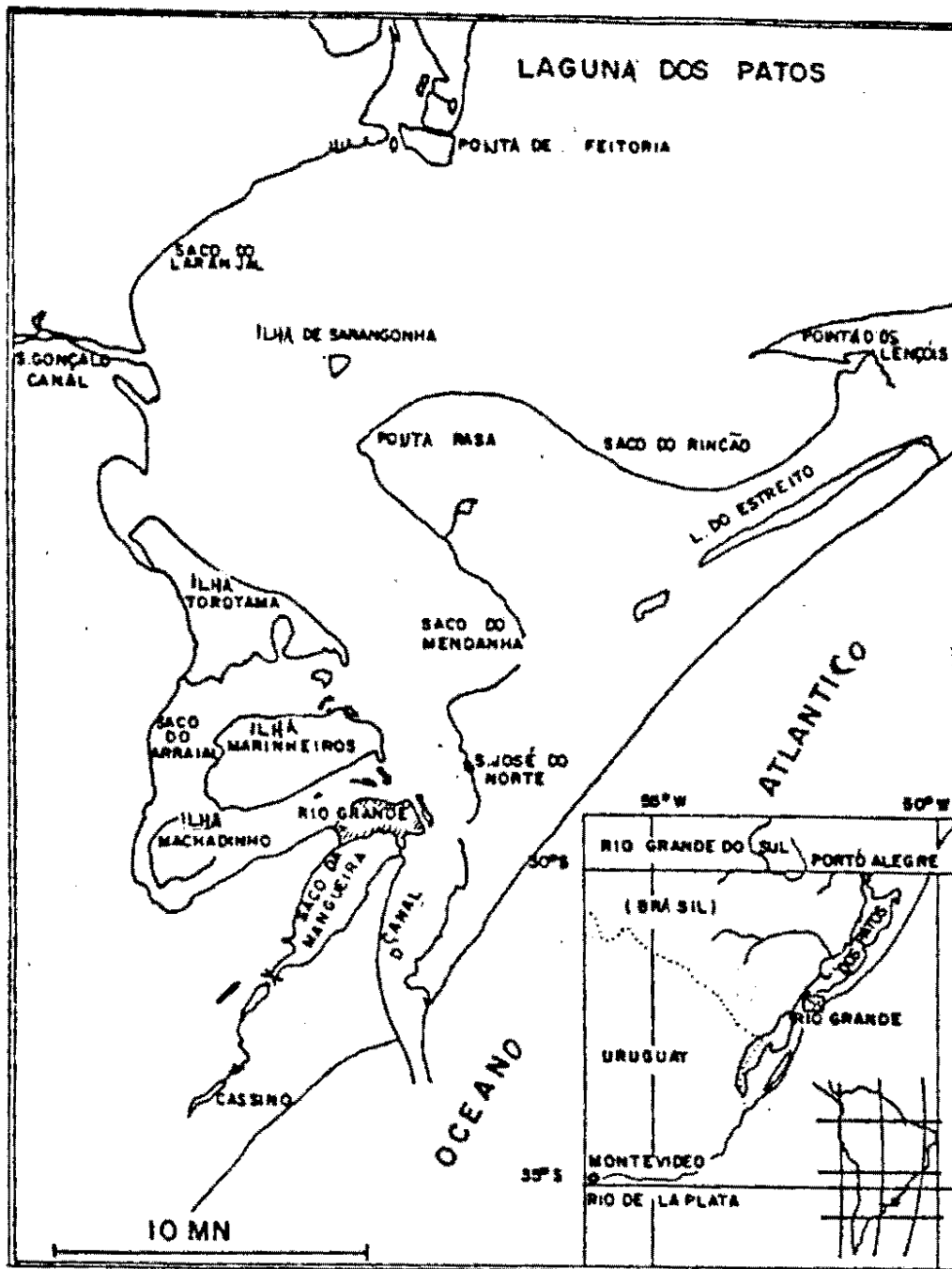


Figura IV.1 - Região estuarina da Laguna dos Patos.
 FONTE: Kantin (1983)

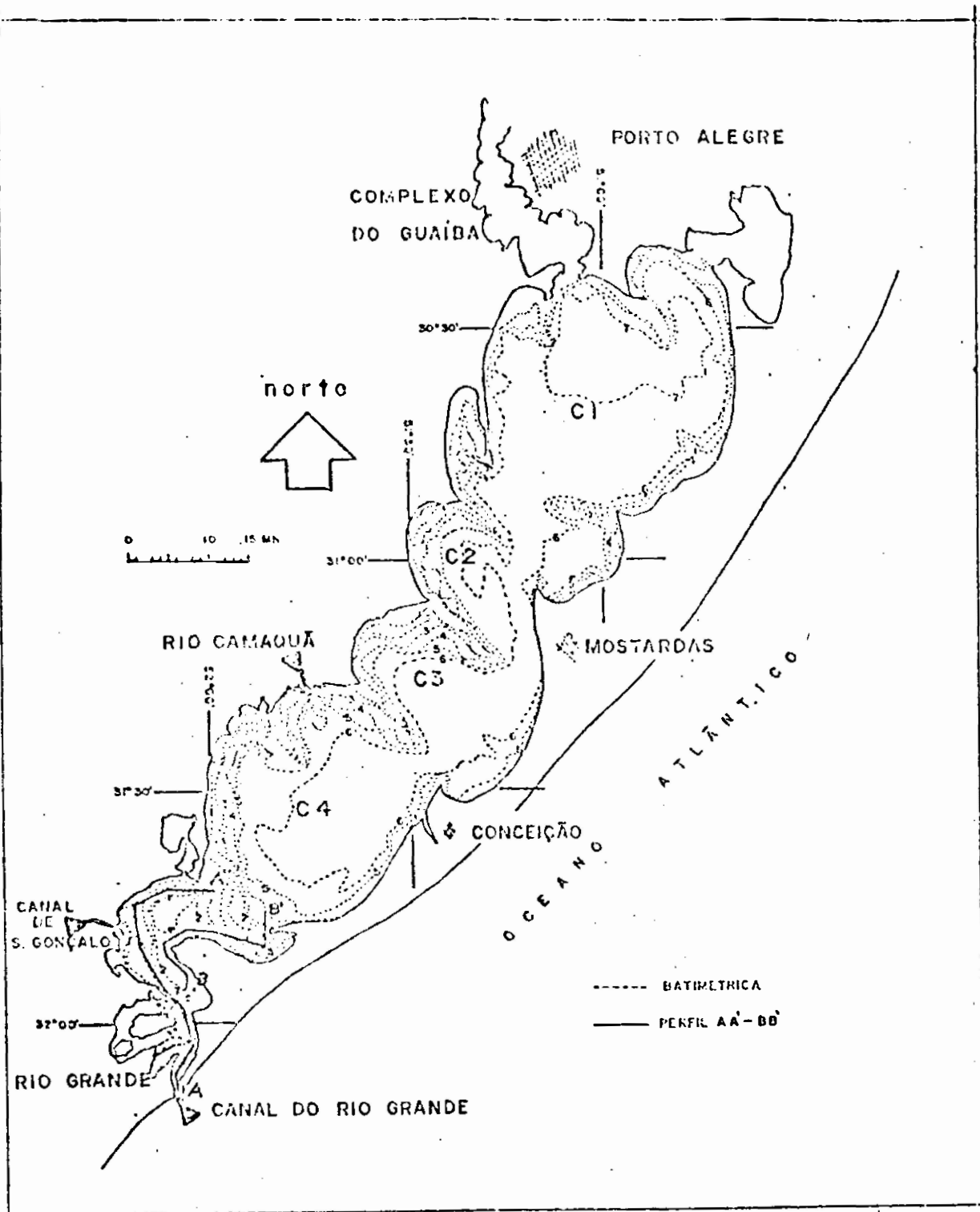


Figura IV.2 - Compartimentação da Laguna dos Patos.
 FONTE: Herz (1979)

Ambas recebem as águas provenientes de uma vasta bacia hidrológica, com aproximadamente 183.523 Km² de área dos quais 75% correspondem ao sistema hidrológico Patos e 25%, ao sistema hidrológico Mirim (figuras IV.3 e IV.4). Todo este sistema lagunar se intercomunica com o Oceano Atlântico através de uma única abertura, denominada de canal do Norte, por onde escoam as águas provenientes deste amplo sistema lagunar e por onde ocorrem as penetrações de origem marinha.

IV . 1.2 - Aspectos geológicos

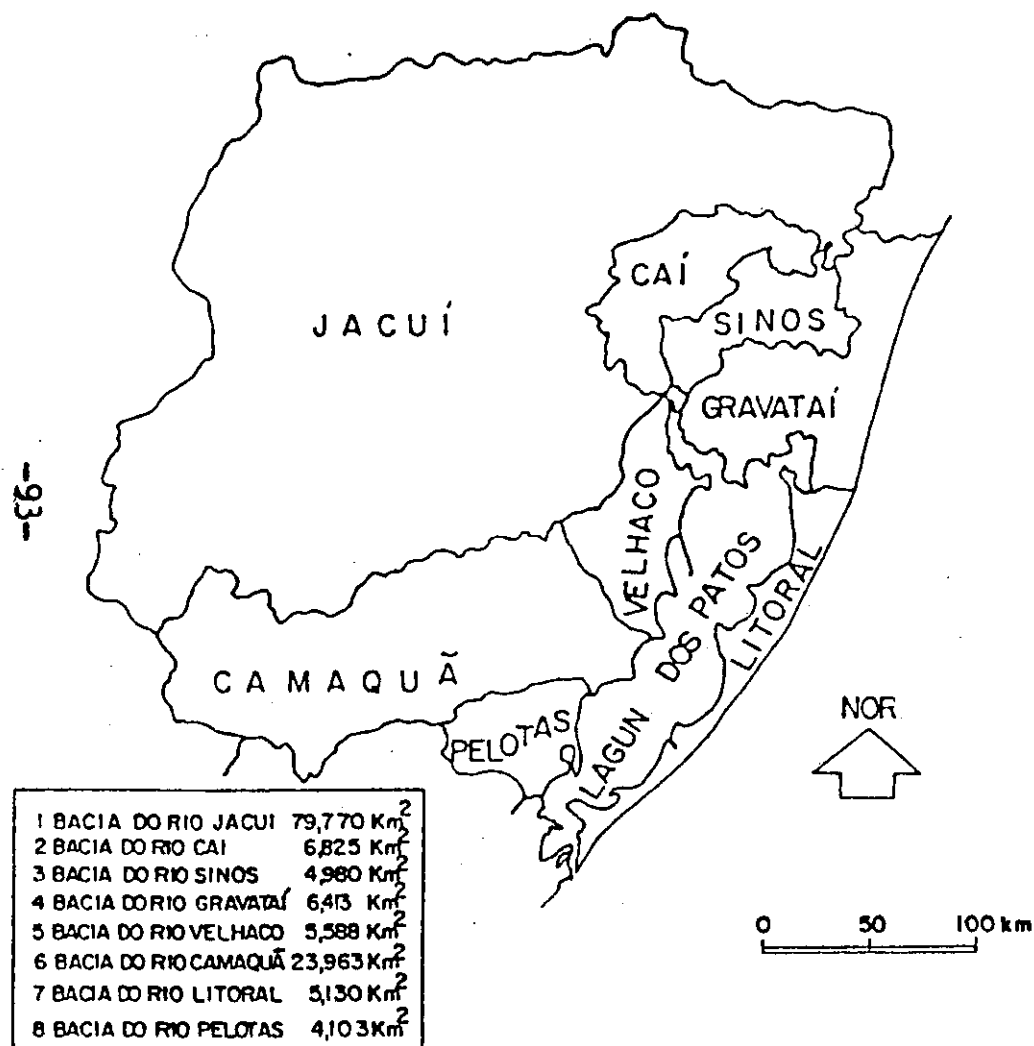
Com relação à qualidade e principalmente à quantidade de material sedimentar que chega à laguna dos Patos e à região litorânea adjacente à desembocadura, ressaltam-se como fatores que os controlam as características geológicas e geomorfológicas das áreas drenadas.

Vilcock (1972) mostrou que as áreas drenadas pelos sistemas Patos e Mirim são constituídas por rochas pre-cambrianas polimetamórficas, ígneas e sedimentares, paleozóicas e mesozóicas da bacia do Paraná, além dos depósitos cenozóicos da planície costeira. Com base no mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul, o autor supracitado estima que a área drenada pela bacia Patos-Mirim é constituída em 35% por formações do escudo sul-rio-grandense, em 35% por derrames basálticos da formação da Serra Geral, em 20% pelas formações da faixa sedimentar da bacia do Paraná e ainda em 10% por sedimentos da planície costeira. (figura IV.5)

Vilcock (1972), comparando as características geológicas e geomorfológicas das áreas drenadas pelos sistemas Patos e Mirim, salienta que a porção norte da bacia contribui com maior volume de material sedimentar, uma vez que grande parte dos seus cursos de água encontram-se estágio juvenil, com alto poder de erosão.



Figura IV.3 - Bacia hidrográfica do sistema Patos-Mirim.
 FONTE: Kantin (1983)



1 PIRATINI	6,188 Km ²
2 JAGUARÃO	8,563 Km ²
3 TAQUARI	4,000 Km ²
4 MANGUEIRA	6,625 Km ²
5 CEBOLLATI	15,875 Km ²
6 PELOTAS	5,500 Km ²

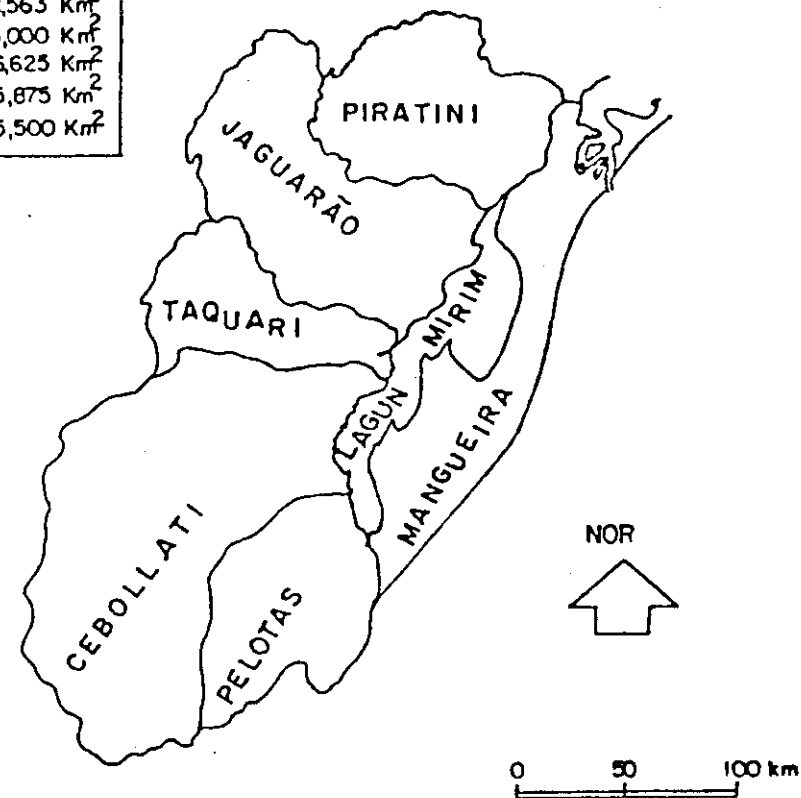


Figura IV.4 - Sub-bacias hidrográficas das Lagunas dos Patos e Mirim.
 FONTE: Kantin (1983)

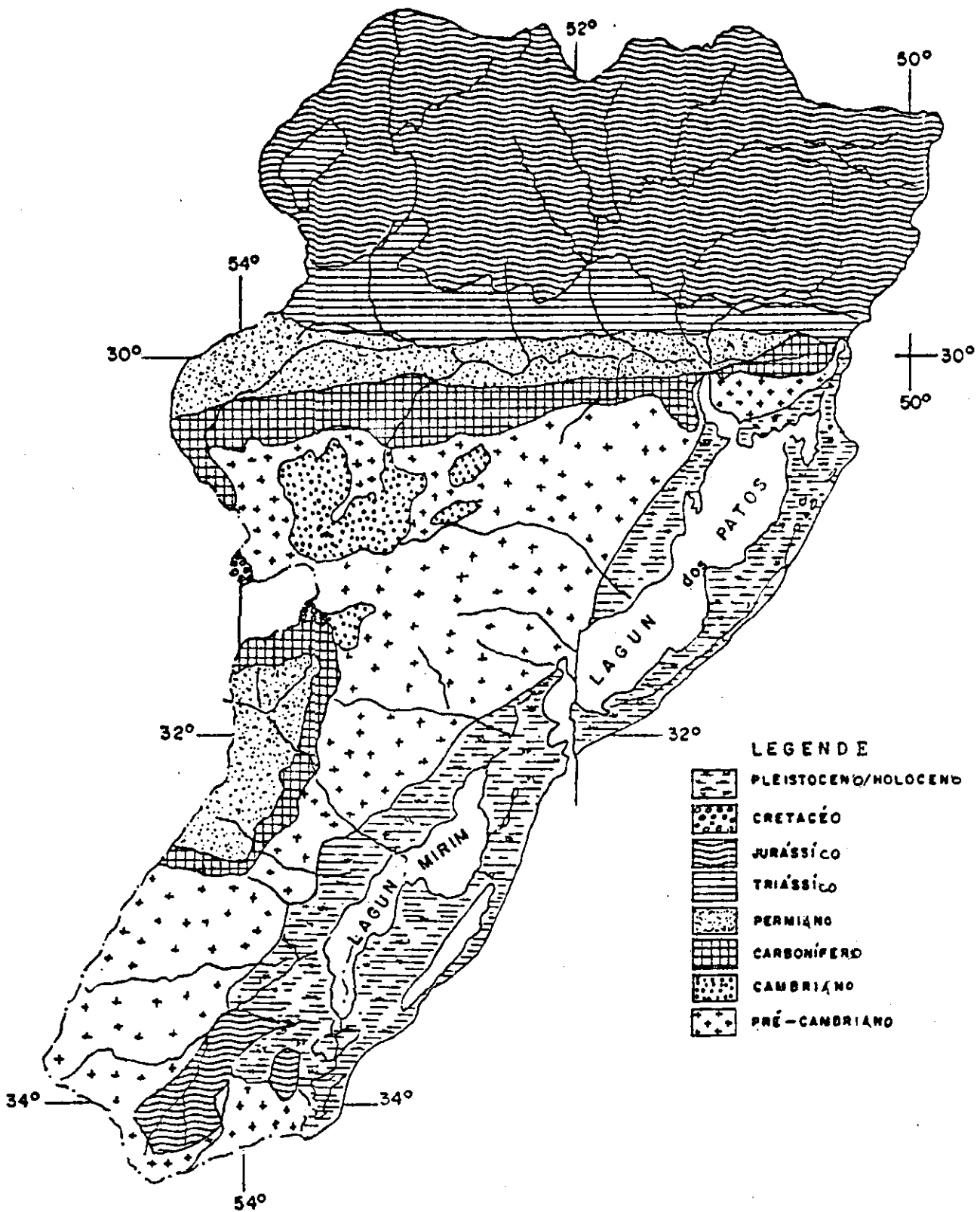


Figura IV.5 - Carta geológica do complexo hidrográfica Patos-Mirim.
 FONTE: Kantin (1983)

Calliari (1980), ao estudar a proveniência dos sedimentos de fundo do estuário, indica como provável área de origem a própria planície costeira, constituída pelas areias quartzosas, pleistocônicas e pelas areias do holoceno, além do material proveniente do escudo sul-rio-grandense. Já Alvarez et alii (1981) lembram que a principal fonte de sedimentos da laguna dos Patos é a carga em suspensão do complexo fluvial que deságua no Guaíba. Inicialmente depositam-se os mais grosseiros (fração areia) no chamado complexo do Guaíba, enquanto as frações mais finas (silte e argila) são depositadas ao longo da laguna e principalmente no estuário. A fração mais fina (argila) continua em suspensão, indo depositar-se também na região costeira.

No sistema estuarino atual, uma série de ambientes com características morfológicas, sedimentológicas, dinâmicas e ecológicas diversas coexistem lateralmente e refletem o padrão de evolução deste sistema sedimentar. Deste modo, antigos canais de escoamento da lagoa, com características dinâmicas próprias deste ambiente, foram abandonados em função do surgimento cíclico de novos canais de escoamento preferencial permitindo, assim, a formação de regiões calmas ("sacos") com características bastante distintas daquelas encontradas nos canais ativos. Uma caracterização preliminar destes diversos ambientes, no que diz respeito a suas características morfológicas, sedimentológicas e ecológicas pode ser encontrada em Asmus et alii (1986).

IV . 1.3 - Batimetria da região

A Laguna dos Patos possui profundidades pouco expressivas, exibindo predominantemente cotas batimétricas inferiores a 7 metros, caracterizando um fundo raso e relativamente plano. Segundo Delaney (1965), no sentido de seu eixo principal, a laguna tem uma declividade de 1 metro para cada 120 Km, alcançando um declive de aproximadamente 2 metros entre a zona lagunar do Guaíba e o canal de Rio Grande. As maiores

profundidades encontram-se próximas à restinga e se dispõem paralelamente ao eixo principal da laguna, havendo redução gradual do fundo da Laguna no sentido noroeste.

A carta batimétrica da região de estudo, (Hartmann, 1988) que compreende a desembocadura de Rio Grande, adjacências da Ilha da Feitoria e Ponta dos Lençóis, foi elaborada por Calliari (1980), na escala 1:50.000 a partir das folhas de bordo da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), e a batimetria externa à região estuarina, foi elaborada a partir da carta DHN n° 2110 na mesma escala.

Pela análise da carta, observa-se que as maiores profundidades na região da desembocadura confina-se aos canais de navegação, tanto naturais como artificiais, variando entre 3 e 19 metros. Os baixios mais expressivos, com profundidades inferiores a 1 metro, são representados pelo banco de Saragonha, baixio da Feitoria e diversas "coroas", tais como as coroas de Dona Mariana, junto à margem leste e norte da Ponta dos pescadores, a coroa dos Patos a leste da Ilha da Feitoria e a coroa do Mosquito, junto ao baixio do mesmo nome.

Uma das feições mais importantes do complexo lagunar e situada na região estuarina é a zona do canal do Norte, que é emissário natural por onde são descarregadas no oceano as águas provenientes do continente.

O canal do Norte é o único escoadouro para as águas provenientes dos sistemas hidrológicos Patos e Mirim. A evolução do canal compara-se às modificações meandriformes de um rio, estando atualmente em equilíbrio, devido a enrocamentos artificiais que existem na margem Oeste, originados quando da construção dos molhes da barra no início do século. (figura IV.6)

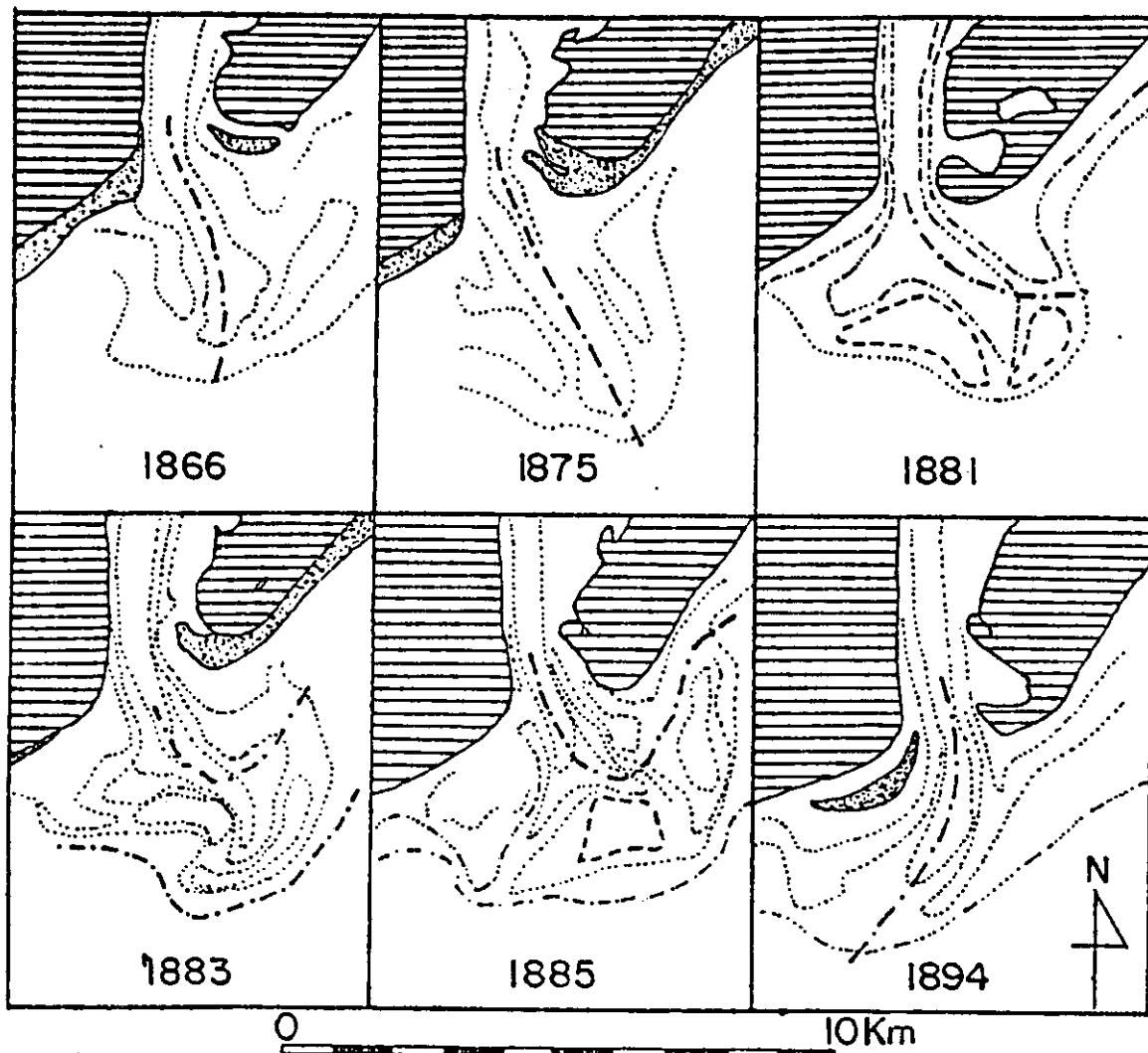


Figura IV.6 - Evolução da embocadura no estuário da Laguna dos Patos

FONTE : Kantin (1983)

IV . 1.4 - Sedimentos

O mapa geológico da porção imersa da região estuarina, representado na figura IV.7, permite a visualização das principais unidades que servem como fonte de sedimentos arenosos ao sistema estuarino na medida em que, com o soerguimento do nível do mar após o último período glacial, os atuais ambientes costeiros que compõem a planície perderam energia propiciando a retenção de toda a carga de fundo transportada por tração pelos rios que deságuam na laguna dos Patos na forma de deltas junto a suas respectivas desembocaduras neste corpo lagunar. O mapa litofaciológico da porção submersa (figura IV.8) do estuário permite a visualização das faces sedimentares que se encontram disponíveis ao retrabalhamento atual pelos agentes dinâmicos que atuam neste sistema, as quais podem ser relacionadas aos aportes atuais (lama nos canais e regiões protegidas) e relictuais (areias formando os bancos submersos).

Fica então caracterizado ser o aporte atual de sedimentos ao estuário restrito aos finos carreados em suspensão através do corpo lagunar enquanto a fração arenosa, que participa dos processos dinâmicos atuantes na região do estuário, provém do retrabalhamento local de sedimentos relictuais quaternários depositados inicialmente em condições dinâmicas distintas das atuais.

IV . 1.5 - Pluviosidade e fluxo de água doce

De modo a poder melhor caracterizar a época correspondente à este estudo (1984) dentro de um contexto temporal mais amplo, situando-o como um período normal ou excepcional, foram comparados os dados referentes a 1984 com aqueles fornecidos como normalizados para um período de trinta anos (1931/1960) pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Normas Climatológicas, 1979). Tais dados referem-se a precipitação pluviométrica nas bacias de drenagem que concorrem para as lagoas dos Patos e Mirim. (figuras IV.9 e IV.10).

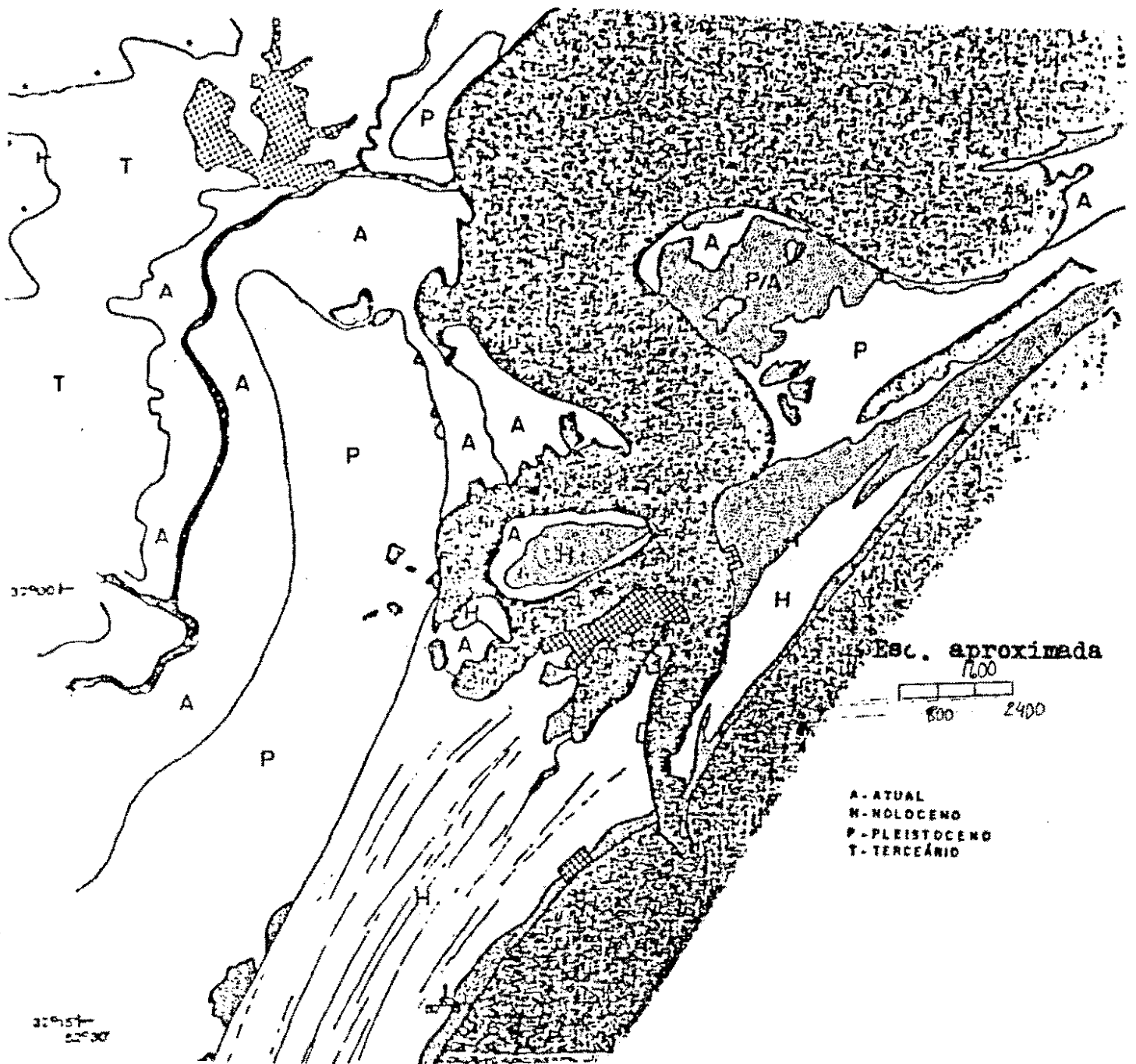


Figura IV.7 - Mapa geológico da região estuarina da Laguna dos Patos

FONTE : Paim et alii (1936)

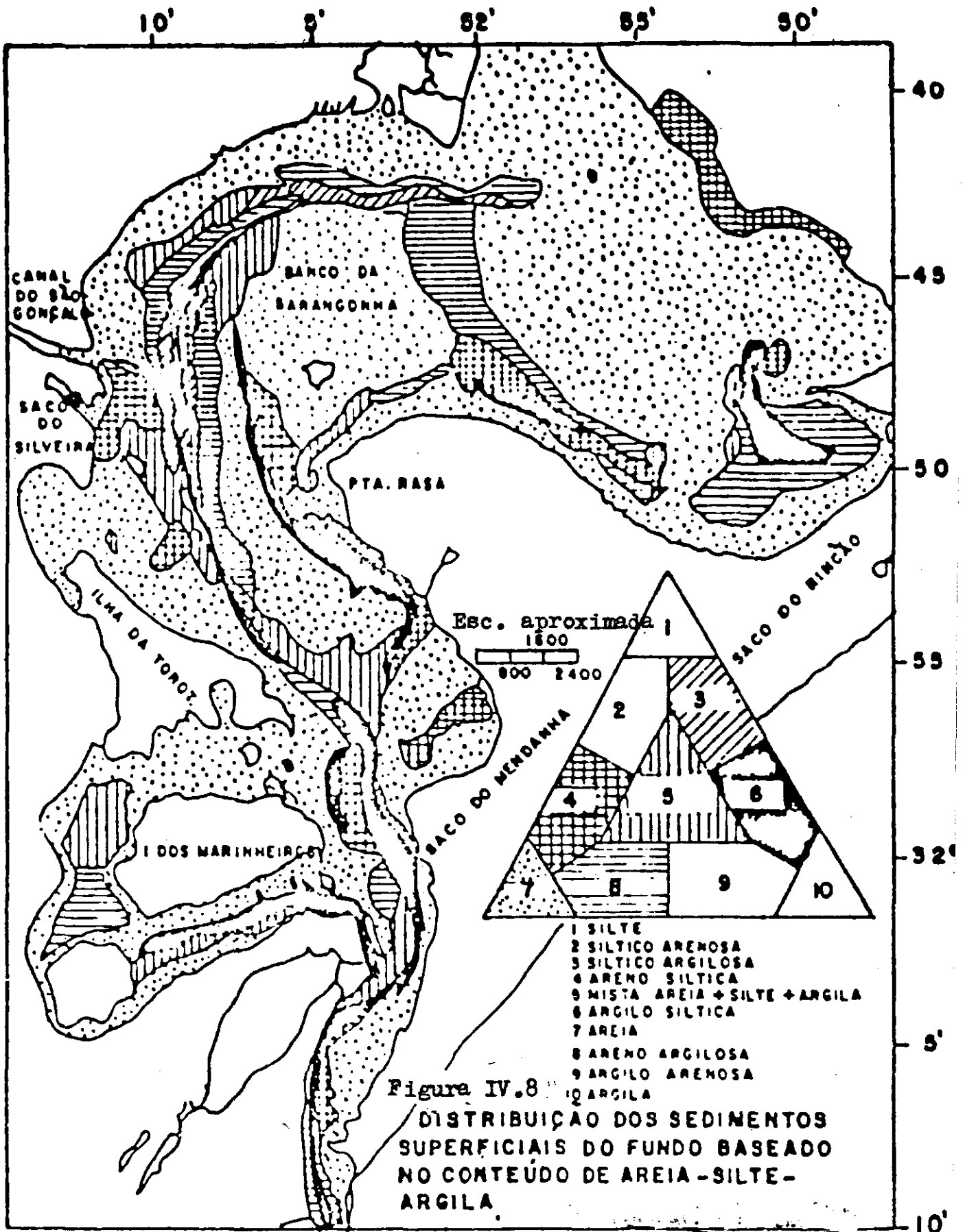


Figura IV.8
 DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS
 SUPERFICIAIS DO FUNDO BASEADO
 NO CONTEÚDO DE AREIA - SILTE -
 ARGILA.

FONTE : Calliari et alii (1980)

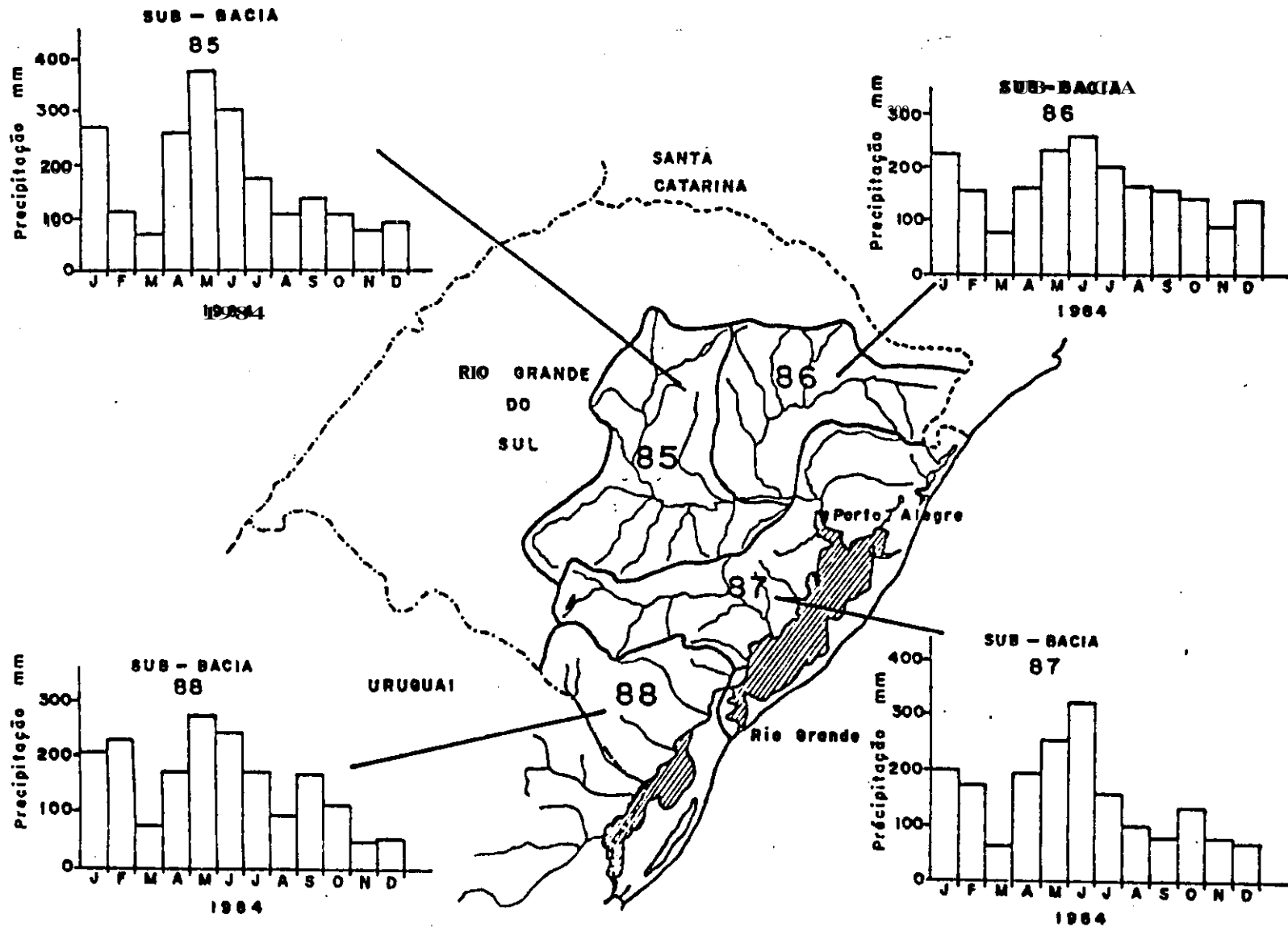


Fig. 10 - Precipitação média mensal em 1984 por bacia hidrografica
fonte dos dados: DNAEE

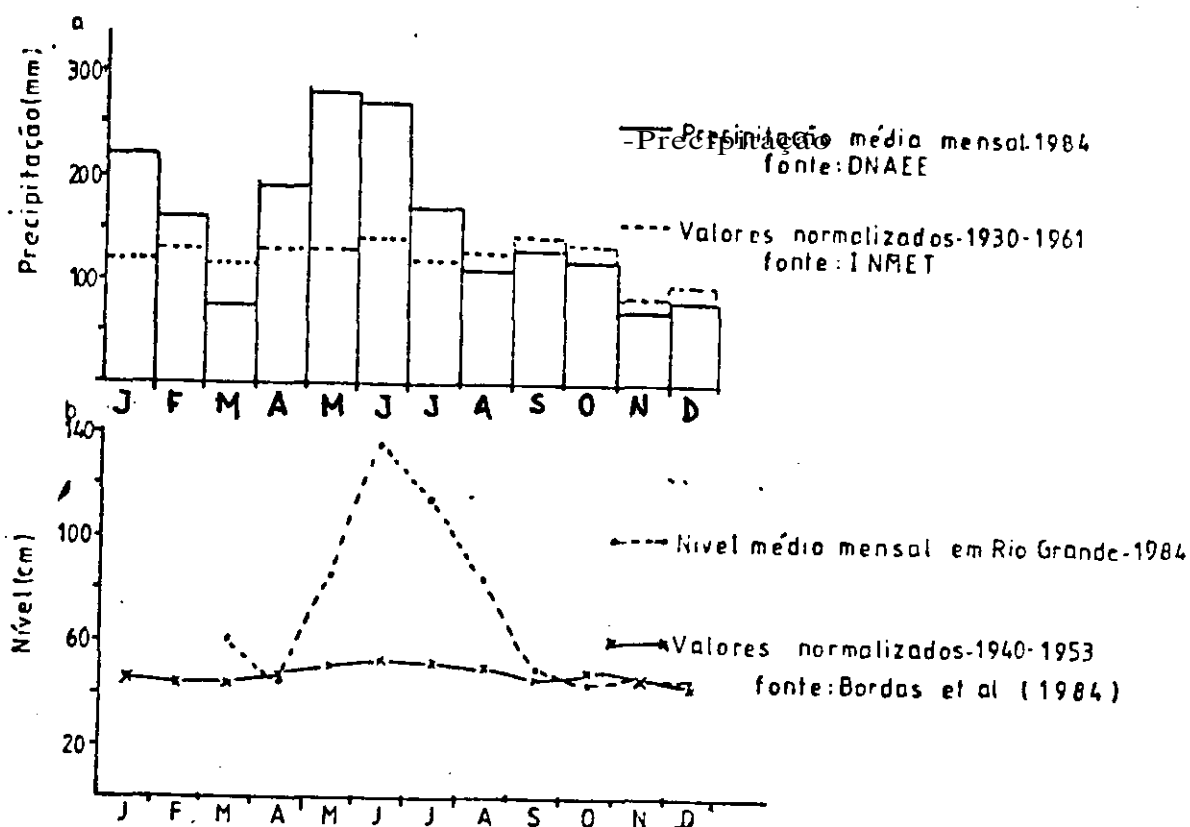


Fig. IV.10- a- Precipitação média mensal na bacia da Lagoa dos Patos
 b- Nível médio mensal em Rio Grande

Esta comparação (figura IV.10) permite concluir que 1984 foi um ano excepcional em termos de precipitação, tendo chovido cerca de 35 mm, na média anual, a mais do que a precipitação normalizada para a região. Tal fenômeno se deve às chuvas mais intensas dos meses de janeiro e fevereiro, no verão e dos meses de abril a julho durante o outono e inverno de 1984.

Segundo Hartmann & Sano (1986) é possível identificar quatro fontes principais de água: Na porção norte da laguna dos Patos, a descarga do Rio Guaíba; na margem oeste, a contribuição do Rio Camaquã; no estuário, a contribuição do Canal de São Gonçalo; finalmente, a penetração de água salgada pelo Canal de Rio Grande, ou Canal do Norte.

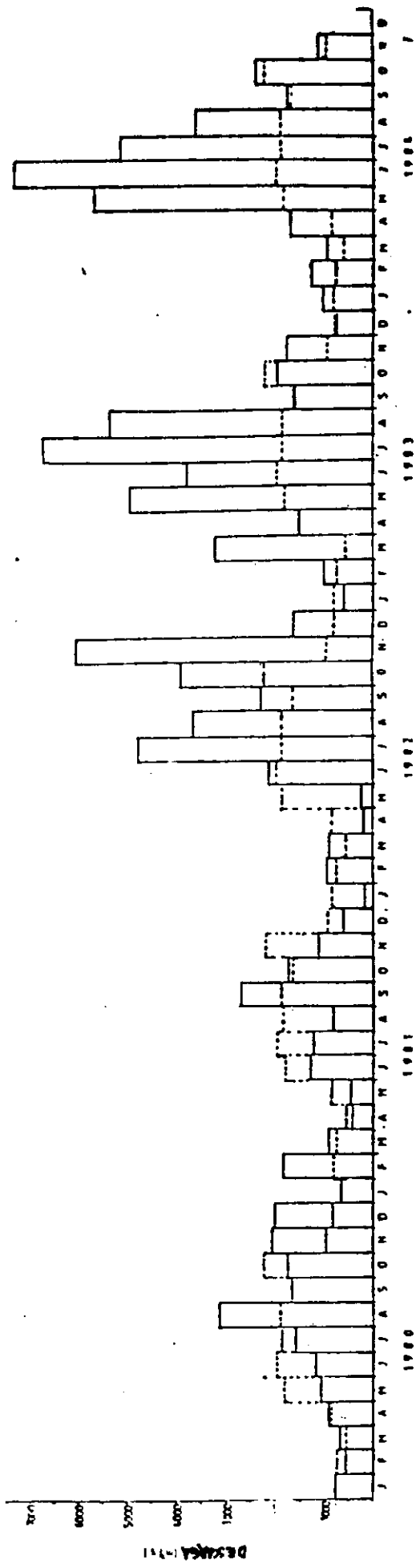


Fig. 14.11- Descarga média mensal do sistema Guaiaba
 Valores de descarga do sistema "normalizados" - 1940-1953 (Bordas et al, 1984)

A importância relativa de cada uma destas bacias pode ser discutida a partir de dados de *Bordas et alii* (1984) que fornecem as médias mensais normalizadas para um período de treze anos (1940/1953). Tais valores indicam que o complexo Guaíba, que inclui as bacias dos rios Jacuí-Taquari, Sinos e Cai, contribui com 58% do volume total de águas que chegam à laguna dos Patos, enquanto o Rio Camaquã com 13,2% e o Canal de São Gonçalo com 28,8 %.

A figura IV.11 apresenta as variações médias mensais de descarga (m^3/s) do complexo Guaíba, para o período de 1980 a 1985 (Dados fornecidos pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE), comparado às médias mensais normalizadas já referidas anteriormente (*Bordas et alii*, 1984). Desta comparação pode ser constatado que para os anos de 1980 e 1981, de uma maneira geral, os valores de descarga estiveram abaixo dos valores médios normalizados; enquanto que para os anos de 1982/83/84 e 1985 tal padrão se inverte, ou seja, os valores de descarga média mensal do sistema Guaíba foram maiores do que os valores normalizados. Deve ser ressaltado os valores excepcionais de descarga para os meses de outono e inverno para os anos de 1983 e 1984 e para os meses de inverno e primavera no que se refere ao ano de 1982.

Ao compararmos as figuras IV.10 e IV.11 , no que se refere às precipitações e descarga do sistema Guaíba durante o ano de 1984, fica clara a correspondência entre estes fatores e o fato do ano ter sido excepcional sob estes dois aspectos.

As situações hidrológicas na região estuarina, aqui consideradas, refletem aspectos das variações sazonais dos parâmetros de qualidade de água, estando diretamente relacionadas aos totais de precipitação e, portanto, ligadas à maior ou menor quantidade de água doce que chega para a região lagunar, e estuário, bem como às condições climáticas do momento.

IV . 1.6 - O regime dos ventos

Paz (1985) descreve 2 centros de ação atuantes na região da laguna dos Patos: os anticiclones migratórios (polares) e o anticiclone tropical. O primeiro, que ocorre mais frequentemente, desloca-se seguindo uma trajetória no sentido sudoeste-nordeste; o segundo, com características estacionárias, atua preferencialmente no verão. Em sua análise, o autor considera as frentes, nos diversos tipos, como as perturbações mais significativas da região. Cada frente pode ser incluída num dos seguintes tipos : fria, quente, estacionária ou oclusa.

Os ciclones gerados das oclusões frontais, denominados ciclones extratropicais, são os que causam as perturbações mais intensas na região. A evolução dos sistemas atmosféricos que atuam na região da laguna dos Patos produzem variações periódicas sobre os elementos hidrometeorológicos.

Durante a passagem do anticiclone polar, a temperatura sofre uma diminuição que se acentua no inverno. Sua circulação anti-horária induz uma variação na direção do vento de sudoeste para nordeste, aumentando a intensidade do centro para a periferia do sistema. Essa variação do vento afeta diretamente o sistema de correntes da Laguna, sobretudo o regime de enchente e vazante e a salinidade do estuário (Paz, 1985).

Regionalmente, Calliari (1980) divide o regime de ventos em quatro grupos principais:

- No primeiro grupo predominam os ventos que sopram de NE, NNE e ENE, sendo NE o principal, que coincide com o eixo maior da laguna, proporcionando aumento na declividade descendente para o mar, auxiliando a vazante, a qual pode ser aumentada pela contribuição a montante. Esses ventos são mais violentos e frequentes de setembro a abril (primavera/verão) e mais raros e fracos de maio a agosto (outono/inverno).

- No segundo grupo predominam os ventos de E-S, sendo o de SE o mais importante; sopram diretamente sobre a barra,

ocasionando a elevação do nível de água até 1,40 metros acima do nível ordinário. O mesmo efeito é ocasionado pelos ventos de SW.

- No terceiro grupo são predominantes os ventos de SSW e WSW, de direção oposta aos do primeiro grupo e coincidentes, portanto, com a orientação geral da costa, sendo regionalmente chamados de "pampeiros". São os responsáveis pelos grandes temporais e agem sobre a embocadura; elevam o nível da água e ocasionam o represamento das águas da laguna para o Norte, determinando uma forte corrente de enchente devido ao desnível a montante do canal.

- No quarto e último grupo tem como vento principal os que sopram de WNW, sendo o NW o principal, que sopra fracamente da terra e não tem influência sobre as oscilações da água no canal e na barra.

A figura IV.12a(Herz, 1977) apresenta os valores de distribuição anual, por frequência de direção e intensidade dos ventos, na planície costeira do RS, enquanto a figura IV.12b apresenta a distribuição sazonal destes parâmetros.

IV . 1.7 - O regime dos enchentes e vazantes

Na região estuarina , principalmente no canal do Norte (ou Canal de Rio Grande), os níveis de água , bem como as velocidades, as direções e as durações do escoamento, são determinados por uma complexa interação entre efeitos de ventos no mar, no complexo lagunar, e por vazões fluviais que entram em tal complexo.

O escoamento pode dirigir-se para o mar, por diversos dias, durante estações com alta taxa pluviométrica e aporte significativo a Laguna por intermédio das vazões fluviais. Em casos excepcionais de precipitação, apesar da ação de ventos do quadrante sul, não há penetração de águas de origem marinha no interior do estuário. Salienta-se que a ação destes ventos do quadrante sul causa um abaixamento do nível na parte sul da laguna, o que favorece um escoamento de água salgada para o interior desta.

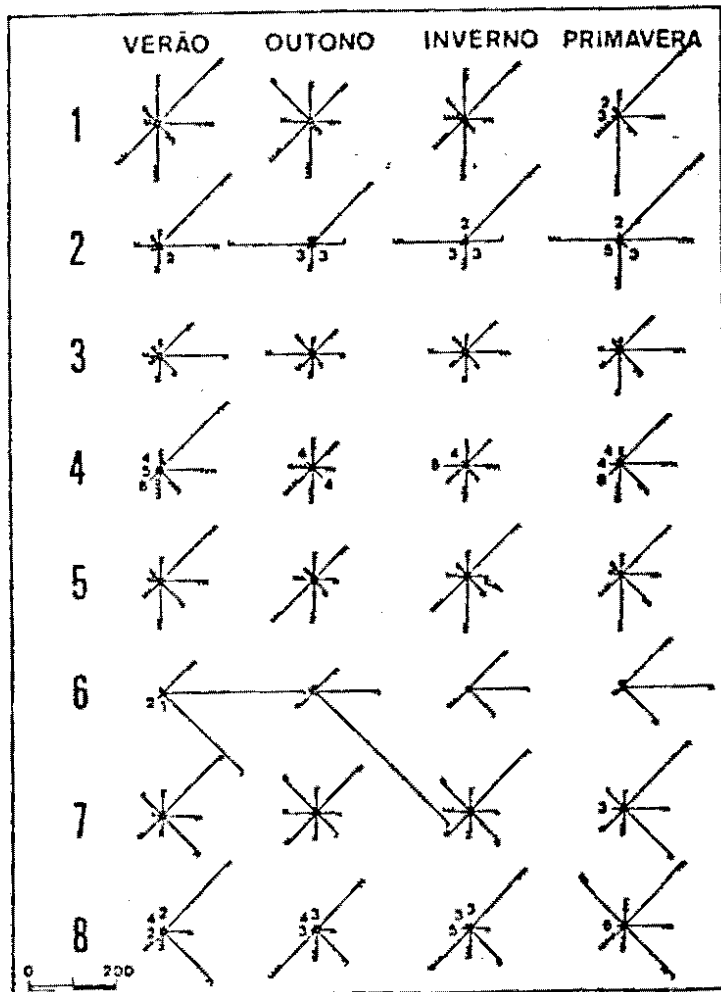
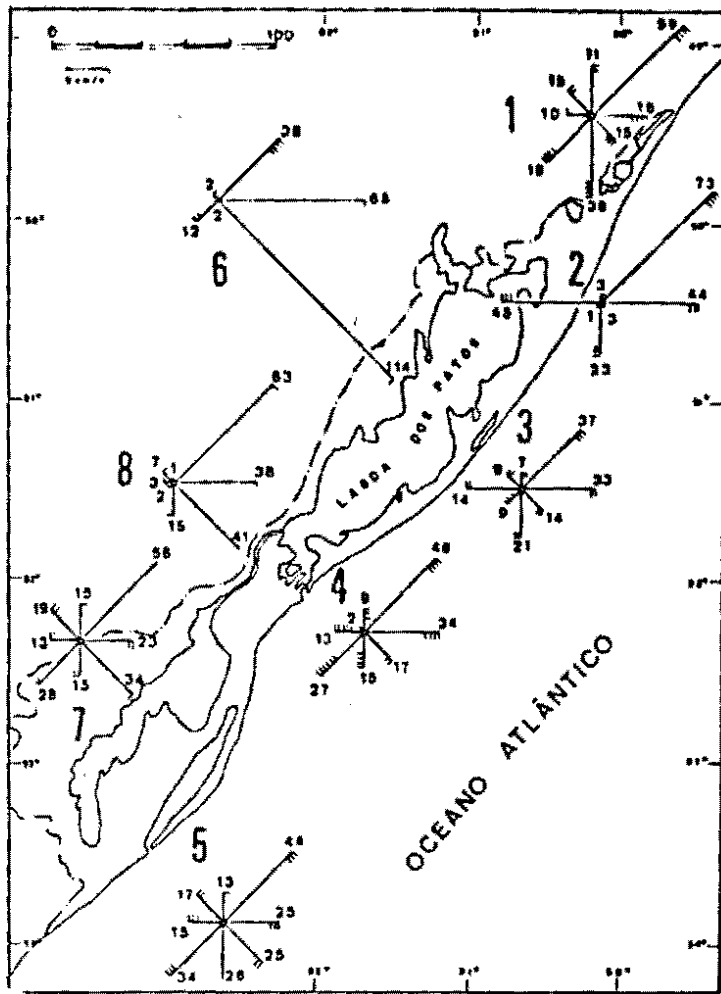


Fig. IV.12-Distribuição anual e sazonal do regime de ventos (Herz, 1977)

Estes efeitos se farão sentir em áreas mais internas (células C3 e C4) se a ação destes ventos estiver combinada com períodos de estiagem na bacia.

De uma maneira geral, os valores de contribuição de montante, bem como a natureza das variações sazonais da precipitação e das características anemométricas, fazem com que os escoamentos de vazante predominem acentuadamente sobre os da enchente (Calliari, 1980).

Deve-se considerar, no entanto, que mesmo em período de grande vazão, ocorre a presença de cunhas salinas, as quais somente são expulsas para fora do Canal do Norte quando ocorrem vazões excepcionais.

A maioria dos trabalhos executados na região consideram a amplitude das marés astronômicas como insignificantes. A maré principal foi caracterizada como diurna, tendo como base a "lista das componentes harmônicas da DHN", onde foram feitas quatro análises desta natureza. De acordo com esta análise, as máximas preamares ficam em torno de 1,2 metros e mínimas baixamares em -0,22 metros, sendo que a média anual das variações diárias do nível da água foi calculada em 0,47 metros (Calliari, 1980).

Assim, nota-se que a maioria dos trabalhos da área em estudo, considera como sendo os regimes de ventos e precipitação os principais fatores responsáveis pela variação do nível da água no estuário.

Estudos mais recentes, efetuados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), com observações em períodos mais longos do que um ano, permitiram realizar análises do comportamento das marés para a região do porto de Rio Grande, classificando o comportamento da maré como sendo do tipo semi-diurna com desigualdade, mas podendo, ao longo do tempo, apresentar características nitidamente como diurna, dependendo das condições de represamento causado por ventos ou por ocasião de

precipitação na região (Hartmann, 1988). Como observado acima, as variações do nível da água atribuídas às marés são da ordem de 10-20% do nível da água.

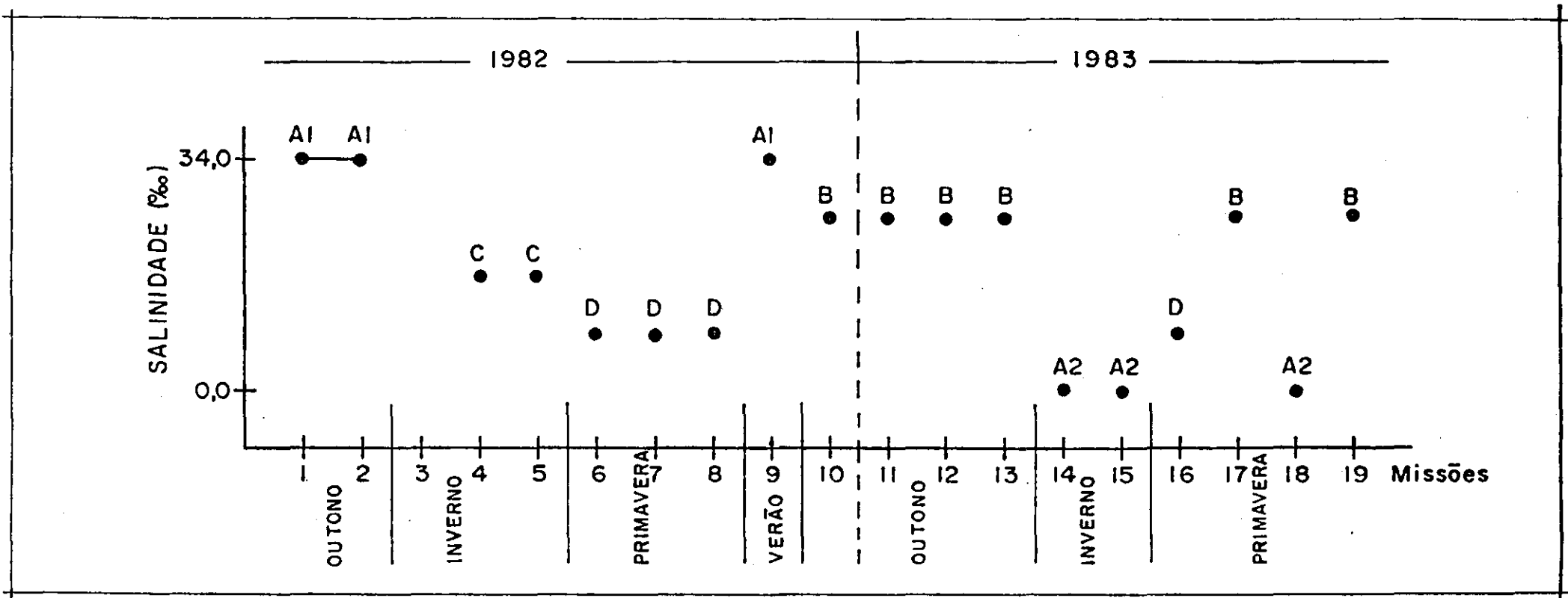
IV . 1.8 - Salinidade

A desembocadura da laguna dos Patos é considerada fisiograficamente como um estuário de Planície Costeira (PC), comum ao longo das costas do Atlântico Norte. Por outro lado, a laguna dos Patos compreende uma laguna costeira, com características de estuário de barreira, formados pelo acúmulo de sedimentos ou ação de ondas a partir de um esporão inicial (Long, 1989). Devido à sua morfologia, cuja seção diminui em direção ao oceano, mostra algumas peculiaridades bem características, que vêm a influir na distribuição dos parâmetros ambientais e de circulação, além das variáveis meteorológicas, já mencionadas anteriormente. A partir dos dados de salinidade e da análise dos perfis ao longo do eixo da desembocadura, o ambiente estuarino foi caracterizado segundo a classificação de Pickard (1975), como mostra a figura IV.13 , em:

- Tipo A1: Verticalmente misturado (outono/verão)
- Tipo B : Parcialmente estratificado (outono/primavera)
- Tipo C : Altamente estratificado (inverno)
- Tipo D : Cunha salina (primavera)
- Tipo A2: Sem estuário (inverno/primavera)

IV . 1.9 - Considerações finais

Os processos de circulação estuarina, principais condicionantes dos fenômenos sedimentares que ocorrem nos estuários, estão geralmente relacionados com as contribuições à montante (descarga fluvial) e com as contribuições provenientes do oceano relacionadas às oscilações de níveis causadas pelas marés astronômicas.



Tipo de Circulação: A1 = Verticalmente misturado
B = Parcialmente estratificado
C = Altamente estratificado
D = Cunha salina
A2 = Sem estuário

Fig. IV.13 - Padrões de circulação estuarina observada através dos dados *in situ*

FONTE : Hartmann (1988)

A partir de 1975 diversos autores começaram a levar em consideração as influências dos ventos nos processos de circulação estuarina em regiões localizadas com regimes meso e macrotidais (Dyer, 1979). Na medida em que as amplitudes de maré diminuem, o regime de ventos passa a ter uma crescente influência nos padrões de circulação em função das modificações por ele causadas nos níveis médios no oceano e no interior do próprio estuário.

No caso do estuário da Laguna dos Patos, situado em uma região com fracas amplitudes de marés (microtidal), o regime de ventos torna-se uma variável que não deve ser desprezada, como já salientado por diversos autores que analisaram o problema (Motta, 1969; Bordas et alii, 1984; Calliari, 1980; Möller et alii, 1984) . Esta variável torna-se mais importante devido às feições morfológicas da região que tem à montante um extenso e raso corpo lagunar, e não um curso d'água como a maioria dos estuários estudados, o qual possui uma ampla superfície onde os ventos podem produzir importantes variações de nível que vão acabar por modificar as condições de fluxo na região estuarina.

IV . 2 - Metodologia

A abordagem, utilizada nesta pesquisa, requer a aquisição de : (1) Imagem digital obtida pelo satélite Landsat/TM ; e (2) amostras de água coletadas por barco simultaneamente a passagem do satélite. Modelos de regressão foram desenvolvidos entre alguns parâmetros de qualidade de água e os dados digitais e aplicados no mapeamento de um desses parâmetros em datas específicas. O presente item foi dividido, para fins de apresentação, nas seguintes seções : (1) Dados *in situ*, (2) Análise das amostras de qualidade de água, (3) Dados digitais, (4) Processamento dos dados digitais, (5) Desenvolvimento de modelos estatísticos e (6) Produção dos resultados finais.

IV . 2.1 - Cartas geográficas, localização, posicionamento e dados *in situ*

As cartas selecionadas para as diferentes etapas do estudo foram as seguintes:

- Carta DHN - 2112 - De Rio Grande à Feitoria
Escala 1:80.000
- Carta DHN - 2101 - Porto de Rio Grande
Escala 1:25.000
- Carta DHN - 2102 - De São José do Norte ao canal da Setia
Escala 1:25.000
- Carta DHN - 2103 - Da barra do canal São Gonçalo
Escala 1:25.000
- Carta batimétrica da área estuarina da laguna dos Patos (Calliari, 1980)
Escala 1:50.000
- Carta DHN - 2110 - Proximidades do Porto do Rio Grande
Escala 1:50.000

Nos levantamentos *in situ* na região em estudo, foi utilizada a lancha oceanográfica Larus da Fundação Universidade do Rio Grande-FURG (figura IV.14), embarcação que possui as seguintes características:

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 NM
Velocidade máxima	15 Kts
Potência total	480 SHP
Tripulação	4
Pesquisadores	Pode acomodar até 6

Suas instalações além da acomodação da tripulação e pesquisadores, compreende um convés de trabalho externo e um laboratório para acondicionamento do material coletado e análises preliminares.

Os dados *in situ* de superfície utilizados neste trabalho para o desenvolvimento dos modelos, foram adquiridos em 15 pontos no ano de 1984 (figura IV.15) durante a 3^o fase do Projeto Material em Suspensão (*Paim e Möller Jr.*, 1986) e estabelecidos através do posicionamento de estações sobre seções transversais, tendo como referência pontos notáveis na costa, bóias e faroletes de sinalização existentes ao longo dos canais de navegação e a profundidade da lâmina d'água, indicada pelas cartas de navegação da DHN na escala de 1:25.000 e ecobatímetro SIMRAD ED (figura IV.15)

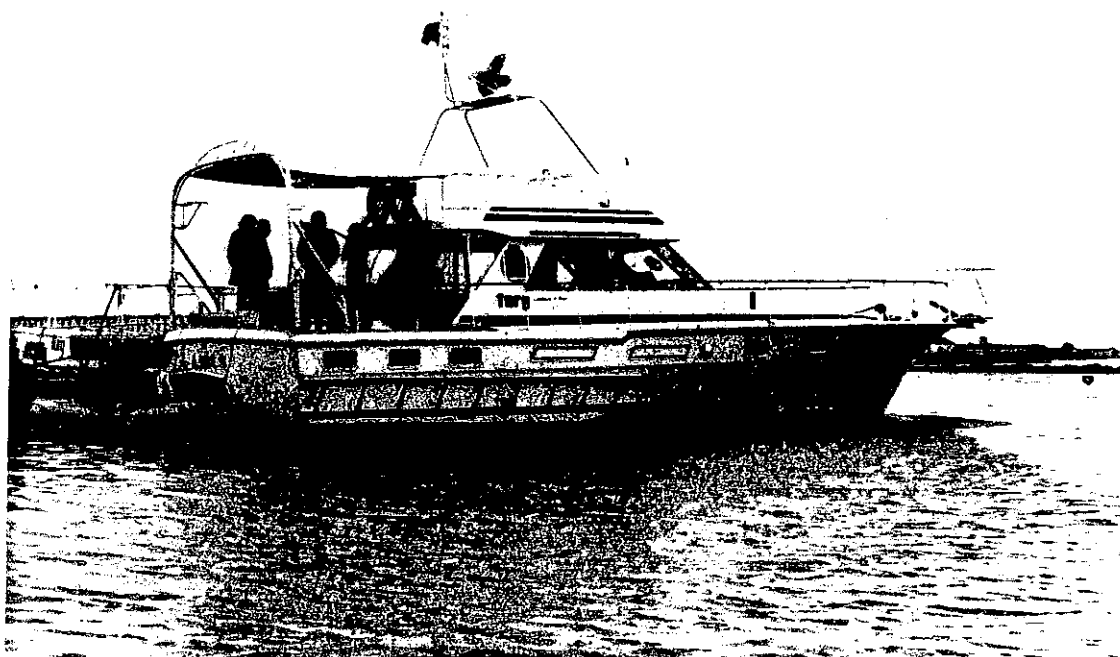


Figura IV.14 : Lancha oceanográfica "Larus"

A tabela seguinte mostra os períodos de amostragem *in situ* na área referentes às passagens do satélite sobre a área, para o ano de 1984.

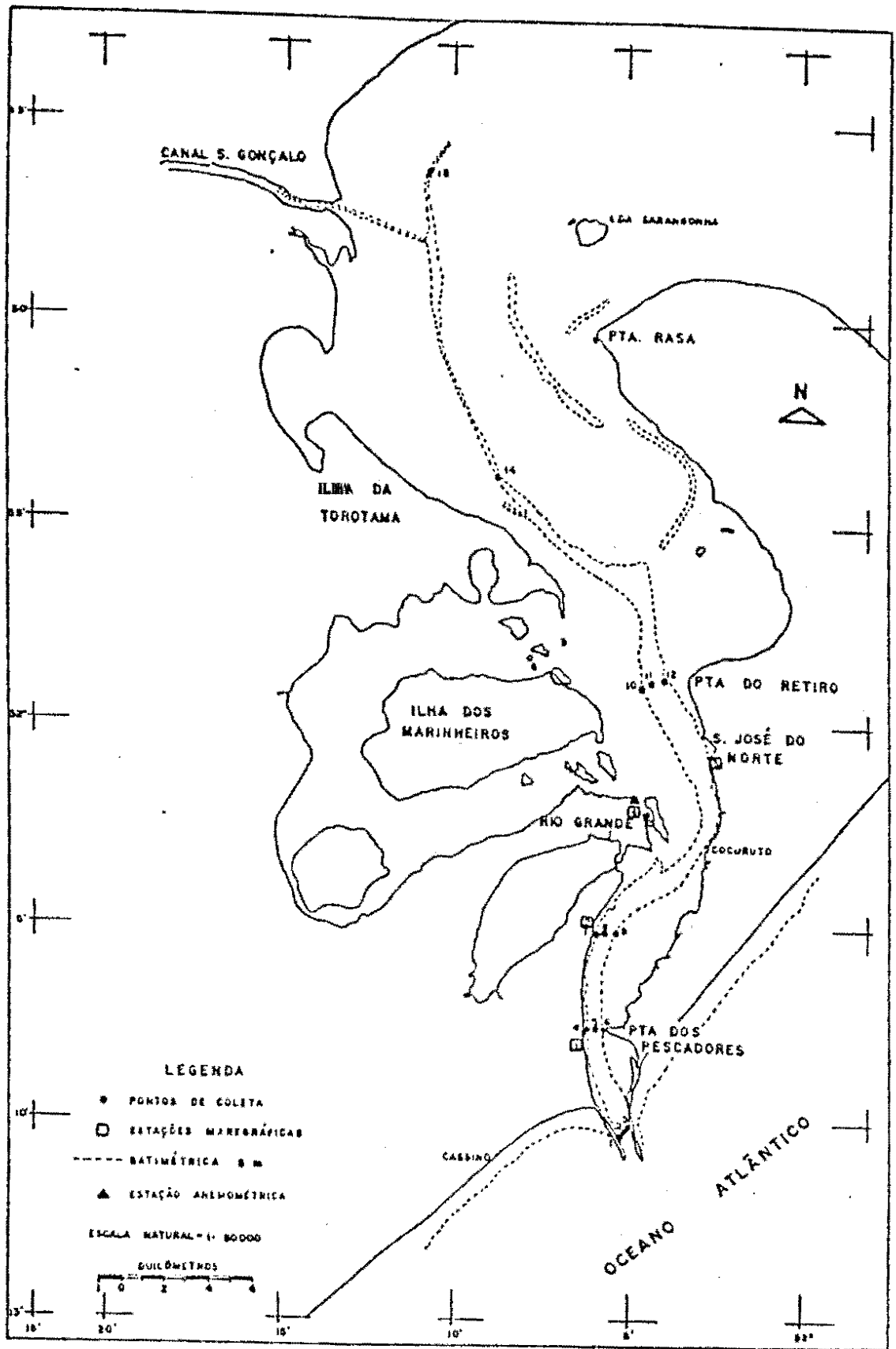


Fig. 10.15 - Localização das estações de coleta no período 1984, maregráficas e anemométrica.

Relação das passagens do LANDSAT-5

Passagem LANDSAT-5 Data	Órbita/ Ponto	Quadrante Utilizado	Canais Utilizados
08/04/84	221/82	C	1-2-3-4-5-6-7
04/12/84	221/82	C	1-2-3-4-5-6-7

Os parâmetros ambientais, em cada ponto de amostragem constam da observação e determinação de parâmetros como: temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), salinidade (‰), transparência (Secchi), material em suspensão total (mg/l), correntes, direção e velocidade do vento. Dados de nível da água na região do canal do Norte foram acompanhados a partir de 2 marégrafos instalados na área.

Levantamentos da precipitação nas bacias de drenagem das lagoas dos Patos e Mirim e dados da vazão dos principais rios que contribuem para os sistemas acima mencionados foram cedidos pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), Estação Agroclimatológica de Pelotas e Portobrás.

IV . 2.2 - Análise dos parâmetros ambientais

As diversas análises relacionadas ao estudo do material em suspensão (MS) e dos demais parâmetros ambientais, foram feitas nos Laboratórios de Oceanografia Geológica (LOG) e Oceanografia Física da Fundação Universidade de Rio Grande (FURG). Após o término de cada cruzeiro as amostras eram levadas aos laboratórios acima referidos e imediatamente analisadas.

As coletas de água para a determinação do material em suspensão total (MS) foram obtidas utilizando-se uma garrafa horizontal modificada de Otmann (figura IV.16). As amostras eram colocadas em garrafas plásticas de 250 ml e refrigeradas para posterior análise em laboratório, logo após o término do cruzeiro.

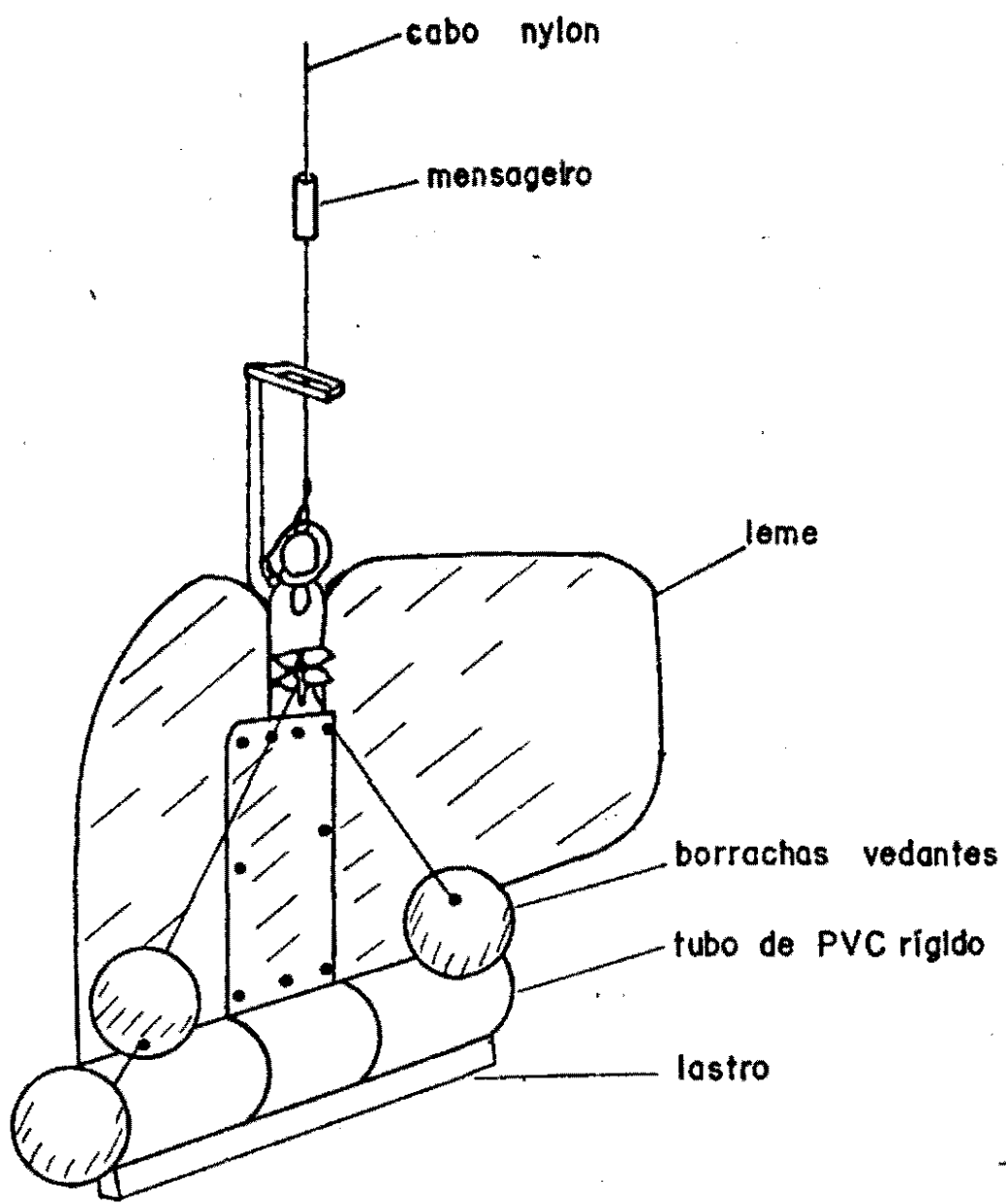


Figura IV.16 : Garrafa horizontal de coleta

FONTE : Hartmann (1988)

Para a análise do MS total utilizou-se da filtração das amostras através de filtros com 0.45 micras de poro e 45 mm de diâmetro, de acetato de celulose, empregando seis sistemas de filtração simultâneos e com o auxílio de uma bomba à vácuo. O cálculo do MS total obteve-se pela diferença de peso antes e após a filtração; as pesagens dos filtros foram feitas em balança analítica Metler H54 com resolução ao nível de 0.01 mg.

Os dados de salinidade foram obtidos por intermédio de um termossalinômetro de medição com eletrodo marca Beckmann com precisão de 0.02 ‰ segundo o fabricante.

IV . 2.3 - Dados de reflectância

A radiância medida por qualquer sistema sobre um determinado alvo é influenciada por fatores como a geometria da aquisição dos dados, condições atmosféricas, mudanças na iluminação da cena (figura III.19), e características das respostas dos instrumentos .

Esses fatores provocam mudanças nas condições de obtenção da imagem, sendo necessário a normalização destes efeitos. Por exemplo, tais aplicações são necessárias quando existem imagens obtidas em diferentes épocas e/ou por diferentes sensores . Outro caso em que tais conversões são importantes é no desenvolvimento de modelos matemáticos em que a imagem relata medidas quantitativas do terreno (p. ex.: parâmetros de qualidade de água).

Imagens digitais, em fitas CCT, vem normalmente expressas em números digitais (8 bits ou 6 bits, em geral). Números digitais se constituem em uma maneira bastante adequada para fins de armazenamento e processamento de imagens digitais, mas tem o inconveniente de não possuírem diretamente nenhum significado físico.

Robinove (1982), sugere converter números digitais para valores com significado físico (radiância e/ou reflectância) para evitar algumas conclusões incorretas a partir da análise desses dados.

Nelson (1985) calculou os seguintes elementos a partir de dados digitais MSS : 1) Radiância, 2) Reflectância, 3) Reflectância corrigida levando em conta a variação na distância terra /sol, 4) Números digitais normalizados e 5) Razão de canais.

Seus resultados indicaram que a reflectância foi o elemento mais efetivo de todos, para reduzir a variabilidade entre as imagens.

Segundo Markham e Barker (1986), a conversão de números digitais em valores físicos (radiância e/ou reflectância) fornece a melhor base de comparação de dados entre imagens obtidas em diferentes datas e/ou por diferentes sensores.

A fórmula de conversão (número digital em radiância) usada neste estudo, que tem sido utilizada por um grande número de pesquisadores (Robinove, 1982; Nelson, 1985; Markham e Barker, 1986) é :

$$L_{\lambda} = L_{\text{MIN}\lambda} + (L_{\text{MAX}\lambda} - L_{\text{MIN}\lambda}) \cdot (Q_{\text{CAL}} / Q_{\text{CALMAX}})$$

onde :

- L_{λ} - radiância espectral;
- Q_{CAL} - radiância calibrada em uma escala de números digitais.
- $L_{\text{MIN}\lambda}$ - radiância espectral quando $Q_{\text{CAL}} = 0$ (tab.IV.1)
- $L_{\text{MAX}\lambda}$ - radiância espectral quando $Q_{\text{CAL}} = Q_{\text{CALMAX}}$ (tabela IV.1)
- Q_{CALMAX} - faixa da radiância espectral em números digitais (255 para o TM).

A conversão dos valores de radiância obtidos, como descritos acima, para reflectância é feita usando a fórmula apresentada por Markham e Barker (1986) :

$$\rho = (\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2) / (esun \cdot \cos z)$$

onde :

- ρ - reflectância aparente no topo da atmosfera;
- L_{λ} - radiância espectral, obtida na equação anterior;
- d - distância terra/sol em unidades astronômicas;
- $esun$ - irradiância solar média no topo da atmosfera; (tabela IV.2)
- z - ângulo zenital do sol.

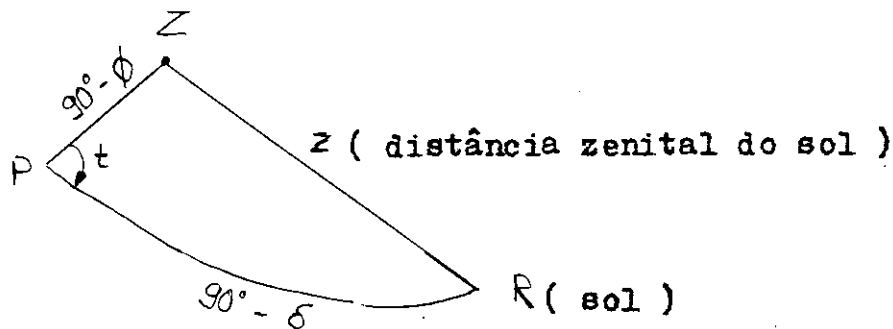
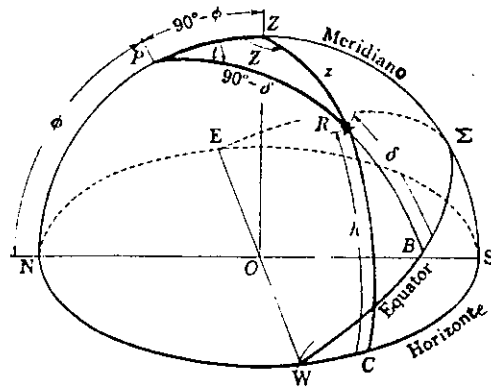


Figura IV.17 : Triângulo astronômico

FONTE : Nassau (1948)

Tabela IV:1 : Radiâncias espectrais Lmin e Lmax

Banda	Antes Ago/83		Antes Jan/84		Após Jan/84	
	LMIN _A	LMAX _A	LMIN _A	LMAX _A	LMIN _A	LMAX _A
TM 1	-0.152	15.842	0.000	14.286	-0.15	15.21
TM 2	-0.284	30.817	0.000	29.125	-0.28	29.68
TM 3	-0.117	23.463	0.000	22.500	-0.12	20.43
TM 4	-0.151	22.432	0.000	21.429	-0.15	20.62
TM 5	-0.037	3.242	0.000	3.000	-0.037	2.719
TM 6	0.20	1.564	0.484	1.240	0.1238	1.5600
TM 7	-0.015	1.700	0.000	1.593	-0.015	1.438

FONTE : Markhan e Barker, 1986

Tabela IV.2 : Irradiância espectral média no topo da atmosfera

Banda	Satélite	LANDSAT-4	LANDSAT-5
TM 1		195.8	195.7
TM 2		182.8	182.9
TM 3		155.9	155.7
TM 4		104.5	104.7
TM 5		21.91	21.93
TM 7		7.457	7.452

FONTE : Markhan e Barker, 1986

Para se obter z , utilizou-se do triângulo esférico apresentado na figura IV.17 (esta figura representa a situação em que o observador se encontra no hemisfério Norte mas as conclusões são válidas em geral) e aplicando fórmulas de trigonometria esférica no método proposto por Walravem (1978) obtem-se :

$$\cos z = \operatorname{sen}\phi \cdot \operatorname{sen}\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos t$$

onde :

ϕ - latitude do sítio de amostragem;

δ - declinação do sol no momento da aquisição da imagem (passagem do satélite).

t - ângulo horário no momento da passagem do satélite.

A reflectância, calculada dessa forma, assume que o alvo é lambertiano e os efeitos atmosféricos na resposta do alvo, também são lambertianos (Robinove, 1982; Nelson, 1985).

Nos procedimentos descritos anteriormente, calculou-se uma reflectância aparente, ou seja, um valor medido no topo da atmosfera , afetado portanto pela contribuição atmosférica, e não a reflectância verdadeira do alvo. Nesta pesquisa, a conversão de números digitais armazenados nas CCT's para valores de reflectância foi executada utilizando as equações acima e foi desenvolvido no programa REFLECT descrito em Shimabukuro (1987).

IV . 2.4 - Análise da imagem digital

Uma imagem pode ser descrita por uma função $f(x,y)$, onde x , y representam coordenadas espaciais sobre a imagem e $f(x,y)$ o número digital ou reflectância da imagem na posição (x,y) . Em uma imagem digital, $f(x,y)$ é discretizada tanto em relação às coordenadas (x,y) , como também quanto ao nível de cinza $f(x,y)$. Uma imagem digital é, portanto, representada por uma matriz. As linhas e colunas identificam a posição de cada um desses elementos

que compõem a imagem. O valor numérico desses "elementos" indicam a radiância (ou reflectância) média associada aos elementos da imagem. Esses elementos da imagem são geralmente conhecidos por "pixels".

Esse tipo de representação da imagem torna-a adequada a sua análise por computadores.

A análise dos dados digitais, obtidos das CCT's foi realizado, utilizando-se o Sistema Interativo de Tratamento de Imagens - SITIM 150, instalado no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, CEP SRM em Porto Alegre.

O SITIM 150 é formado por um computador e uma unidade de visualização modular, que pode operar independentemente ou como estação de trabalho ligada a um computador de maior porte. Suas principais características são :

- Utilização de até 4 planos de imagens 1024 x 1024 pontos de 4 ou 8 bits cada, totalizando 4 Mb.

- Visualização da imagem através de uma janela de até 512 x 512 pontos. A janela pode ser deslocada sobre a imagem (vão) utilizando um fator de escala qualquer (zoom).

- Geração de cores verdadeiras, utilizando um plano de imagem para cada cor primária (R,G,B) ou cores falsas, utilizando um único plano de imagem.

- Utilização de um plano gráfico que pode ser visualizado independentemente ou sobreposto à imagem.

IV.2.4.1 - Pré-processamento da imagem

Inicialmente, as imagens foram submetidas a algumas operações de maneira a torná-las mais adequadas ao presente trabalho.

A primeira operação consiste em diminuir o ruído presente na imagem, sobre o corpo d'água. Esse objetivo normalmente é obtido, aplicando-se à imagem um filtro

passa-baixas. No caso em estudo, a filtragem foi efetuada diretamente no domínio espacial (em lugar do domínio das frequências). Três diferentes filtros foram testados.(figura IV.18).

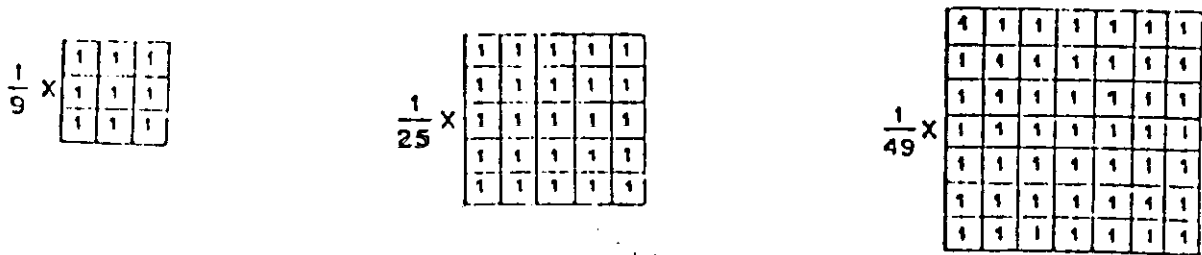


Figura IV.18 : Filtros

Filtros passa-baixas atenuam ou removem inteiramente os padrões na imagem que correspondem às frequências espaciais altas, dos quais o ruído é um dos mais importantes.

A localização dos pontos de amostragem na imagem, para obtenção do número digital, foi efetuada diretamente na tela do sistema SITIM 150, de uma forma visual, utilizando-se as informações, fornecidas pela equipe de campo da FURG. Nessa operação, números diferentes de pixels por estação de amostragem foram utilizados.

Segundo o critério proposto por Ritchie e Cooper (1987) foram feitas medidas utilizando um único pixel por ponto de amostragem, agrupamentos de 3x3 e 5x5 pixels, centrados em torno do pixel inicial. Nos dois últimos casos, o número digital associado ao ponto de amostragem foi tomado como a média dos números digitais dos pixels contidos nos agrupamentos. Com esse procedimento, visou-se levar em conta a variabilidade dos dados na imagem digital bem como tentar minimizar os efeitos da incerteza na localização dos pontos de amostragem.

IV.2.4.2 - Correção atmosférica.

A radiância medida pelo sensor é composta basicamente de dois termos - a radiância originária da superfície no campo de

visada do sensor e outra componente proveniente da atmosfera. Em itens anteriores, observa-se que a informação é composta de duas componentes - uma direta e outra indireta, sendo este último termo a componente atmosférica presente no sinal que chega ao sensor.

Em uma forma matemática, a medida da radiância Y_{ij} para o pixel i e banda espectral j pode ser expressa como:

$$Y_{ij} = c_i x_{ij} + d_j + e_{ij}$$

onde :

$c_i x_{ij}$: informação devido a componente direta da radiância.

d_j : contribuição atmosférica ou componente indireta da radiância.

e_{ij} : variabilidade não explicada pelo modelo.

O termo c_i é uma constante que descreve o efeito topográfico do pixel em relação a posição solar durante o imageamento.

x_{ij} é proporcional a reflectância média superficial do pixel i na banda espectral j e sua composição já foi apresentada em itens anteriores.

O termo aditivo d_j é a contribuição atmosférica (desconhecida) para a banda espectral j , sendo considerada constante ao longo de uma área de interesse. Naturalmente, este termo não será, rigorosamente, constante ao longo da imagem; mas varia devido : (a) mudanças nas condições atmosféricas ao longo da imagem ; (b) direção de varredura do sensor relativa a posição solar e (c) variação da radiância média nos pixels vizinhos.

Estes tres efeitos contribuem de forma um pouco diferente em cada pixel da imagem. Idealmente, deseja-se subtrair o termo d_j de cada pixel da imagem.

O método escolhido para estimar a componente d_j foi o da regressão (Chaves , 1975). Este método usa regressões dos dados digitais das bandas do visível com o infravermelho. O coeficiente linear de cada equação de regressão fornece uma estimativa do termo d_j nas bandas do visível porque a informação contida nas bandas Landsat tendem a ser altamente correlacionadas.

IV . 2.5 - Modelo utilizado para a análise

No presente estudo foi adotado um modelo linear de regressão para descrever o comportamento de alguns parâmetros de qualidade de água em função dos dados de resposta espectral.

A suposição cuja validade deve ser testada estatisticamente, é de que as características espectrais de água dependem em alto grau de certos parâmetros de qualidade de água permitindo o estabelecimento de um modelo linear que explique a variação dos últimos em função dos primeiros.

A finalidade desse trabalho consiste, portanto, em desenvolver e testar um modelo semelhante para a região estuarina da Laguna dos Patos. Variável (ou variáveis) cuja obtenção é relativamente fácil é assumida como variável independente (x). Variável de determinação mais difícil (maior custo em tempo e/ou recursos financeiros) é assumida como variável dependente (y). No caso presente, a variável independente passa a ser as características de resposta espectral do corpo d'água (x), obtidas de forma digital das CCT's, enquanto que as variáveis dependentes passam a ser os parâmetros de qualidade água (y). O modelo linear assume, então, a forma:

$$Y = ax + b + \epsilon$$

onde: ϵ - Variável aleatória que descreve a discrepância entre o valor predito pelo modelo ($Y = ax + b$) e o real valor medido de Y.

Y - Variável independente.

X - Variável dependente.

a e b - Parâmetros do modelo, a serem estimados.

A validade do modelo repousa nas seguintes suposições:

- Os valores de x são conhecidos, isto é, x não é uma variável aleatória.

- Y é uma variável aleatória; para cada valor de x, Y apresenta uma distribuição normal média $\mu_{y/x} = ax + b$ e variância $\sigma^2_{y/x}$.

- Os diversos valores de Y são independentes entre si.

- $\sigma^2_{y/x} = \sigma^2$ é constante, para qualquer x.

Os coeficientes do modelo linear a e b e mais o parâmetro σ^2 são desconhecidos, devendo ser estimados a partir de observações (x_i, y_i) , com $i = 1 \dots n$, sendo n o tamanho da amostra.

A técnica utilizada consiste em minimizar o somatório dos quadrados das discrepâncias entre os valores medidos Y_i e os valores preditos \hat{Y}_i (método dos mínimos quadrados).

Para decidir se o modelo linear simples adotado descreve efetivamente a relação entre X e Y, e também para levar em consideração as incertezas resultantes do fato de estarmos utilizando uma amostra, é prática comum calcular-se intervalos de confiança e/ou testar hipóteses a respeito de valores numéricos para os parâmetros "a" e "b", com base nos valores estimados \hat{a} e \hat{b} e a própria linha de regressão. Os procedimentos para testes estatísticos para regressão simples são apresentados no anexo I.

É um fato já conhecido que a região mais adequada do espectro eletromagnético para estudos desta natureza, situa-se na região 0.6 - 0.7 μm . Nessa região, a água apresenta uma transmitância mais elevada (menor absorção, permitindo uma melhor interação entre a radiação incidente e alguns parâmetros de interesse como sólidos em suspensão, concentração de clorofila e outros). Por esta razão as análises foram efetuadas utilizando-se o canal TM-3 (0.63 - 0.69 μm). A alta absorção da água a partir do infra-vermelho próximo torna a utilização dos canais correspondentes menos adequada.

A maior adequacidade do canal TM-3, não significa, entretanto, que outras bandas espectrais sejam irrelevantes. Informações contidas em outros canais podem ser utilizadas para melhorar a capacidade do modelo em predizer os parâmetros de qualidade de água. Neste caso, modelos de regressão múltipla podem ser utilizados.

É um fato conhecido, entretanto, que na maior parte das aplicações, as diversas bandas espectrais disponíveis nos sistemas sensores utilizados, apresentaram alta correlação. Por essa razão, a sua utilização simultânea torna-se ineficiente: o aumento da dimensionalidade do problema não é acompanhado por um ganho equivalente em informação. Este fato é ilustrado na tabela IV.3, que reproduz a matriz variância-covariância entre números digitais, em um estudo envolvendo os canais TM-1, TM-2, TM-3 e TM-4, do sistema Landsat, quando aplicadas a uma cena cobrindo a região estuarina da Laguna dos Patos. Fica evidente aqui o alto grau de correlação existente entre essas bandas espectrais.

TABELA IV.3 - Matriz de covariância entre canais TM
(Região estuarina da Laguna dos Patos)

	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4
TM-1	3.25	3.75	6.00	1.25
TM-2	3.75	5.44	7.90	1.51
TM-3	6.00	7.90	13.1	3.43
TM-4	1.25	1.51	3.43	2.03

FONTE : Mendes et alli (1990)

Uma maneira de minimizar esse problema, consiste no emprego de técnicas de análise multivariada: as bandas espectrais originais são transformadas, gerando canais "transformados" com baixa correlação. Essa operação permite, portanto, reduzir a dimensionalidade do problema, preservando, ao mesmo tempo, a informação contida nas bandas espectrais originais. Neste trabalho, a transformação "Componentes Principais" é utilizada e apresentada no anexo I.

IV . 2.6 - Produção dos resultados

Escolhido o modelo mais adequado para mapear parâmetros de qualidade de água partindo-se dos dados digitais, tem-se:

- a) Leitura das CCT's;
- b) Aplicação do programa REFLECT;
- c) Correção atmosférica ;
- d) Aplicação dos modelos

Material em suspensão (anexo II);

Transparência (anexo III).

V . RESULTADOS

V.1 - Análise dos modelos

Todas as análises foram executadas entre a banda espectral TM-3 e o canal transformado (1^a componente principal - TM-1, TM-2, TM-3 e TM-4).

A tabela V.1 ilustra o resultado da transformação (componentes principais).

TABELA V.1 - Matriz variância-covariância para as componentes principais (Região estuarina da Laguna dos Patos-RS)

	1 ^o C.P.	2 ^o C.P.	3 ^o C.P.	4 ^o C.P.
1 ^o C.P.	21,68	0	0	0
2 ^o C.P.	0	1,55	0	0
3 ^o C.P.	0	0	0,43	0
4 ^o C.P.	0	0	0	0,17

As componentes principais são não correlacionadas. As variâncias indicam os diversos graus segundo os quais essas componentes descrevem as informações contidas na imagem.

A tabela V.2 permite uma comparação entre a variância dos canais originais (TM-1, TM-2, TM-3 e TM-4) e a variância dos canais transformados (componentes principais).

TABELA V.2 - Variância dos níveis de cinza dos canais originais e canais transformados.

CANAL ESPECTRAL	VARIANCIA	% TOTAL	COMPON. PRINCIPAL	VARIANCIA	% TOTAL
TM-1	3.25	13.6	1° C.P.	21.68	91.0
TM-2	5.44	22.8	2° C.P.	1.55	6.5
TM-3	13.11	55.1	3° C.P.	0.43	1.8
TM-4	2.03	8.5	4° C.P.	0.17	0.7

Pela análise da tabela V.2, verifica-se que os canais originais têm uma variância total (informação), distribuída entre si de modo mais ou menos equitativo. Após a transformação, a primeira componente principal passa a conter 91% da variância total dos dados, concentrando a informação, antes diluída em 4 dimensões, em uma única dimensão. Por esta razão, as análises foram efetuadas utilizando-se, também, a 1ª componente principal.

Inicialmente os dados (9 estações amostrais - imagem de 08/04/84) foram analisados com relação aos parâmetros salinidade, material em suspensão e transparência. Em cada caso, os seguintes elementos foram estimados a partir das amostras :

- equação da linha de regressão;
- coeficiente de determinação;
- variância da variável independente (Y) em relação ao valor predito pelo modelo, isto é, em relação à linha de regressão.

A análise foi feita utilizando-se a tabela V.3.

Os dados importantes para avaliação da validade do modelo linear, são resumidos na tabela V.3. Nessa tabela, constam o coeficiente de determinação R^2 e a estatística F para teste de significância do modelo adotado para os diversos casos.

TABELA V.3 - Sumário dos resultados obtidos

BANDAS/ COMPONENTES	FILTRO	TAMANHO AMOSTRA	MATERIAL EM SUSPENSÃO (mg/l)		SALINIDADE ‰		TRANSPARÊNCIA (m)	
			R ²	F	R ²	F	R ²	F
TM-3	SEM FILTRO	1 x 1	69,1	15,64	5,9	0,40	87,2	99,61
		3 x 3	63,1	11,96	7,4	0,56	94,1	111,27
		5 x 5	53,9	8,19	7,8	0,60	96,1	172,72
	FILTRO 3x3	1 x 1	58,5	9,88	8,2	0,62	95,0	131,76
		3 x 3	58,5	9,88	8,2	0,62	95,0	131,76
		5 x 5	55,8	8,83	9,9	0,77	94,8	127,58
	FILTRO 5x5	1 x 1	55,7	8,83	9,9	0,77	94,8	127,58
		3 x 3	55,8	8,83	9,9	0,77	94,8	127,58
		5 x 5	58,8	10,00	11,6	0,92	94,8	127,58
	FILTRO 7x7	1 x 1	55,2	8,64	11,3	0,89	96,0	167,65
		3 x 3	56,0	8,89	15,7	1,30	95,3	141,24
		5 x 5	56,0	8,89	15,7	1,30	95,3	141,24
1ª COMPONENTE PRINCIPAL (obtida das bandas TM-1, TM-2, TM-3 e TM-4)	SEM FILTRO	1 x 1	87,1	47,06	16,2	1,35	88,3	52,99
		3 x 3	75,5	21,59	12,0	0,95	89,8	61,91
		5 x 5	71,0	17,18	10,3	0,80	89,7	61,10
	FILTRO 3x3	1 x 1	78,1	24,95	10,5	0,82	92,4	85,64
		3 x 3	80,9	29,56	10,0	0,78	89,4	59,04
		5 x 5	72,6	18,52	10,0	0,78	92,2	82,39
	FILTRO 5x5	1 x 1	72,5	18,43	9,4	0,72	92,4	85,02
		3 x 3	72,3	18,29	9,2	0,71	92,2	82,48
		5 x 5	72,7	18,68	9,5	0,73	92,4	85,34
	FILTRO 7x7	1 x 1	69,5	15,99	8,5	0,65	90,7	68,62
		3 x 3	68,0	14,90	7,5	0,57	90,9	70,25
		5 x 5	66,5	13,90	8,6	0,66	93,3	96,86

$$F_{(4, 7, 0.95)} = 5.59$$

FONTE : Mendes et alii (1990)

A análise da tabela V.3 permite as seguintes conclusões : o modelo de regressão linear simples mostra-se eficaz para descrever a transparência da água em função da reflectância observada na banda TM-3. Em todos os casos estudados, a estatística F obtida a partir da amostra permite concluir que o modelo proposto é significativo a um nível de confiança de 95% . Coerentemente, os valores de R² que exprimem a percentagem da variação total do parâmetro transparência, explicada pelo modelo, é alta.

Observa-se que a aplicação de filtros "passa-baixas" não introduz nenhuma alteração notável nos resultados. Da mesma forma, o número de pixels utilizados sobre cada ponto amostral não resultou em variações, excepto no caso da imagem original, como seria de se esperar. Mas, mesmo nesse caso, a variação foi pequena. Esse último efeito pode ser explicado pela pouca (ou nenhuma) variabilidade da transparência da água nas dimensões atingidas pelo alvo.

TABELA V.4 - Resultados do modelo linear de regressão
Parâmetro: transparência, imagem original
e alvo de 5x5 pixels.

The regression equation is
 $TRANS = 0.673 - 0.00857 (TM3)$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio
Constant	0.67265	0.01931	34.84
(TM3)	-0.0085699	0.0006521	-13.14

s = 0.009304 R = sq = 96.1%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F
Regression	1	0.014950	0.014950	172.72
Error	7	0.000606	0.000087	
Total	8	0.015556		

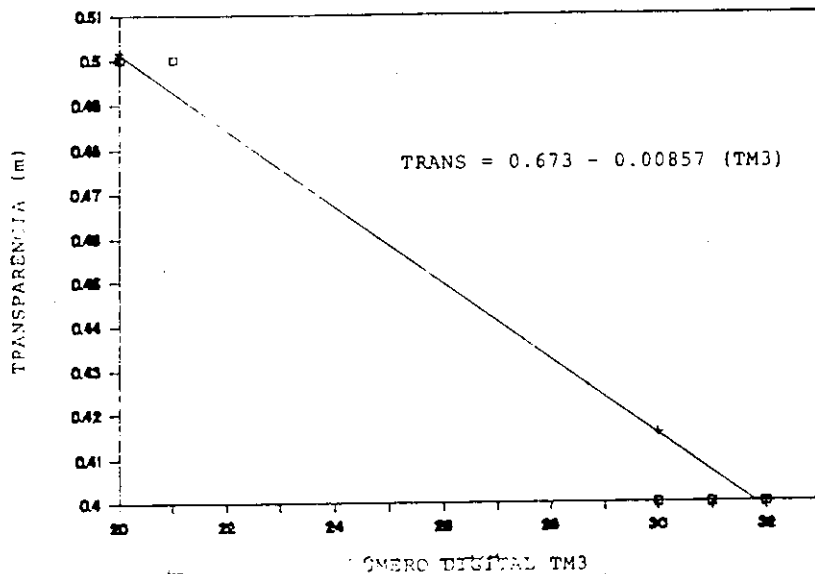


Figura V.1 - Linha de Regressão.

Resultados mais completos para o caso da imagem original e alvo 5 x 5 pixels ($R^2 = 96.1\%$) é mostrado na tabela V.4 e figura V.1 .

Para o caso do material em suspensão, a tabela V.3 mostra, ainda, os resultados obtidos quando a banda TM-3 é substituída pela primeira componente principal no modelo de regressão linear simples. O coeficiente de determinação R^2 chega a um valor de 87,1%, para uma amostra de 1 pixel e imagem não filtrada (contra 60,1% para o canal TM-3). Ao nível de confiança de 95%, a suposição de que o modelo linear é significativo pode ser aceita, com base nos dados amostrais ($F = 47,06$).

Os resultados mais completos para o caso da imagem transformada (primeira componente principal) e o alvo de 1 pixel ($R^2 = 87,1%$) é mostrada na tabela V.5 . Da mesma forma que no caso da transparência, os resultados obtidos para o material em suspensão sugerem pouca influência do processo de filtragem na imagem o que pode ser explicado pela ausência de variações significativas na imagem em áreas comparáveis à dimensão dos filtros utilizados.

TABELA V.5 - Resultados do modelo linear de regressão. Parâmetro : Material em suspensão, imagem transformada (1^o C.P.) e alvo de 1 pixel.

The regression equation is					
MS = 56.2 - 2.55 Y					
Predictor	Coef	Stedv	t-ratio	P	
Constant	-56.20	13.34	-4.21	0.004	
(Y-1 ^a C.P.)	-2.5520	0.3720	-6.86	0.000	
s = 4.899		R-sq = 87.1%			
Analysis of Variance					
SOURCE	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1129.4	1129.4	47.06	0.000
Error	7	168.0	24.0		
Total	8	1297.4			

onde:

$$Y = 0,363(TM-1) - 0,479(TM-2) - 0,775(TM-3) - 0,195(TM-4)$$

Salinidade é o parâmetro que apresentou a mais fraca relação linear com a reflectância. Esse resultado já era esperado, pois sais inorgânicos em solução não alteram as características espectrais da água. A pequena relação existente deve-se a outros

elementos associados à salinidade da água na região de estudo e que afetou, embora levemente, a reflectância.

Da tabela V.3 pode-se observar que a parcela da variação de salinidade explicada pelo modelo é muito baixa, variando entre 5,9% a 16,2% . A estatística F permite concluir que, a nível de confiança de 95% e com base nos dados amostrais, a hipótese $\alpha=0$ pode ser aceita, isto é, a reta de regressão não é significativa.

A figura V.2 apresenta o mapeamento superficial de material em suspensão obtido pelo modelo descrito na tabela V.5. (Imagem - 08/04/84 - dados de reflectância e sem correção atmosférica).

Em uma etapa posterior utilizou-se 23 estações amostrais (imagem 08/abr/84 e 04/dez/84 - Anexo IV). Utilizando a metodologia descrita anteriormente, apresenta-se os resultados do modelo linear múltiplo entre material em suspensão e os quatro canais TM , sem correção atmosférica :

TABELA V.6 - Resultados do modelo linear de regressão. Parâmetro : Material em suspensão, imagem original (sem correção atmosférica) e alvo de 1 pixel.

The regression equation is				
$MS = -30.9 + 2.1*(TM1) - 1.39*(TM2) + 2.17*(TM3) + 0.45*(TM4)$				
Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	
Constant	-30.94	25.53	-1.21	
TM1	2.097	2.054	1.02	
TM2	-1.394	1.759	-0.79	
TM3	2.166	0.857	2.53	
TM4	0.447	2.098	0.21	
s = 7.412		R-sq = 72.5 %		
Analysis of Variance				
SOURCE	DF	SS	MS	F
Regression	4	2601.52	650.38	11.85
Error	18	988.92	54.94	
Total	22	3590.44		

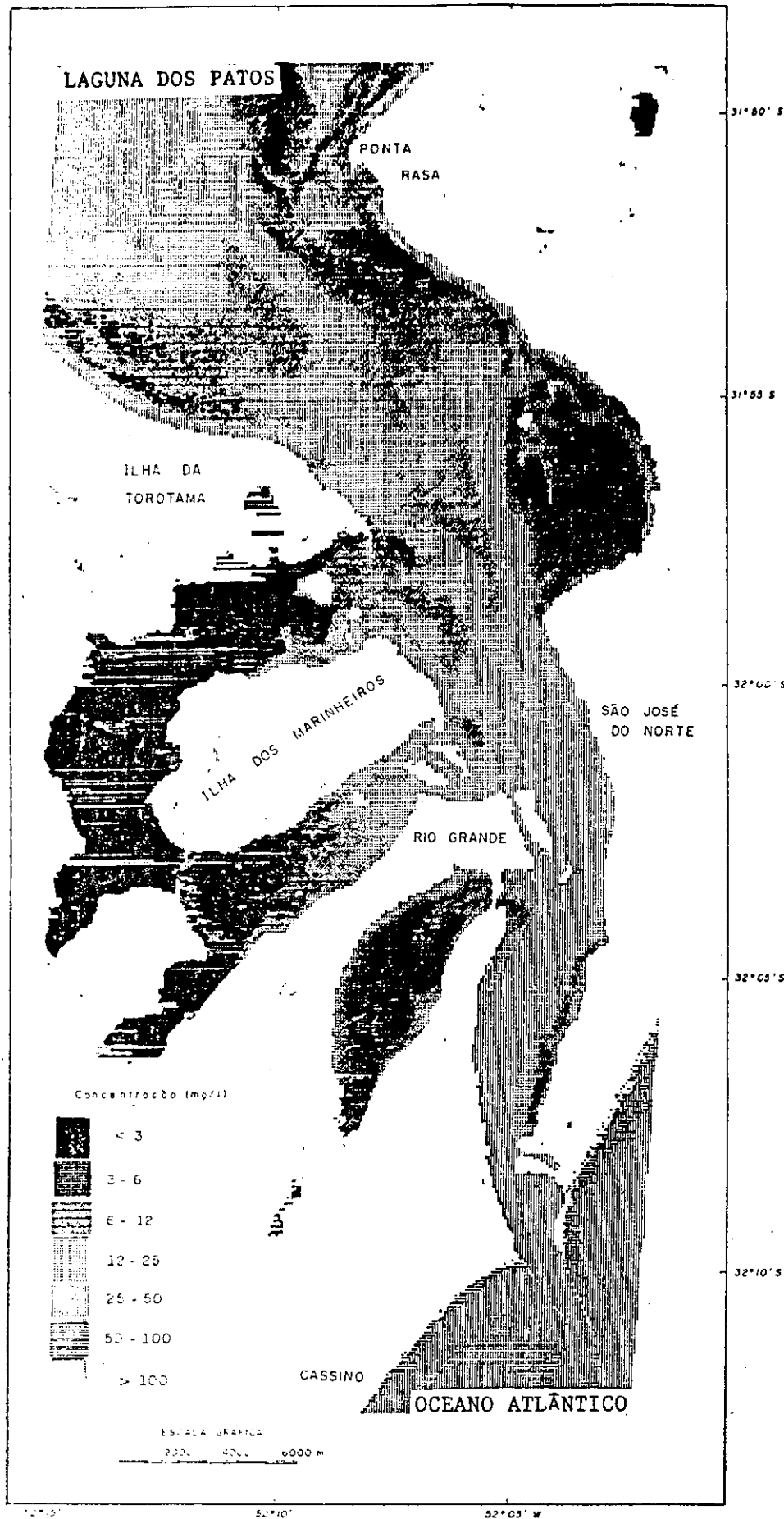


Figura V.2 Mapeamento da concentração de sedimentos superficiais

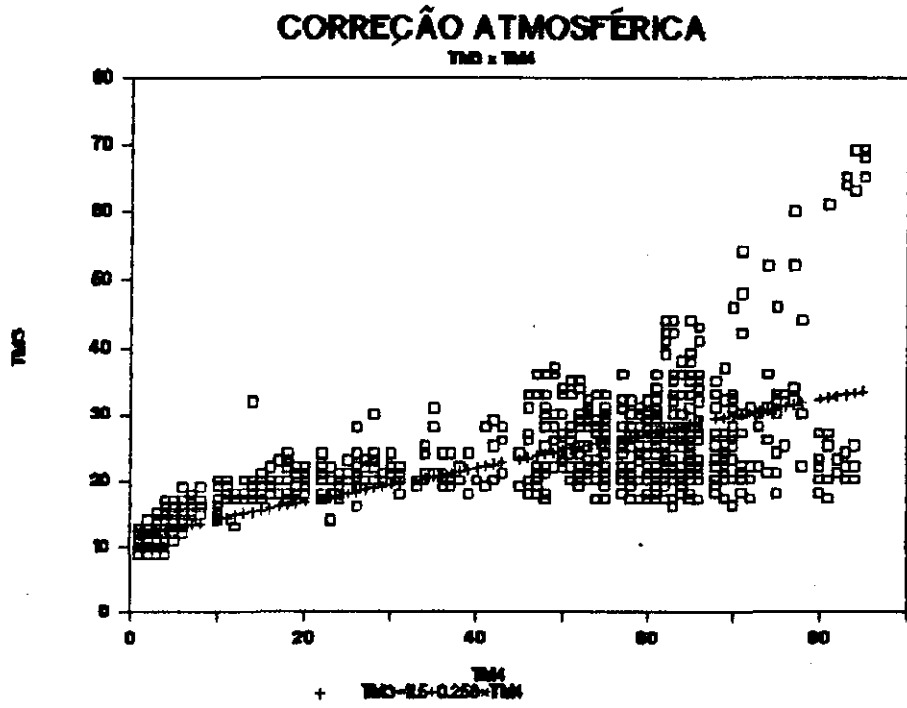
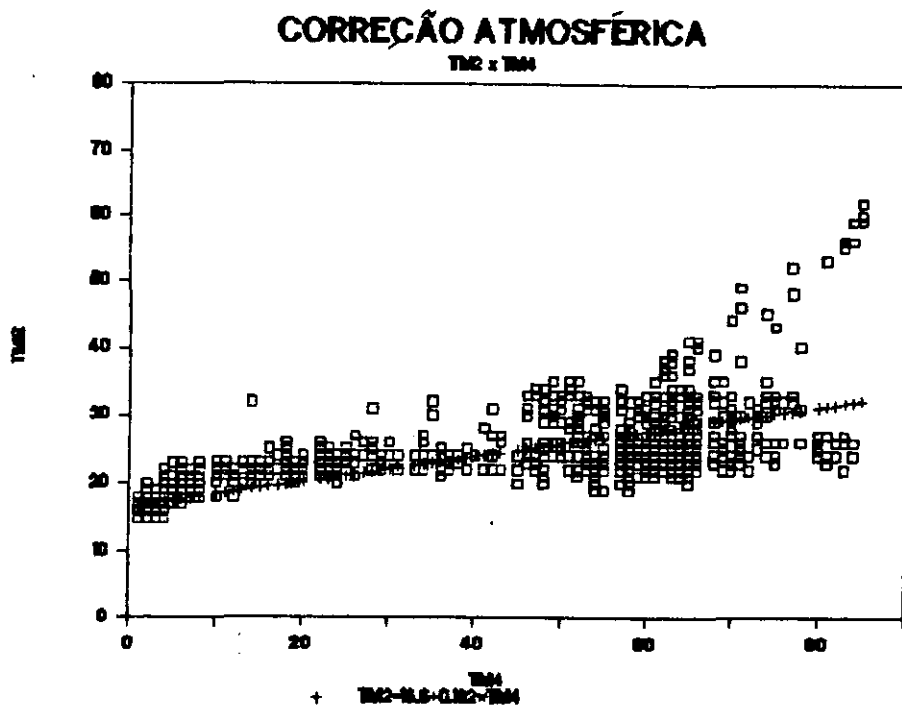
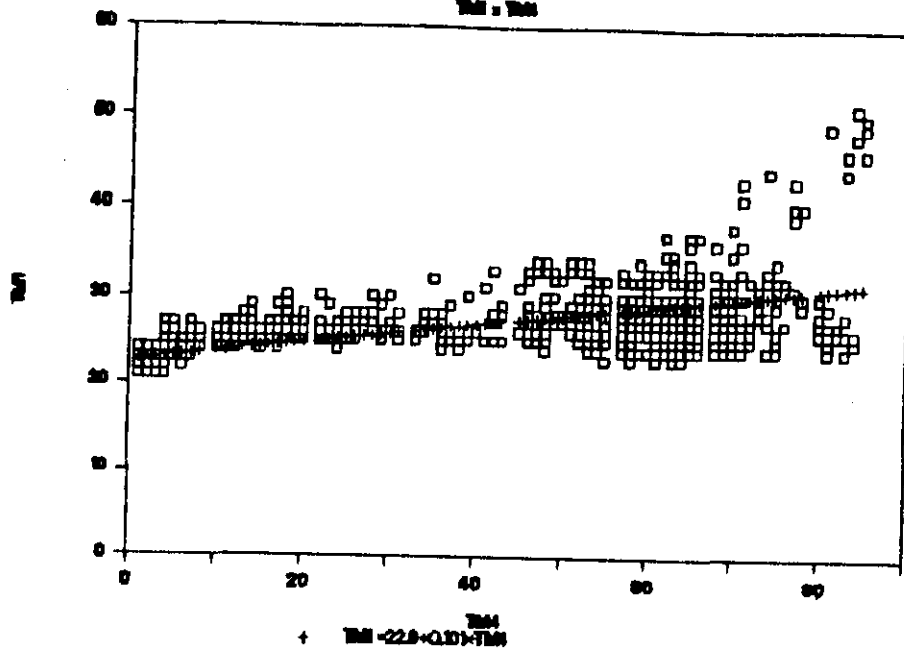


Figura V.3 : Correção atmosférica

O método da regressão para estimar a componente atmosférica do sinal que chega ao sensor (*Chaves, 1975*) usa as regressões dos níveis digitais das bandas no visível (TM1, TM2 e TM3) com a banda TM4. O coeficiente linear de cada equação de regressão fornece estimativa da componente atmosférica para a respectiva banda espectral. Os gráficos apresentados na figura V.3 apresentam o método proposto na imagem de 08/Abr/84.

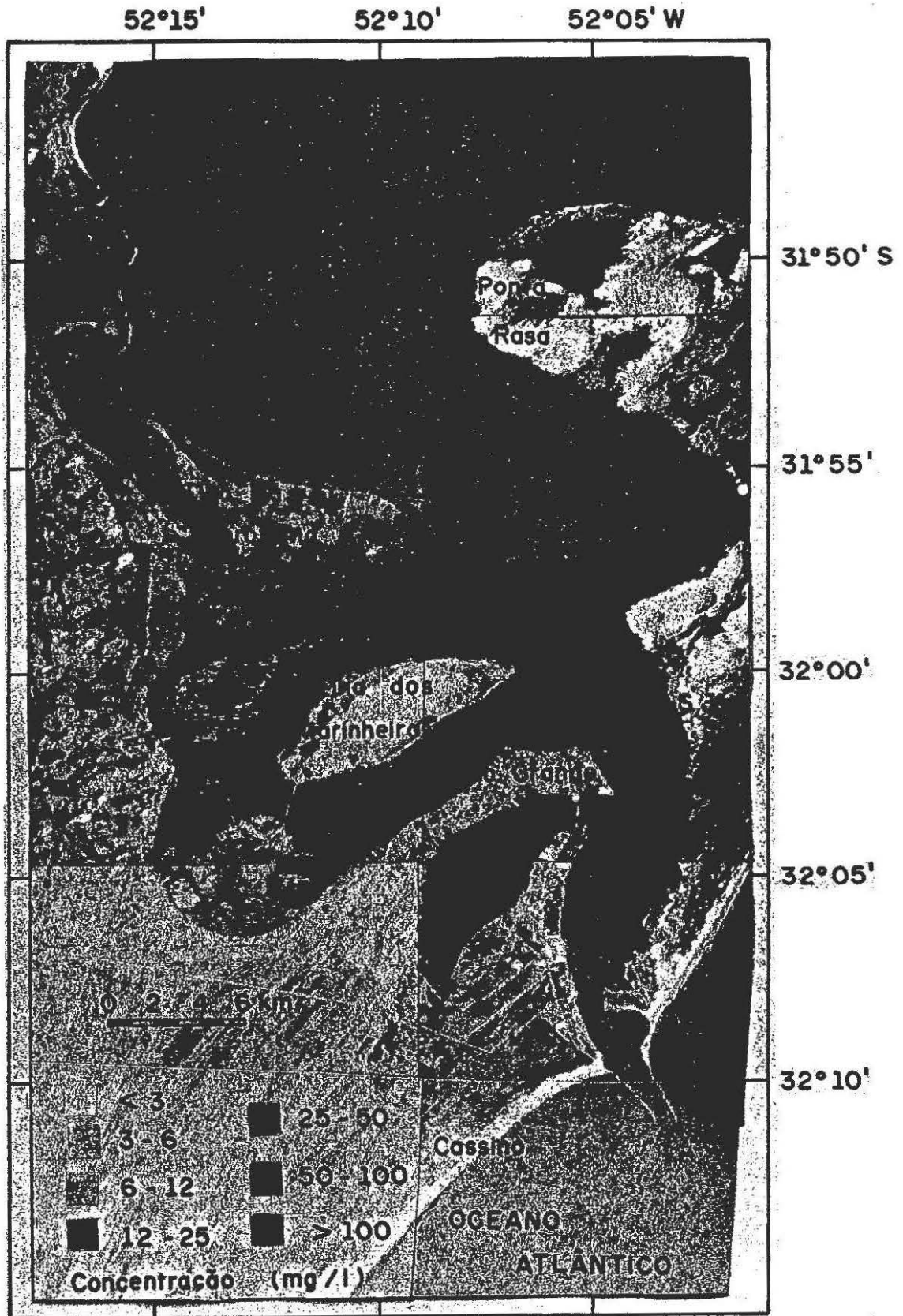
Estimativas da componente atmosférica a partir dos dados digitais do LANDSAT - 5 (Imagem de 08/Abr/84) utilizando o método da regressão é :

TABELA V.7 - Correção atmosférica

CANAL	N.C. correspondente ao efeito atmosférico
TM - 1	22
TM - 2	16
TM - 3	11
TM - 4	0

TABELA V.8 - Resultados do modelo linear de regressão. Parâmetro : Material em suspensão, imagem original (com correção atmosférica) e alvo de 1 pixel.

The regression equation is				
$MS = 13.9 + 3.16*(TM1) - 1.40*(TM2) + 1.78*(TM3) + 0.80*(TM4)$				
Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	
Constant	13.889	6.297	2.21	
TM1	3.159	2.089	1.51	
TM2	-1.400	1.476	-0.95	
TM3	1.785	0.897	1.99	
TM4	0.804	2.030	0.40	
s = 7.153		R-sq = 74.3 %		
Analysis of Variance				
SOURCE	DF	SS	MS	F
Regression	4	2669.34	667.33	13.04
Error	18	921.10	51.17	
Total	22	3590.44		



Mapeamento da concentração de sedimentos superficiais

Figura V.4

Utilizando-se 23 estações amostrais (imagem 08/abr/84 e 04/dez/84 - Anexo IV) e retirando os níveis digitais correspondentes ao efeito atmosférico em cada banda, apresenta-se na tabela V.8, os resultados do modelo linear múltiplo entre material em suspensão e os quatro canais TM , com correção atmosférica :

A figura V.4 apresenta o mapeamento superficial de material em suspensão para imagem de 08/Abr/84 obtido pelo modelo de material em suspensão linear múltiplo com os quatro canais TM (Imagem 08/04/1984 e 04/12/1984 - dados de reflectância e com correção atmosférica).

V.2 - Análise da circulação

A região da desembocadura da Laguna dos Patos está sujeita a processos que ocasionam modificações constantes sobre a hidrologia, e parâmetros ambientais. É um sistema de mistura, envolvendo um fluxo de água em duas direções. Em condições extremas, no entanto, em somente uma direção (de enchente ou de vazante).

Contribuem para tal comportamento muitas variáveis, dentre as quais citamos as mais importantes : a geomorfologia da região costeira e da própria bacia e o clima da região. As marés astronômicas, devido a sua pequena amplitude, podem ser relativamente consideradas de menor importância. As modificações que ali ocorrem têm muita relação com a época do ano. Basicamente, interagem na região as águas provenientes do norte da Laguna dos Patos, do complexo do Guaíba; na parte média da Laguna dos Patos, as águas do Rio Camaquã; na região estuarina, a contribuição do canal de São Gonçalo; e pelo canal do Norte, a penetração de água salgada (*Hartmann e Sano, 1986*).

Neste trabalho, as características hidrológicas são abordadas, tendo como parâmetros fundamentais as concentrações de material em suspensão, a distribuição da salinidade e

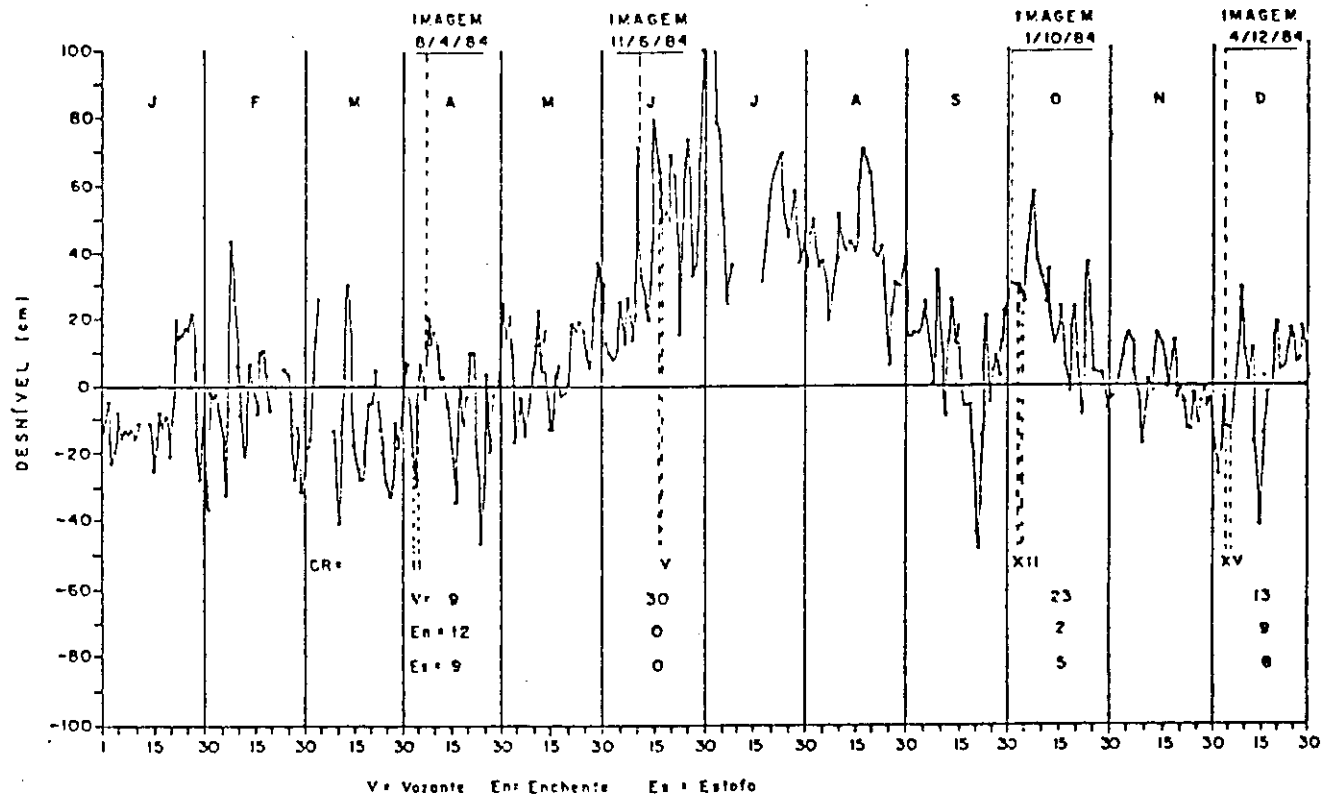


Fig. V5 = Desníveis entre Rio Grande e Arambaré para o ano de 1984.

FONTE: Modificado de Paím e Möller Jr. (1986)

Os números na figura indicam os totais de observações de vazante (V), enchente (En), estofa (Es), relativos a cada situação analisada.

transparência da água. Outros dados auxiliares, como precipitação na bacia da Laguna dos Patos e Mirim, vazão dos rios que compõem as bacias fornecedoras de sedimentos para a área, os dados de correntes, a direção e velocidade dos ventos são levados em consideração.

Paím e Möller Jr. (1986) apresentam os desníveis médios diários entre uma estação no interior da Laguna dos Patos , em Arambaré, localidade situada na parte média da margem oeste, e outra, na região de sua desembocadura (canal do Norte). Segundo estes autores, esta é outra maneira de se abordar a circulação no estuário e que merece ser aqui mencionado (figura V.5).

Na figura V.5 , os valores positivos indicam desníveis dirigidos do interior da Laguna em direção a sua desembocadura, enquanto que os valores negativos indicam situações inversas. Observa-se que ocorre predominância de desníveis positivos nos meses de maio a outubro, favorecendo os fluxos de vazante, e predomiância dos fluxos de enchente, desnível negativo, nos meses de janeiro a março, e valores de desníveis intermediários indicados para os meses de abril, novembro e dezembro.

No gráfico da figura V.5 podemos avaliar as situações hidrológicas que correspondem às imagens TM analisadas. A imagem de 8 de abril de 1984 foi obtida em um período de valores intermediários de desnível, típico de fluxos lentos e, de acordo com o gráfico, localizada numa situação de fraco desnível positivo (inferior a 10 cm). Já a imagem de 4 de dezembro de 1984 foi obtida em um período de desníveis intermediários típicos de fluxos lentos. No entanto, de acordo com o gráfico da figura V.5 ocorre forte entrada de água salgada, com desnível negativo da ordem de 20 cm.

As situações *in situ*, cujos resultados foram discutidos neste trabalho, por diferirem das datas de obtenção das imagens TM de horas a dias, apresentam situações hidrológicas com aspectos um pouco distintos, principalmente no período de outono (3,4 e

5/04/84) com a imagem de 8 de abril de 84. Pela figura V.5 , observa-se que a amostragem foi realizada em dias de desníveis negativos, da ordem de 30 cm, o que determina fluxos de enchente, e a imagem TM, localiza-se quando ocorria um fraco desnível positivo (inferior a 10 cm).

Convém lembrar, no entanto, que para uma discussão de cada situação hidrológica considerada, são importantes as variações horárias de desnível na região da desembocadura, normalmente causadas pelas marés e ventos, necessárias para explicar as variações horárias nos processos de mistura e circulação.

Os dados *in situ* obtidos nos dias 3, 4 e 5 de abril de 1984, foram coletados em estações de superfície e em dois fundeios separados de 12 horas. Os dados obtidos nos fundeios são apresentados na figura V.6 , e das amostras de superfície estão relacionados no anexo IV .

Estes resultados discutidos por *Paim e Möller (1986)*, revelam que, para a região do canal do Norte durante o primeiro fundeio, ocorreram velocidades residuais de vazante, restritas à camada mais superficial (aproximadamente 1 metro de espessura), enquanto que no restante deste perfil verificam-se fortes fluxos residuais de enchente, com uma velocidade média de 19 cm/s, em direção à montante, situação esta caracterizada como estuário tipo B (parcialmente estratificado).

O segundo fundeio apresenta todo o perfil com velocidade média da coluna d'água da ordem de 14 cm/s, em regime de enchente, como resultado da forte entrada de água salgada (30 ‰) e, portanto, caracterizado como do tipo A (verticalmente misturado.

Em todo o período de amostragem (dias 3, 4 e 5/04/84) o vento predominou do quadrante norte, principalmente de NW (figura V.7), o que explicaria o desnível entre o porto Novo (ASD) e o canal do Norte (pier e praticagem), durante as

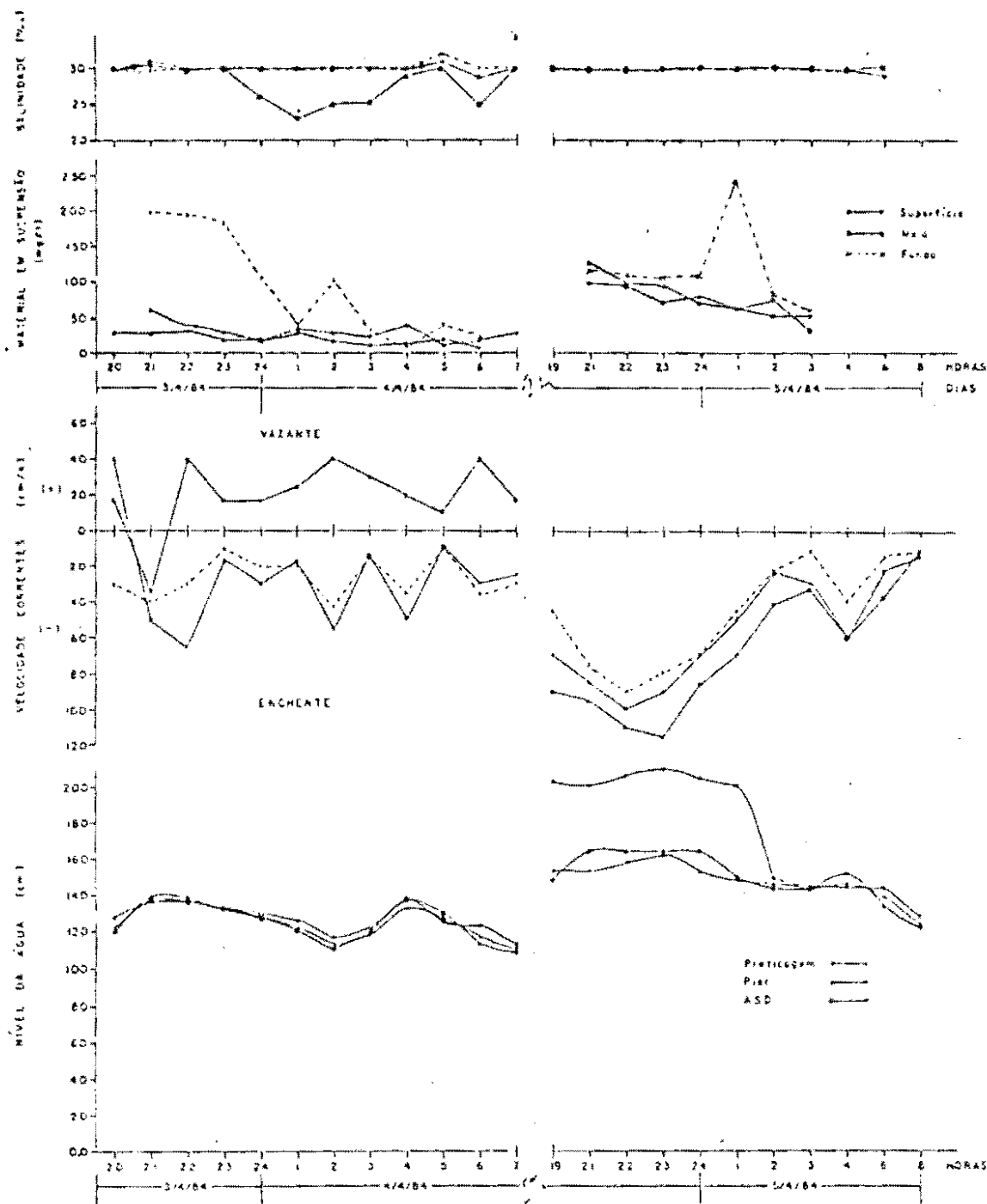


Fig. V.6 - Séries de tempo dos dados obtidos dos fundeios no Canal do Norte, no período de 3 a 5/04/84.

PONTE : Hartmann

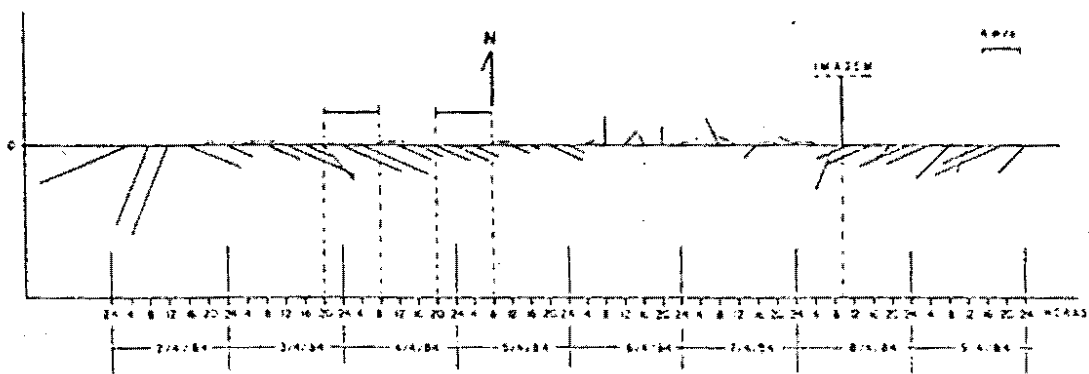


Fig. **V.7** - Direção e velocidade do vento para a estação de Rio Grande no período de 2 a 9/04/84.

FONTE: DNAEE, 1984.

As duas barras horizontais indicam os períodos de amostragem.

FONTE : Hartmann (1988)

primeiras seis horas do segundo fundeio, associado à forte entrada de água salgada.

A imagem TM disponível desta época foi obtida cinco dias após as amostragens *in situ*, num período de níveis mais baixos das águas lagunares. A ressuspensão de sedimentos no estuário e a "pluma" que se observa na composição colorida, são decorrentes do fluxo de vazante, que no período é auxiliado pelos ventos de NE (figura V.7)

"Frentes" são o resultado do encontro entre diferentes massas de água que, devido aos seus constituintes, apresentam-se com características físicas, químicas e biológicas distintas, com implicações ecológicas.

Podemos dividir as frentes em dois tipos básicos: as frentes oceânicas e as costeiras. As primeiras são o resultado do encontro de massas de água com variações na salinidade, temperatura e densidade, sendo de grandes dimensões e de pequena variação no tempo. Já as frentes costeiras, de águas rasas, são encontradas nos estuários e, por isto denominadas de frentes estuarinas e as frentes das plumas, que são o resultado das desgargas dos rios no Oceano ou em outro corpo d'água qualquer. As frentes costeiras são consideradas de pequena dimensão, com grande variação no tempo (*Bowman e Iverson, 1977*).

V.3 - Outras informações

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, tripulação e material) e indiretos (manutenção e 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, possibilitou a obtenção de dados para determinação dos custos de uma de outra técnica. Avaliou-se os custos do emprego destas técnicas, tendo como parâmetros básicos os trabalhos realizados *in situ* no estuário da Laguna dos Patos e, aos relacionados com os custos de aquisição da imagem, processamento automático, dentre outros.

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 tripulação, o custo operacional final de amostragem é igual a : 771,77 BTN/missão.

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

Os custos envolvendo as análises de laboratório são da ordem de 60,30 BTN/análise.

O custo total de uma missão do tipo e condições relatadas neste trabalho somando-se aos da embarcação e das análises de laboratório, é da ordem 5.701,13 BTN/missão . Considerando as dimensões da área de estudo de 457 Km² o custo final corresponde à 12,48 BTN/Km².

B) Método de imageamento por satélite

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

Imagem CCT (Quadrante TM) = 625,78 BTN.

Uma hora de trabalho no SITIM 150 = 16,52 BTN.

Custo total = 642,30 BTN

Considerando as dimensões da área o custo final neste tipo de levantamento é da ordem de 1,366 BTN/Km².

VI . CONCLUSOES E RECOMENDACOES

A região em estudo constitui-se num ambiente estuarino, de circulação complexa que, por sua natureza, apresenta dificuldades para pesquisas que pretendem avaliar suas condições hidrológicas, como se procurou mostrar neste trabalho. Tentou-se, dentro do possível, com as informações disponíveis, representar as características hidrológicas da desembocadura. As dificuldades na coleta de dados *in situ*, simultaneamente à passagem do satélite, são muitas; umas relacionadas às coletas propriamente ditas e outras, do próprio satélite, considerando-se a cobertura de nuvens. É necessário, portanto, um grande esforço para se conseguir dados *in situ* com os de satélite simultâneos. Esta simultaneidade é extremamente importante, porque permite que se obtenham resultados estatísticos mais exatos.

Tratando-se de uma área com alta dinâmica, ficou demonstrado, a partir das discussões obtidas deste trabalho que, para um entendimento global dos parâmetros ambientais em tais regiões, é necessário que se elabore um estudo sistemático destas condições, monitorando o ambiente no menor espaço de tempo possível. Devido às dificuldades inerentes ao levantamento de dados *in situ*, dados de sensoriamento remoto a nível orbital têm um papel fundamental, na medida em que, através de correlações com poucos dados obtidos *in situ*, estes permitem estimar e projetar as condições hidrológicas do meio para outras situações semelhantes.

A metodologia proposta neste trabalho apresentou-se adequada à região em estudo.

A correta interpretação da figura V.4 requer alguns cuidados em sua interpretação. Inicialmente deve ser aqui mencionado a não simultaneidade das coletas *in situ* (3, 4 e 5/Abr/84) e à aquisição da imagem (08/Abr/84).

A análise das figuras V.5 e V.7 mostra que a defasagem existente entre o período de coleta *in situ* e a data da imagem acarretaram além da modificação nas características do vento (direção e intensidade), conforme apresentado na figura V.7, ainda modificações no sentido do escoamento (figura V.5).

Para atenuação desse problema é necessário a implementação de modelo hidrodinâmico que permita, com auxílio dos dados *in situ* e meteorológicos, a simulação das condições hidráulico-sedimentológicas existentes na data de aquisição da imagem.

Também deve ser mencionado o eventual problema causado pela reflectância do fundo. Um estudo mais completo dessa contribuição envolveria um conhecimento detalhado da batimetria e da transparência da água (secchi), nessa região. Desta forma para uma interpretação mais confiável da figura V.4, seria aconselhável a superposição de uma carta batimétrica, afim de desconsiderar os locais de pouca profundidade.

Ao compararmos os resultados dos custos finais do emprego de ambas as técnicas (sensoriamento remoto e amostragens *in situ*), conclui-se que de fato, para a região nas condições relatadas neste trabalho, as técnicas efetuadas através de sensoriamento remoto orbital tem um custo bastante reduzido em relação aos métodos convencionais.

Procurou-se neste trabalho mostrar alguns aspectos da distribuição dos parâmetros ambientais e da hidrologia na

desembocadura da Laguna dos Patos, de maneira sazonal com o emprego desta técnica. Considera-se, entretanto, que muitas pesquisas deverão ser feitas, para as quais sugere-se :

- Um estudo mais completo dos parâmetros de qualidade de água, suscetíveis de serem estimados pela metodologia proposta, bem como um melhor entendimento dos respectivos comportamentos espectrais (por exemplo : teor de clorofila, tipo e tamanho de partículas em suspensão, esgoto domiciliar, esgoto industrial, etc.)

- Estudos adicionais, que visem a integração das estimativas obtidas por técnicas de sensoriamento remoto (valores de parâmetros de qualidade da água na superfície), com modelos matemáticos de circulação e dispersão, permitindo estimar esses parâmetros para diversas profundidades.

- Dentro do possível, que as amostragens sejam simultâneas ao sobrevôo do satélite e em vários pontos.

- Utilização de outros sensores e satélites, como o SPOT e dados de microondas e estudos na região do infravermelho termal.

- Avaliar aspectos da transparência da água in situ, utilizando, além do disco de Secchi, aparelhos óticos, para fins de comparação com os dados orbitais, e;

- finalmente, considerar as influências externas ao meio de maneira integrada, principalmente no que diz respeito às variáveis meteorológicas e às flutuações do nível do mar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências Bibliográficas

- ALFODI, T. T., (1982), *Remote Sensing for Water Quality monitoring*, in *Remote Sensing for Resource Management*, C. Johannsen e J. L. Sanders (Ed.), Soil Conservation Society of America; cap. 27; pp. 317-328, New York.
- ALLEN, G.; GUILLAND, J.; BERQUIN, A.; POUPINET, P., (1979) : Principes de gestion zonale des estuaires français, Trabalho apresentado no CNEOX : Actes de colloques N^o 9. pag. 177 - 189.
- ALVARES, J. A.; MARTINS, I. R.; MARTINS, L. R. (1981) *Estudos da Lagoa dos Patos. Pesquisas*. Instituto de geociências - UFRGS 14: 41-66 , Porto Alegre, RS.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, (1983). *Manual of Remote Sensing*, Falls Church, Sheridan Press, 2144 p.
- ASCE, American Society of Civil Engineer (1977) *Sedimentation Engineering* . V. A. Vanoni (Ed.) . New York, 665 p.
- ASMUS, H. E., (1983), *A bacia de Pelotas no esquema evolutivo da Margem Continental Brasileiro*, Anais do Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, Instituto de geociências - UFRGS Porto Alegre, vol. 1, pp. 245-252.
- ASMUS, H. E., ASMUS, M. L. e DREWS, C. R., (1985), *Levantamento e Modificações dos Ambientes do Ecossistema Estuarial da Lagoa dos Patos*, 1^o Seminário sobre Pesquisas da Lagoa dos Patos, Porto Alegre, RS.

- ASMUS, H. E. ; ASMUS, M. L. ; TAGLIANI, P. R. (1986) *O estuário da Lagoa dos Patos : Um problema de planejamento costeiro*. III Encontro Brasileiro de Gerenciamento Costeiro, Fortaleza.
- BARNES, R. S. K., e GREEN, J. (1972) : *The Estuarine environment*, Applied Science Publishers, London.
- BARRETT, M. J. (1971) : *The effects of pollution on the Thames Estuary*, Proceeding in the meeting rooms of the Zoological Society of London.
- BARTOLUCCI, L. A., ROBINSON, B. F., SILVA, L. R., (1977) *Field measurements of the spectral response of natural waters*, Photogrametric Engineering and Remote Sensing, Vol. 43, N^o 5, pp. 595- 598.
- BENTANCOURT, J. J. V., (1981), *Processamento de Dados Multiespectrais obtidos por plataformas orbitais da série LANDSAT para estudos de qualidade d'água na Baía de Guanabara*, INPE, São José dos Campos, SP, 98 p.
- BLENCH, T. (1957) *Regime Behaviour of Canals and Rivers* . Butterworths Scientific Publications, London, 527 p.
- BORDAS, M. (1989), *Notas de aula da disciplina mecânica fluvial* Porto Alegre - UFRGS, Curso de Pós-graduação em recursos hídricos e saneamento, 67 p.
- BORDAS, M. P.; BORCHE CASALAS, A.; SILVEIRA, A. L.; et alii (1984) *Circulação e dispersão em sistemas costeiros e oceânicos. Caso da Lagoa dos Patos*. II Simpósio Brasileiro sobre Recursos do Mar, CIRM/UERJ.
- BOWKER, D. E., DAVIS, R. E., MYRICK, D. L., STACY, K., JONES, W. T., (1985), *Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies*, NASA, Hampton, 103 p.

- BOWKER, D. E., FLEISCHER, P., GOSINK, T. A., HANNA, W. J., LUDWICK, J., (1973), *Correlation of ERTS multispectral imagery with suspended sediments and chlorophyl in lower Chesapeake Bay*, Symposium on significant results obtained from ERTS-1, Proceedings, NASA.
- BOWMAN, M. J.; IVERSON, R. L. (1977) *Estuarine and plume fronts*. In : *Oceanic fronts in coastal processes*. pp. 87-104.
- BRAGA, C. Z. F. (1989) *Deteccão de ferro e manganês presentes no sedimento em suspensão na Baía de Guanabara a partir de dados TM/LANDSAT*. IV Simpósio latinoamericano de Percepção Remota Vol. 2 - pp. 856-861.
- BROWN, O. B., EVANS, R. H., BROWN, J. W., GORDON, H. R., SMITH, R. C. e BAKER, K. S., (1985), *Phytoplankton blooming of the U. S. e art coast: a satellite description*, *Science*, 299(169).
- BUSS FILHO, A. C.; BARBOSA, M. N.; QUEIROZ, M. N. (1975) *Um sistema para Controle de Imagens terrestres*. INPE. São José dos Campos (INPE-654-RPE/004).
- BÜTTNER, G.; VÖROS, L. (1981) *Investigation of Hungarian lakes by means of Landsat data*, *Adv. Space Res.* Vol. 1, pp.177-189. Falls Church, VA.
- CALLIARI, L. J., (1980), *Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Lagoa dos Patos*, Dissertação de Mestrado em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 143 p.
- CARVALHO, N. O. (1982) *Curso de segurança de barragens*. Centrais Elétricas do Brasil, 91 p, Belo Horizonte.
- CHAVES, P. S. (1975) *Atmospheric, Solar, and MTF corrections for ERTS digital imagery*. *Proc. Amer. Soc. of Photog.* - Falls Church, VA.

- CLARK, D. K. ; ZAITZEFF, J. B. ; STREES, L. V. ; GLIDDEN, W. S. (1974)
Computer derived coastal water classifications via spectral signatures. In: Proceedings of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment, pp. 1213-1230. Ann Arbor, Michigan.
- CLARK, G. L., EWING, G. C., e LOUZEN, C. J., (1970), *Spectra of backscattered light from the sea obtained from aircraft as a measure of chloropyll concentration.* Science, Vol. 167, pp. 1119-1121.
- CORDEIRO, M., COLARES, S. A. P., (1985), *Aplicação de modelos simplificados para avaliação do nível de eutrofização das Lagoas de Paranoá e Descoberto no Distrito Federal,* Revista Brasileira de Engenharia, Vol. 3, N^o2, pp. 21-35.
- CURRAN, P. J., NOVO, E. M. M., (1989), *The relationship between suspend sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review,* Journal of Coastal Research (Aceito para publicação).
- DELANEY, P. J. V., (1960), *Lagoas cordiformes do Rio Grande do Sul - Brasil.* Boletim da UFRGS (Escola de Geologia).
- DELANEY, P. V. (1965) *Fisiografia e Geologia de superficie da Planície costeira do Rio Grande do Sul.* Escola de Geologia, UFRGS, Vol. 6.
- DUNTLEY, S. Q., (1963), *Light and the sea,* Journal of the Optical Society of America, Vol. 53, N^o2, pp. 214-233, New York.
- DYER, K. (1979) *Estuaries and Estuarine Sedimentation .* Cambridge University Press, 423 p.
- EINSTEIN, H. A. (1950) *The bed-load function for sediment transportation in open channel flows .* Technical Bulletin N^o 1926, U. S: Department of Agriculture.

- ESTEVES, F. A., AMORIM, J. C., CARDOSO, E. L., BARBOSA, F. A. R., (1985), *Caracterização Limnológica preliminar da Represa de Três Marias (Minas Gerais) com base em alguns parâmetros ambientais básicos*, Ciência e Cultura, Vol. 37, N^o 4, pp. 608-617.
- FOSTER, G. R. (1982) *Modeling the Erosion Process*. In: *Hidrologic Modeling of Small Watersheds* : C.T. Haan (Ed.) ASCE, pp 297-367.
- FOSTER, G. R. (1987) *USDA-Water Erosion Prediction Project (WEEP)* National Soil Erosion Research Laboratory, Purdue University p. 45.
- GODOI, S. S. ; STEVENSON, M. R. (1984) *Intercomparação da temperatura da superfície do mar usando dados oceanográficos e de satélite (GOSSTCOMP e VISSR/SMS-2)*, São José dos Campos, SP, 53 p.
- GODOI, S. S. ; STEVENSON, M. R. (1985) *Seasonal oscillations of the Subtropical Convergence between the Brazil and Malvinas Currents, using oceanographic and SMS-2 satellite data*. Proceedings, XV Symposium of the ISPRS, Rio de Janeiro.
- GORDON, H. R., CLARK, D. K., BROWN, J. W., BROWN, O. B., EVANS, R. H., BROENKOW, W. W., (1983), *Phytoplankton pigment concentrations in the middle Atlantic Bight: comparison of ship determinations and satellite estimates*, Applied Optics, 22:20, New York.
- GORDON, H. R., SMITH, R. C., ZANEVELD, J. R. D., (1980), *Introduction to Ocean Optics*, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Proceedings in Ocean Optics VI, Monterey, CA.
- GOWER, J. F. R., Ed, (1987), *Oceanography from Space*, Advances in Space Research, Vol 7, N^o 2, pp. 1-101.

- GRAHAM, D. S.; HILL, J. M. (1979) *Field study for landsat water quality verification*, Remote sensing of environment, Vol. 9, Nº 7, pp. 101-117.
- HARTMANN, C. (1989) *Distribuição do material em suspensão e circulação das águas na desembocadura da Laguna dos Patos, RS, Brasil*. Departamento de Geociências-FURG, 57 p.
- HARTMANN, C. (1989) *Distribuição do material em suspensão e circulação das águas na desembocadura da Laguna dos Patos, RS, Brasil*. Departamento de Geociências-FURG, 82 p.
- HARTMANN, C., (1988), *Utilização de dados digitais do mapeador temático para obtenção dos padrões de distribuição do material em suspensão na desembocadura da Laguna dos Patos*, Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos, SP, 162 p.
- HARTMANN, C., SANO, E. E., (1986), *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*, INPE, São José dos Campos, SP, 48 p.
- HARTMANN, C.; SILVA, O. F.; MENDES, C. A. B.; HAERTEL, V.; et alii (1990) *Estudo por sensoriamento remoto das "frentes" costeiras na região da desembocadura da Laguna dos Patos, Rs*. Submetido ao VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10 p.
- HELLDEN, V., (1975). *The use of LANDSAT-1 imagery for water quality studies in southern Scandinavia*, Proceedings in Comprehensive Symposium on the practical application of earth resources survey data, NASA.
- HERZ, R., (1977), *Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos*, Tese de Doutorado, USP, São Paulo.

HERZ, R. (1973), *Orbital images and the possibility of studying hydrological and oceanographic resources of the eastern region of state of Rio Grande do Sul, Brazil*, INPE, São José dos Campos, SP.

HERZ, R., TANAKA, K., ALVAREZ, J. A., MÖLLER JR., O. O., (1978), *Proposições de método de estudo do sistema lagunar da costa Riograndense por análise automática e repetitiva de dados orbitais*, I^o Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, SP.

HERZ, R., TAVAREZ JR., W., (1974) *Dynamical behaviour of the surface water of Lagoa dos Patos, Brazil*, Seminar on Space Applications of Direct interest to Developing Countries, INPE/COSPAR, São José dos Campos.

HOOD, A. M.; GRAYBILL, F. A.; BOES, D. C. (1974) *Introduction to the theory of Statistics*. McGraw-Hill, 564 p.

JENSEN, J. R.; KJERFVE, B.; RAMSEY, E. W.; et alii (1989) *Remote sensing and numerical modeling of suspended sediment in Laguna de Terminos, Campeche, Mexico*, Submitted Remote sensing of environment.

JOHNSON, F. S. (1954) *The Solar constant*. Journal of Meteorology 11 : 431-452.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. (1982) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice-Hall. 594 p.

JOHNSON, R. W.; HARRISS, R. C. (1980) *Remote Sensing for water quality and biological measurements in coastal waters*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 46, N^o 1, pp. 77-85.

- JOHNSON, W. R. ; NORRIS, D. R. (1977) *A multispectral analysis of the interface between the Brazil and Falkland currents from Skylab Remote Sensing of Environment*, 6:271-288.
- KANTIN, R. (1983) *Hydrologie et qualite des eaux de la region sud de la lagune dos Patos (Bresil) et de la plateforme continentale adjacente*. These de Doctorat d'etat ès sciences, Université de Bordeaux I, p. 185.
- KENNISH, M. J. (1986) : *Ecology of estuaries*. Boca Raton, CRC.
- KHORRAM, S., CHESHIRE, H. M., (1985) *Remote Sensing of Water Quality in the Neuse River Estuary, North Carolina*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, N^o 3, pp. 329-341.
- KHORRAM, S., (1985) *Development of water quality models applicable throughout the entire San Francisco Bay and delta*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, N^o 1, pp. 53-62.
- KHORRAM, S.; KNIGHT, A. W. (1977) *Combined temperature-salinity effects on grass shrimp*. Journal Environment Engineering Division , ASCE, Vol. 103; N^o EE3, pp.381-388.
- KHORRAM, S. (1979) *Remote Sensing of water quality in the San Francisco Bay-Delta*. In : Proceedings, Thirteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment. pp.1591-1601. Ann Arbor, Michigan.
- KHORRAM, S. (1981) *Use of Ocean Color Scanner data in water quality mapping*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 47, N^o 5, pp.667-676.
- KJERFVE, B. (1989) *A course on estuarine oceanography*. Columbia University of South Carolina . 142 p. Curso ministrado no Departamento de Geoquímica da Universidade Federal fluminense.

- KLEMAS, V. ; BORCHARDT, J. F. ; TREASURE, W. W. (1973) *Suspended sediments observations from ERTS-1. Remote Sensing of Environment*, 2:205-221.
- KLEMAS, V. ; OTLEY, W. ; PHILPOT, C. ; WETHE, C. ; ROGERS, R. (1974) *Correlation of coastal water turbidity and circulation with ERTS-1 and Skylab imagery. In: Proceedings, Ninth International Symposium of Remote Sensing of Environment*, 1289-1317. Ann Arbor, Michigan.
- KLEMAS, V. (1980) *Remote sensing of coastal fronts and their effects on oil dispersion*, Int. J. of remote sensing, Vol. 1 N^o 1, pp.11-28.
- KLOOSTER, R. A., SCHERZ, J., (1974), *Water quality by photographic analysis*, Photogrammetric Engineering, N^o 40, pp. 927-935.
- KRIEGLER, F. J. ; MALILA, W. A. ; NALEPKA, R. F. ; RICHARDSON, W. (1969) *Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition*. In: *International Symposium on Remote Sensing*, v. 1, pp: 97-131, Ann Arbor-Michigan.
- KRITIKOS, H., YORINKS, L., SMITH, H (1974) *Suspended solids analysis using ERTS-1 data*, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 3, N^o 1, pp.69-78.
- KRONE, R. B. (1962) *Flume studies of transport of sediment in estuarial shoaling processes*. Report of University of California, Berkeley, CA.
- LATHROP, R. J. ; LILLESAND, T. M. (1986) *Use of thematic mapper data to assess water quality in green bay and central lake Michigan* *Photogrammetric engineering and remote sensing*, Vol. 53, N^o 5 pp. 671-680.

- LILLESAND, T. M. ; SCARPACE, F. L. ; CLAPP, J. P. (1975) *Water quality in mixing zones*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Vol. 41. N^o 3, pp.285-299.
- LO, C. P. (1976) *Photographic analysis of water quality changes*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 42, N^o 3 pp. 309-315.
- LONG, T. (1989) *Le quaternaire littoral du Rio Grande do Sul. Témoin des quatre derniers épisodes eustatiques majeurs . Geologie e evolution . These de Doctorant, Université de Bordeaux I, 183 p.*
- MARGALEF, R. , (1983) : *Limnologia*. Ediciones Omega . Barcelona
- MARKHAM, B. L. , BARKER, J. L. (1986), *Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, Exoatmospheric reflectances and At-satellite temperatures*, Landsat technical notes, EOSAT, Lanham, Maryland.
- McDOWELL, D. M. ; O'CONNOR, B. A. (1977) *Hydraulic behaviour of estuaries* . The MacMillan Press Ltd. , London.
- MENDES, A. ; HAERTEL, V. ; HARTMANN, C. ; CENTENO, J. (1990) *Avaliação de parâmetros de qualidade de água através de técnicas de sensoriamento remoto*. Submetido a Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, 28 p.
- MENDES, C. A. B. , HAERTEL, V. , HARTMANN e NUNES, J. C. R. ,(1989) : *Aplicação de Técnicas de Sensoriamento Remoto à Região Estuarina da Laguna dos Patos Rio Grande do Sul - Brasil*, Anais do IV Simpósio Latino-Americano em Sensoriamento Remoto, pag. 872 - 883 , Argentina.
- MÖLLER JR. .O. O. ; PAIM, P. G. G. ; HARTMANN, C. (1984) *Material em suspensão e dissolvido no estuário da lagoa dos Patos . I seminário sobre pesquisa na lagoa dos Patos, Anais, Porto*

Alegre.

- MOREL, A., (1974) *Optical properties of pure water and pure sea water*, *Optical Aspect of Oceanography*, Academic Press, London, cap. 1, pp. 01-23.
- MOTTA, V.F. (1969) *Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela barra do Rio Grande*. Porto Alegre, IPH/UFRGS.
- NASSAU, J.J. (1948) *Practical Astronomy*. McGraw-Hill, 311 p.
- NELSON, R., (1985), *Reducing Landsat MSS scene variability*, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, N^o 5, pp. 583-593.
- NIHOUL, J. C. J., Ed. (1984), *Remote Sensing of Shelf Sea Hydrodynamic*, Elsevier, pp. 1-24, Amsterdam.
- NOVO, E.M.M., TUNDISI, J. G. (1988), *Sensoriamento Remoto de Águas Interiores: Perspectivas*. V^o Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal.
- PAIM, P.S.G.; MÖLLER JR., O.O. (1986) *Material em suspensão e dissolvido no estuário da lagoa dos Patos - Fase III. Relatório Final*. Rio Grande, Departamento de Geociências FURG, p. 133.
- PARTHENIADES, E. (1986) *The present state of knowledge and needs for future research on cohesive sediment dynamics*. Third International Symposium on River Sedimentation. pp. 3-27.
- PARTHENIADES, E. (1977) *Unified view of wash load and bed material load*. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 103, pp. 1037-1057.

- PAZ, R. S. (1985) *Aspectos meteorológicos da Lagoa dos Patos, RS.* Seminário sobre pesquisa da lagoa dos Patos, 1 , Porto Alegre.
- PERRY, M. J., (1986), *Assessing marine primary productivity from Space*, Bioscience, Vol. 36, N^o 71, pp. 461-467.
- PICKARD, G. L. (1975) *Descriptive physical oceanography* . Pergamon Press . Oxford . 193 p.
- POLCYN, F. C. ; ROLLIN, R. H. (1969) *Remote sensing techniques for the location and measurements of shallow water features* . Report n^o 8973, University of Michigan.
- PRITCHARD, D. W., (1967) *What is an Estuary. Physical Viewpoint*, American Association for Advancement of Science, N^o 83., Washington.
- RIOS, P. KHO, S., WRIGLEY, R. C. (1988) *Use of LANDSAT TM digital data for estuarine water quality modeling*, Proceedings of the XVI ISPRS, pp. 673-687, Kioto.
- RITCHIE, J. C. ; COOPER, C. M. (1987) *Comparison of Landsat MSS pixel array sizes for estimating water quality* , Photogrammetric engineering and remote sensing, Vol. 53, N^o 11, pp. 1549-1553.
- RITCHIE, J. C. ; SCHIEBE, F. B. ; MCHENRY, J. R. (1976) *Remote Sensing of suspended sediments in surface waters*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 42, N^o 12, pp. 1539-1545.
- ROBINOVE, C. J. (1982) *Computation with Physical values from Landsat digital data*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 48, N^o 5, pp. 781-784.
- SAUSEN, T. M. (1981) *Estudo da dinâmica do alto rio São Francisco e reservatório de três Marias, através de imagens MSS-LANDSAT*; Dissertação de Mestrado, INPe, São José dos

- SCARPAGE, F. L. ; HOLMQUIST, K. W. ; FISHER, L. T. (1979) *Landsat analysis of lake quality* , Photogrammetric engineering and remote sensing, Vol. 45, N^o 5, pp. 623-633.
- SCHERZ, J. P. ; VAN DOMELEN, J. F. (1975) *Water quality indicators obtainable from aircraft and LANDSAT images and their use in classifying lakes* . In: Proceedings, International Symposium on Remote Sensing of Environment, V. 1, pp. 447-460, Ann Arbor
- SCHIEBE, F. R. ; RITCHIE, J. C. , BOATWRIGHT, G. O. (1983) *A first evolution of LANDSAT TM data to monitor suspended sediments in Lakes*; NASA Goddard Space Flight Center, Landsat 4 Workshop results, Vol. 2.
- SCHOWENGERDT, R. A. (1983) *Techniques for image processing and classification in Remote Sensing*. Academic Press, p. 249.
- SHELLEY, P. E. (1976) *Sediment measurement in estuarine and coastal areas* . Wallops Flight Center - NASA , p. 97.
- SHIMABUKURO, Y. E. (1987) *Shade Images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas* . Dissertation of Doctor of Philosophy , Colorado State University , 274 p.
- SLATER, P. N. (1980) *Remote Sensing Optics and Optical Systems*, Addison- Wesley.
- SPECHT, M. R. ; NEEDLER, D. ; FRITZ, N. L. (1973) *New color film for water penetration* . Photogrammetric Engineering 39(4):359-369.
- STURM, B. (1987), *Applications of CZCS data to productivity and water quality studies in the Northern Adriatic Sea*. Advances in Space Research, Vol. 7; N^o 2, pp. 47-52.

STURM, B. (1981) *The atmospheric correction of remotely sensed data and the quantitative determination of suspended matter in marine water surface layers* , Remote sensing in meteorology, oceanography and hydrology, A. P. Cracknell (Ed.), pp. 163-197.

SWAIN, P. H. ; DAVIS, S. H. (1978) *Remote Sensing : The quantitative Approach* , McGraw-Hill, p. 396.

TASSAN, S. (1988) *The use of the Thematic Mapper for coastal water analysis* . Proceedings, XVI ISPRS pp. 564-575.

TSENG, Y. C. ; INOSTROZA VILLAGRA, H. M. ; KUMAR, R. (1977) *Study of the Brazil and Falkland currents using their images of NIMBUS V and oceanographic data in 1972 to 1973*. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment. Vol. 2, pp. 859-871. Ann Arbor.

TSENG, Y. C. (1974) *Study of the surface boundary of Brazil and Falkland currents*. In : INPE, Seminar on Space Applications of direct interest to developing countries. S. José dos Campos, 2:160-173.

VILWOCK, J. A. (1972) *Contribuição à geologia do holoceno da província do Rio Grande do Sul, Brasil*. Dissertação de Mestrado em Geociências, 133 p., UFRGS, Porto Alegre.

WALRAVEN, R. (1978) *Calculation the Position of the Sun* . Solar Energy 20(5):393-397.

WEZERNAC, C. T. (1974) *The use of remote sensing in limnology studies*; International Symposium on Remote Sensing of Environment, vol 7, pp. 963-980.

WEZWENAK, C. T. ; TURNER, R. E. ; LIZENGA, D. R. (1976) *Spectral reflectance characteristics of water pollutants* . Washington D.C. - NASA.

WHITLOCK, C. H.; KUO, C. Y.; LECROY, S. R. (1982) *Criteria for the use of regression analysis for remote sensing of sediments and pollutants* , Remote sensing of environment, N^o 12, pp.151-168.

WILLIAMS, J. (1970) *Optical properties of the sea* . Annapolis Naval Institute.

WILLIAMSON, A. N.; GRABAU, W. E. (1973) *Sediment concentration mapping in tidal estuaries*. Third Earth Resources Technology Satellite-I Symposium. Washington, D.C. 1347-1386.

YARGER, H. L.; McCAULEY, J. R.; JAMES, G. W.; MAGMSON, L. M. (1973) *Water turbidity detection using ERTS-1 imagery*, Symposium on significant results obtained from ERTS-1, NASA.

YARGER, H. L., McCAULEY, J. R. (1975) *Quantitative water quality with LANDSAT and SKYLAB*; Symposium on the practical applications of earth resources survey data, NASA.

Testes estatísticos para regressão simples

I - Teste para os coeficientes "a" e "b"

As variáveis aleatórias a serem testadas aqui são os coeficientes linear e angular da linha de regressão. "a" e "b" são funções lineares de Y. Como os Y's são independentes e distribuem-se normalmente, então "a" e "b" também apresentam uma distribuição normal.

O passo inicial consiste então em obter-se expressões para estimar o desvio padrão de "a" e "b".

Desvio padrão para "a"

Partindo-se do valor de "a"

$$a = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} = \frac{\sum Y_i(X_i - \bar{X}) - \bar{Y} \sum (X_i - \bar{X})}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

como $\sum (X_i - \bar{X}) = 0$, segue que:

$$a = \frac{\sum Y_i(X_i - \bar{X})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} = \frac{(X_1 - \bar{X})Y_1 + \dots + (X_n - \bar{X})Y_n}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

e o desvio padrão estimado fica :

$$S_{\hat{a}} = \frac{S_{Y/X}}{\left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2}}$$

Para fins de teste pode-se então utilizar a estatística :

$$T = \frac{\hat{a} - a}{S_{\hat{a}}}$$

Então:

$$T = \frac{(\hat{a} - a) \left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2}}{S_{Y/X}} \approx t_{(n-2)}$$

Intervalo de confiança para "a"

Um intervalo de confiança é dado por:

$$P \left[-t_{(n-2, 1-\alpha/2)} \leq \frac{(\hat{a} - a) \left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2}}{S_{Y/X}} \leq +t_{(n-2, 1-\alpha/2)} \right] = 1 - \alpha$$

ou:

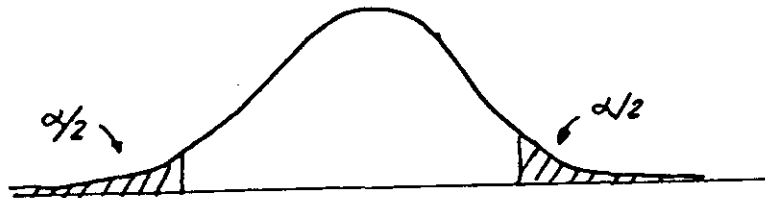
$$P \left[\hat{a} - \frac{t_{(n-2, 1-\alpha/2)} \cdot S_{Y/X}}{\left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2}} \leq a \leq \hat{a} + \frac{t_{(n-2, 1-\alpha/2)} \cdot S_{Y/X}}{\left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2}} \right] = 1 - \alpha$$

Teste de hipóteses

Uma outra possibilidade consiste em testar valores específicos para o parâmetro "a" dentro de um determinado nível de confiança. Utilizando novamente a estatística :

$$T = \frac{(\hat{a} - a) \left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2}}{S_{Y/X}}$$

e verificamos se o valor obtido cai ou não dentro da região de confiança:



nessa expressão :

\hat{a} : valor estimado para o parâmetro;

a : valor cuja probabilidade de ocorrer queremos testar, dentro de um determinado nível de confiança.

Desvio padrão para "b"

A mesma estatística t pode ser utilizada para para testar valores numéricos específicos para "b" como se fez no caso de "a". Utilizando novamente a estatística :

$$T = \frac{\hat{b} - b}{S_b}$$

Então, para esse caso específico :

$$T = \frac{\hat{b} - b}{\left[\frac{\sum X_i^2}{n \sum (X_i - \bar{X})^2} \right]^{1/2} \cdot S_{Y/X}}$$

e o intervalo de confiança para "b" fica:

$$P \left[\hat{b} - t_{(n-2, 1-\alpha/2)} \cdot \left[\frac{\sum X_i^2}{n \sum (X_i - \bar{X})^2} \right]^{1/2} \cdot S_{Y/X} \leq b \leq \hat{b} + t_{(n-2, 1-\alpha/2)} \cdot \left[\frac{\sum X_i^2}{n \sum (X_i - \bar{X})^2} \right]^{1/2} \cdot S_{Y/X} \right] = 1 - \alpha$$

II - Teste para a linha de regressão

Além de testar os coeficientes angular e linear (a, b) da linha de regressão, é também importante testar e/ou calcular intervalos de confiança para a própria linha de regressão.

A equação de regressão pode ser escrita :

$$\hat{Y} = \bar{Y} + a (X - \bar{X})$$

e ambos \bar{Y} e a são valores estimados a partir dos dados da amostra e portanto afetados por incertezas que irão afetar \hat{Y} . O problema inicial consiste portanto em calcular a variância para \hat{Y} .

Pela lei de propagação das variâncias :

$$\sigma_{\hat{Y}}^2 = \sigma_{\bar{Y}}^2 + (X - \bar{X})^2 \cdot \sigma_a^2 + (X - \bar{X}) \cdot \sigma_{\bar{Y}, a}^2$$

o último termo corresponde a covariância (a, \bar{Y}). Pode-se mostrar que essa covariância é nula.

Como $\bar{Y} = \sum Y_i / n$, pela mesma lei de propagação das variâncias:

$$\sigma_{\bar{Y}}^2 = \frac{1}{n^2} \cdot n \cdot \sigma_{Y/X}^2 = \frac{\sigma_{Y/X}^2}{n}$$

Então :

$$\sigma_{\hat{Y}}^2 = \left[\frac{1}{n} + \frac{(X - \bar{X})^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \right] \cdot \sigma_{Y/X}^2$$

Portanto, o valor mínimo para $\sigma_{\hat{Y}}^2$ ocorre para $X = \bar{X}$, isto é, para o centro da amostra e aumenta quando X se afasta de \bar{X} em qualquer sentido. Logo, quanto mais longe do centro da amostra, maior se torna a variância (e portanto a incerteza) para o valor predito de Y . É por esta razão que é perigoso realizar predições com base na linha de regressão, para valores fora do intervalo da amostra.

Da mesma forma que para os coeficientes "a" e "b" pode-se calcular intervalos de confiança para pontos individuais da linha de regressão, ou para a própria linha de regressão como um todo.

Apresenta-se aqui uma nova maneira de se testar a significância da linha de regressão, i.e.: se os valores preditos para Y são mais significativos do que a simples média \bar{Y} ou ainda, em outras palavras, se $a = 0$ ou se $a \neq 0$.

O quadrado médio (Mean Square) pode ser definido como o quociente da soma de quadrados pelo respectivo número de graus de liberdade. Os quadrados médios são portanto funções da variável aleatória Y e portanto eles próprios são também variáveis aleatórias.

Dois quadrados médios são particularmente importantes aqui:

$$\begin{aligned}
 - \text{Quadrado médio devido à regressão : } QMDR &= \frac{SQDR}{1} = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{1} \\
 - \text{Quadrado médio em relação à regr. : } QMRR &= \frac{SQRR}{(n-2)} = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y})^2}{(n-2)}
 \end{aligned}$$

Então, pelo corollário ao teorema **Beem Hood et alii**, 1974:

$$\begin{aligned}
 \frac{QMDR \cdot 1}{\sigma^2_{Y/X}} &\approx \chi^2_1 \\
 \frac{QMRR \cdot (n-2)}{\sigma^2_{Y/X}} &\approx \chi^2_{(n-2)}
 \end{aligned}$$

isto é, ambos apresentam uma distribuição chi-quadrado.

Pode-se também mostrar que ambos são estatisticamente independentes.

Pode-se mostrar que o quociente de duas variáveis aleatórias distribuídas independentemente segundo a distribuição chi-quadrado, segue uma distribuição F (*Mood et alii*, 1974).

$$F = \frac{QMDR}{QMRR} \approx F_{1, (n-2)}$$

Deve-se recordar mais uma vez que essas suposições são corretas se e somente se $a = 0$. Esse fato pode ser utilizado para testar a significância da reta de regressão i. e., $a \neq 0$.

Análise das componentes principais

O objetivo desta técnica é substituir um conjunto inicial de p -variáveis X_1, X_2, \dots, X_p correlacionadas, por um conjunto de variáveis não correlacionadas Y_1, Y_2, \dots, Y_p que são chamadas de componentes principais. Estas novas variáveis são "hipotéticas" (não observadas) e são combinações lineares das variáveis originais, arranjadas de tal modo que suas variâncias estejam em ordem decrescente de grandeza e a variância total do conjunto inicial seja preservada.

Procura-se, então, substituir X por uma combinação linear de suas componentes Y , cuja estrutura de covariância (ou correlação) é mais simples e capte informação contida em X . Assim esse método encontra:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \alpha_{11} X_1 + \alpha_{21} X_2 + \dots + \alpha_{p1} X_p \\ Y_2 &= \alpha_{12} X_1 + \alpha_{22} X_2 + \dots + \alpha_{p2} X_p \\ &\vdots \\ Y_p &= \alpha_{1p} X_1 + \alpha_{2p} X_2 + \dots + \alpha_{pp} X_p \end{aligned}$$

Generalizando:

$$Y_j = \sum_{i=1}^p \alpha_{ij} X_i \quad (1)$$

tais que :

$$(a) \text{Cov} (Y_j , Y_k) = 0 \quad j, k = 1 \dots p \text{ e } j \neq k$$

$$(b) \text{Var} (Y_1) \geq \text{Var} (Y_2) \geq \dots \geq \text{Var} (Y_p)$$

$$(c) \sum_{j=1}^p \text{Var} (Y_j) = \text{tr} (\Sigma) = \text{tr} (\Lambda) = \sum_{i=1}^p \text{Var} (X_i)$$

(2)

Apesar de encontrarmos p-componentes, muitas vezes a 1º C. P. (Componente Principal) explica grande parte da variância total original :

Em notação matricial, tem-se :

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix} ; \quad A = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1p} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{p1} & \alpha_{p2} & \dots & \alpha_{pp} \end{bmatrix}$$

Pode-se escrever a equação (1) como :

$$Y_j = \alpha_j^t X \quad (3)$$

E o modelo geral como :

$$Y = AX \quad (4)$$

Supondo que $X \approx N(\mu, \Sigma)$, a solução do método é encontrar os coeficientes α_j de forma a satisfazerem os itens (a), (b) e (c) da equação (2), tal que:

$$\text{Var}(Y_1) = \alpha_1^t \Sigma \alpha_1 \quad (5)$$

seja máxima, sujeita a condição $\alpha_1^t \alpha_1 = 1$, a fim de que a solução seja única.

Segundo *Jonhson et alii* (1982) a solução desse problema de maximização com restrição é o vetor característico (auto-vetor) normalizado, associado a raiz característica λ_1 de Σ , onde λ_1 é a maior raiz característica da equação :

$$| \Sigma - \lambda \cdot I | = 0$$

O processo considera inicialmente $j = 1$ e encontra α_1 . Em seguida repete-se o processo para $j = 2$ encontrando-se α_2 . Assim continua até encontrar α_p , e a cada passo adiciona-se a restrição de não correlação de Y_j com os anteriores já calculados.

Da teoria de vetores e raízes características sabe-se que :

$$A^t \cdot \Sigma \cdot A = \Lambda \quad (6)$$

Para cada matriz simétrica real Σ existe uma matriz ortogonal A tal que $A^t \cdot \Sigma \cdot A = \Lambda$, onde Λ é a matriz diagonal cujos elementos diagonais são as raízes características de Σ .

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_p \end{bmatrix}$$

Pode-se reescrever (6) como :

$$\Sigma = A \cdot \Lambda \cdot A^t \quad (7)$$

onde A é a matriz ortogonal ($A^t \cdot A = I$) de ordem p cuja j -ésima coluna é o vetor característico normalizado associado a raiz λ_j .

O vetor de componentes principais Y é definido pela transformação linear ortogonal

$$Y = A^t \cdot X$$

A matriz de covariância de Y é dada por:

$$\begin{aligned} E(Y \cdot Y^t) &= E(A^t \cdot X \cdot X^t \cdot A) = A^t \cdot E(X \cdot X^t) \cdot A \\ &= A^t \cdot \Sigma \cdot A = \Lambda \quad \text{Supondo } E(X) = 0. \end{aligned}$$

Portanto as componentes Y_1, Y_2, \dots, Y_p são não correlacionadas e a variância de Y_j é λ_j . Além disso a j -ésima componente de Y tem variância máxima entre todas as combinações lineares normalizadas não correlacionadas com $Y_1, \dots, Y_{j-1}, Y_{j+1}, \dots, Y_p$.

Outro resultado é :

$$\begin{aligned} \text{tr}(\Sigma) &= \text{tr}(A \Lambda A^t) = \text{tr}(A A^t \Lambda) \\ &= \text{tr}(I \Lambda) = \text{tr}(\Lambda) = \sum_{j=1}^p \lambda_j \\ &= \sum_{j=1}^p \text{Var}(Y_j) \end{aligned}$$

Assim a variância total do conjunto de variáveis originais é preservada por esta transformação linear.

A importância da j -ésima componente é medida por :

$$\lambda_j / \text{tr}(\Sigma) \quad j = 1, 2, \dots, p$$

e a proporção da variância total original explicada pelas m primeiras componentes é :

$$\frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m}{\text{tr}(\Sigma)}$$

Cada variável X_i pode também ser expressa como a combinação linear das C. P.. Assim :

$$Y = A^t X \quad A Y = A A^t X \quad X = A Y$$

Ao conjunto de equações :

$$X = A Y \quad \Sigma = A \Lambda A^t$$

da-se o nome de modelo de componentes principais.


```

/*-----*/
nome          MATSUS          * MATERIAL EM SUSPENSÃO *
Autor        Carlos Andre Bulhoes Mendes      data : junho de 1990
resumo       dissertacao de mestrado : IPH
              modelo multivariado utilizando componenetes principais nos
              canais 1,2,3,4 de reflectancia para sedimentos em suspensao
entradas     imagem em reflectancia no disco bandas 1,2,3 e 4 LANDSAT-TM
saida        imagem classificada no canal grafico

observacoes
/*-----*/

```

```

#include <stdio.h>
#include <atr.h>
#include <dia.h>
#include <info.h>
#include <tab.h>
main()
{
    int numfa;          /*numero de faixas*/
    int limes[11];     /*limites de faixas*/
    int color[11];     /*cores de saida*/
    int jan[4];        /*janela na tela*/
    int nbr,nbt;       /* numero de bandas na tela*/
    int i,li,co,ms;
    int in;            /*indice canal*/
    int ind[5];        /*indices de bandas em uso*/
    int cor;           /*cor atribuida a classificacao*/
    char help[500];    /*texto de help*/
    char nome[8];      /*nome imagem*/
    char banda[8];     /*nome da banda*/
    char ba[BUF_IMA]; /* dados da imagem na banda 0*/
    char be[BUF_IMA]; /* dados da imagem na banda 1*/
    char bi[BUF_IMA]; /* dados da imagem na banda 2*/
    char bo[BUF_IMA]; /* dados da imagem na banda 3*/
    float coor_x , coor_y, /*coordenadas na janela grafica*/
    j0,j1,j2,j3;        /*valores para calculo de janelas graficas*/
    float y;
    struct atributos att[NBAN_TELA]; /* atributos da imagem na tela*/
    struct atributos atr[NBAN_DISCO]; /*atributos da imagem no disco*/
    struct informacoes info; /*arquivo informacoes*/
    struct arq_tabela tab[10];
    int ntab;

    dia_limpa(3,18);
    dia_titulo("Modelo material em suspensao * MATSUS *");
    /*-----*/
    /*aquisicao do nome da imagen a ser processada-----*/
    10: switch(dia_pegar_string(3,18,"max 3,letras", "nome da imagem: ",
                               nome,sizeof(nome)-1))
    {
        case FIM : goto final;
        case VOLTA : goto 10;
        case VAZIO :
        {
            dia_erro("fornecer nome da imagem");
            goto 10;
        }
    }
}

```

```
case NORMAL : break;
```

```
}
```

```
/*----- leitura dos atributos disco -----*/
```

```
switch ( le_atributos ('d',nome,atr,&nbr) )
```

```
{
```

```
case ERRO_NORMAL : break;
```

```
case ERRO_INA :
```

```
{
```

```
dia_erro("imagen inexistente??");
```

```
goto l0;
```

```
}
```

```
default :
```

```
{
```

```
dia_erro("erro de leitura");
```

```
goto final;
```

```
}
```

```
}
```

```
/*----- aquisicao de bandas de trabalho -----*/
```

```
l1: apaga_help();
```

```
strcpy(help,"bandas : ");
```

```
for ( i=0 ; i < nbr ; i++)
```

```
{
```

```
strcat(help," ");
```

```
strcat(help,atr[i].banda);
```

```
}
```

```
dia_limpa(3,18);
```

```
dia_poe_texto(3,18,"ESCOLHA CANAIS",34,43,0,0);
```

```
for ( i=0 ; i < 4 ; i++ )
```

```
{
```

```
switch(dia_peg_string(i+4,19,help,"nome de banda : ",  
banda,7))
```

```
{
```

```
case FIM : goto final;
```

```
case VOLTA : goto l0;
```

```
case VAZIO :
```

```
{
```

```
dia_erro("fornecer nome da banda");
```

```
goto l1;
```

```
}
```

```
case NORMAL :
```

```
{
```

```
ind[i]=indice_banda(banda,atr,nbr);
```

```
if( ind[i]==-1)
```

```
{
```

```
dia_erro("banda inexistente");
```

```
goto l1;
```

```
}
```

```
break;
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
/*----- aquisicao de numero de faixas -----*/
```

```
l1a: apaga_help();
```

```
dia_limpa(3,18);
```

```
switch( dia_peg_int(3,18,"maximo 10,ENTER..5",
```

```
"numero de faixas",&numfa))
```

```
{
```

```
case FIM : goto final;
```

```
case VOLTA : goto l1;
```

```
case VAZIO :
```

```
{
```

```
numfa=5;
```

```

        break;
    }
    case NORMAL :
    {
        if( numfa > 10 || numfa < 1)
        {
            dia_erro("invalido..");
            goto l1a;
        }
        numfa++;
        break;
    }
}

/*----- limites de faixas-----*/
l1b: dia_limpa(5,18);
    limes[0]=0;
    for(i=1 ; i<numfa ; i++)
    {
        dia_poe_int(5+i,18,"lim inf : ",limes[i-1]+1);
        switch( dia_pegar_int(5+i,33,"0 ate 300","lim sup : "
            ,&limes[i]))
        {
            case FIM : goto final;
            case VOLTA : goto l1b;
            case VAZIO :
            {
                dia_erro("fornecer numero");
                goto l1b;
            }
            case NORMAL :
            {
                if( limes[i] >300 || limes[i] < limes[i-1])
                {
                    dia_erro("invalido..");
                    goto l1b;
                }
                break;
            }
        }
    }
}

/*----- aquisicao de cores-----*/
l1c: for(i=1 ; i<numfa ; i++)
    {
        switch( dia_pegar_int(5+i,50,"0 ate 127,3.4.5.2,10.11.95",
            "cor : ",&color[i]))
        {
            case FIM : goto final;
            case VOLTA : goto l1c;
            case VAZIO :
            {
                dia_erro("fornecer numero");
                goto l1c;
            }
            case NORMAL :
            {
                if( color[i] >127 || limes[i] < 0)
                {
                    dia_erro("invalido..");
                    goto l1c;
                }
                break;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
/*----- aquisicao de janela de trab-----*/
12:  le_info(&info);
    jan[0]=info.voo_x+100/info.zoom;
    jan[2]=info.voo_y+100/info.zoom;
    jan[1]=jan[3]=99/info.zoom;
    dia_poe_texto(22,20,"seleccione regio de trabalho",34,43,1,0);
    switch ( uvi_cursor ( 0,jan ) )
    (
        case FIM      :      goto final;
        case VOLTA   :      goto li;
    )
    j0=(float)jan[0];          /*valores para janela grafica*/
    j1=(float)(jan[0]+jan[1]);
    j3=(float)(jan[2]+jan[3]);
    j2=(float)jan[2];
    dia_limpa(22,20);
/*----- abertura de arq imagem-----*/
    for( i=0 ; i < 4 ; i++)
    (
        switch ( abre_imagem ( &atr[ind[i] ] ) )
        (
            case ERRO_NORMAL      :      break;
            default                :
            (
                dia_erro("erro na abertura do arq imagem");
            )
        )
    )
/*----- processamento-----*/
    uvi_limpa(3);
    graf_inicio('u');
    /* posiciona janelas graficas fisica e virtual */
    graf_janela_f (j0,j1,j2,j3);
    graf_janela_v (j0,j1,j2,j3);
    /* leitura de linhas */
    for ( li=0 ; li<jan[3] ; li++)
    (
        if( le_linha ( &atr[0],li,ba,jan) != ERRO_NORMAL)
        (
            dia_erro("erro de leitura do arq dados");
            goto final;
        )
        if( le_linha ( &atr[1],li,be,jan) != ERRO_NORMAL)
        (
            dia_erro("erro de leitura do arq dados");
            goto final;
        )
        if( le_linha ( &atr[2],li,bi,jan) != ERRO_NORMAL)
        (
            dia_erro("erro de leitura do arq dados");
            goto final;
        )
        if( le_linha ( &atr[3],li,bo,jan) != ERRO_NORMAL)
        (
            dia_erro("erro de leitura do arq dados");
            goto final;
        )
        /* variacao de colunas e classificacao pelo modelo */
        for ( co=0 ; co<jan[1] ; co++)
        (

```



```

        if(ba[co]==0 && be[co]==0 && bi[co]==0 && bo[co]==0)
        {
            cor=0;
            goto lcor;
        }
        y = -0.363*(float)ba[co]-0.479*(float)be[co]
            -0.775*(float)bi[co]-0.1955*(float)bo[co];
        ms = (int)(-56.2-2.55*y);
        for( i = 1 ; i<numfa ; i++ )
        {
            if( ms>limes[i-1]+1 && ms<limes[i] )
                cor=color[i];
        }

/*----- pontos do grafico de saida-----*/
/* coordenadas graficas na janela */
lcor:
    coor_y=j3-(float)li;
    coor_x=(float)(co)+j0;
    graf_marca(coor_x,coor_y,cor);
}

/*----- fechar arquivos imagem-----*/
for(i=3 ; i>-1 ; i--)
{
    fecha_imagem ( &atr[ind[i]] );
}
dia_erro("BATA ENTER");
graf_fim();

/*----- ler atributos_tela-----*/
switch ( le_atributos ('t',"tela",att,&nbt ) )
{
    case ERRO_NORMAL : break;
    case ERRO_INA :
    {
        dia_erro("imagem inexistente na tela ??");
        goto final;
    }
    default :
    {
        dia_erro("erro de leitura de imagem na tela");
        goto final;
    }
}

/*----- adiciona canal grafico nos atributos-----*/
in=indice_canal(3,att,nbt);
if( in ==-1) /*canal graf nao existe*/
{
    memcpy(&att[nbt],&att[0],sizeof(att[nbt]) ) ;
    att[nbt].canal=3;
    strcpy(att[nbt].banda,"c");
    att[nbt].tipo='t' ;
    nbt++;
}
else /*canal grafico existe*/
{
    strcpy(att[in].banda,"c");
}

escreve_atributos(att,nbt);

/*----- cria arquivo tabela -----*/
ntab=numfa;
for( i=0 ; i<numfa ; i++)

```

```
(
    tab[i].tab_cor = cor;
)
if ( escreve_tab(ab('t','tela','c',tab,ntab) != ERRO_NORMAL )
(
    dia_erro("ERRO de escrita no arq. tabela ");
)
)
```

```
final: dia_cursor(22,30);
      uvi_lut_comb();
}
```



```

nome      TRANSP      * TRANSPARENCIA DA AGUA *
Autor     Carlos Andre Bulhoes Mendes      data : junho de 1990
resumo    dissertacao de mestrado : IPH
          modelo linear simples utilizando canal 3 de reflectancia
          para transparencia da agua( secchi)
entradas  imagem em reflectancia na UVI banda 3 LANDSAT-TM
saida     imagem classificada no canal grafico

```

observacoes

```

-----*/
#include <stdio.h>
#include <atr.h>
# include <dia.h>
#include <info.h>
#include <tab.h>
main()
{
    int numfa;           /*numero de faixas*/
    float limes[i11];   /*limites de faixas*/
    int color[i11];     /*cores de saida*/
    int jan[4];         /*janela na tela*/
    int nbr;            /* numero de bandas na tela*/
    int i,li,co        /* contadores*/
    float tr;           /*transparencia*/
    int in;              /*indice canal*/
    int ind;             /*indices de bandas em uso para TM-3*/
    int cor;             /*cor atribuida a classificacao*/
    char help[500];     /*texto de help*/
    char nome[8];       /*nome imagen*/
    char banda[8];      /*nome da banda*/
    char ba[BUF_TELA]; /* dados da imagem na banda 0*/
    float coor_x , coor_y, /*coordenadas na janela grafica*/
    j0,j1,j2,j3;       /*valores para calculo de janelas graficas*/
    struct atributos atr[NBAN_DISCO]; /*atributos da imagem no disco*/
    struct informacoes info;          /*arquivo informacoes*/
    struct arq_tabela tab[10];        /* arquivo tabela*/
    int ntab;

    /*-----*/
    dia_limpa(3,18);
    dia_titulo("Modelo transparencia da agua * TRANSP *");
    /*-----aquisicao do nome da imagen a ser processada-----*/
    10: switch(dia_peg_string(3,18,"max 3,letras", "nome da imagen: ",
        nome,sizeof(nome)-1))
    {
        case FIM : goto final;
        case VOLTA : goto 10;
        case VAZIO :
        {
            dia_erro("fornecer nome da imagen");
            goto 10;
        }
        case NORMAL : break;
    }
    /*----- leitura dos atributos_tela-----*/
    switch ( le_atributos ('t',nome,atr,&nbr ) )
    {
        case ERRO_NORMAL : break;
        case ERRO_INA :
        {
            dia_erro("imagen inexistente??");

```

```

    }
    default
    {
        dia_erro("erro de leitura");
        goto final;
    }
}

/*----- aquisição de bandas de trabalho -----*/
l1
apaga_help();
strcpy(help,"bandas : ");
for ( i=0 ; i < nbr ; i++)
{
    strcat(help," ");
    strcat(help,atr[i].banda);
}
strcat(help,"banda T0-S");
dia_limpa(S,16);
dia_peg_texto(S,16,"ESCOLHA CANAIS",34,43,0,0);
switch(dia_peg_string(i+4,19,help,"nome de banda : ",banda,7))
{
    case FIM      :      goto final;
    case VOLTA   :      goto l0;
    case VAZIO    :
    {
        dia_erro("fornecer nome da banda");
        goto l0;
    }
    case NORMAL  :
    {
        ind=indice_banda(banda,atr,nbr);
        if( ind!=-1)
        {
            dia_erro("banda inexistente");
            goto l0;
        }
        break;
    }
}
}

/*----- aquisição de numero de faixas -----*/
l1a
apaga_help();
dia_limpa(S,16);
switch( dia_peg_int(S,16,"maximo 10,ENTER..5",
                    "numero de faixas",&numfa))
{
    case FIM      :      goto final;
    case VOLTA   :      goto l1;
    case VAZIO    :
    {
        numfa=5;
        break;
    }
    case NORMAL  :
    {
        if( numfa > 10 || numfa < 1)
        {
            dia_erro("invalido..");
            goto l1a;
        }
        numfa++;
        break;
    }
}
}

```

```

)
/*----- limites de faixas -----*/
lib: dia_limpa(5,18);
    limes[0]=0.0;
    for(i=1 ; i<numfa ; i++)
    {
        dia_poe_int(5+i,18,"lim inf : ",limes[i-1]+1);
        switch( dia_pegar_float(5+i,33,"0 ate 20", "lim sup : "
                                ,&limes[i]))
        {
            case FIM      : goto final;
            case VOLTA    : goto lib;
            case VAZIO    :
            {
                dia_erro("fornecer numero");
                goto lib;
            }
            case NORMAL   :
            {
                if( limes[i] >20.0 || limes[i] < limes[i-1])
                {
                    dia_erro("invalido..");
                    goto lib;
                }
                break;
            }
        }
    }
}

```

```

/*----- aquisicao de cores -----*/
lic: for(i=1 ; i<numfa ; i++)
    {
        switch( dia_pegar_int(5+i,50,"0 ate 127,3.4.5.2,10,11,95",
                                "cor : ",&color[i]))
        {
            case FIM      : goto final;
            case VOLTA    : goto lic;
            case VAZIO    :
            {
                dia_erro("fornecer numero");
                goto lic;
            }
            case NORMAL   :
            {
                if( color[i] >127 || limes[i] < 0)
                {
                    dia_erro("invalido..");
                    goto lic;
                }
                break;
            }
        }
    }
}

```

```

/*----- aquisicao de janela de trab -----*/
_2: le_info(&info);
    jan[0]=info.voo_x+100/info.zoom;
    jan[2]=info.voo_y+100/info.zoom;
    jan[1]=jan[3]=99/info.zoom;
    dia_poe_texto(22,20,"selecione regio de trabalho",34,43,1,0);
    switch ( uvi_cursor ( atr[ind].canal,jan ) )
    {
        case FIM      : goto final;

```

```

    }
    j0=(float)jan[0];          /*valores para janela grafica*/
    j1=(float)(jan[0]+jan[1]);
    j3=(float)(jan[2]+jan[3]);
    j2=(float)jan[2];
    dia_limpa(22,20);

/*-----Processamento-----*/
    uvi_limpa(S);
    graf_inicio('u'),
    /* posiciona janelas graficas fisica e virtual */
    graf_janela_f (j0,j1,j2,j3);
    graf_janela_v (j0,j1,j2,j3);
    /* leitura de linhas */
    for ( li=0 ; li<jan[3] ; li++)
    {
        uvi_le_linha ( atr[ind].canal,li,ba,jan)

        /* variacao de colunas e classificacao pelo modelo */
        for ( co=0 ; co<jan[1] ; co++)
        {
            tr= 0.673-0.00857*(float)(ba[co]);
            for( i = 1 ; i<numfa ; i++ )
            {
                if( tr>limites[i-1]+i && tr<limites[i] )
                    cor=color[i];
            }
        }
    }

/*-----pontos do grafico de saida-----*/
    /* coordenadas graficas na janela */
    icor :
    coor_y=j3-(float)li;
    coor_x=(float)(co)+j0;
    graf_marca(coor_x,coor_y,cor);
    }
}

graf_fim();

/*-----adiciona canal grafico nos atributos-----*/
    in=indice_canal(S,att,nbt);
    if( in ==-1)          /*canal graf nao existe*/
    {
        memcpy(&atr[nbt],&atr[0],sizeof(atr[nbr]) );
        atr[nbr].canal=3;
        strcpy(atr[nbr].banda,"c");
        atr[nbr].tipo='t' ;
        nbr++;
    }
    else          /*canal grafico existe*/
    {
        strcpy(atr[in].banda,"c");
    }

    escreve_atributos(atr,nbr);

/*-----cria arquivo tabela-----*/
    ntab=numfa;
    for ( i=0 ; i<numfa; i++)
    {
        tab[i].tab_cor = cor;
    }
    if ( escreve_tab('t',"tela","c",tab,ntab) != ERRO_NORMAL )
    {

```

```
dia_erro('ERRO de escrita no arq. tabela');
```

```
}
```

```
final: dia_cursor(22,30);
```

```
uvl_tut_comb();
```

```
}
```


DADOS *in situ* DE 04 E 05/ABR/84; 05/DEZ/84 E
MÉDIA DOS NÍVEIS DE CINZA DAS
IMAGENS DE 08/ABR/84 E 04/DEZ/84

DATA	ESTAÇÃO Nº	MST (mg/l)	SAL (‰)	TRANSP (m)	B1 ncm	B2 ncm	B3 ncm	B4 ncm
5/4/84	01	48.48	31.0	0.40	27	24	22	6
5/4/84	02	43.00	31.0	0.40	28	23	21	4
5/4/84	03	35.16	30.0	0.40	26	23	20	6
5/4/84	07	30.00	30.0	0.40	26	22	19	4
5/4/84	08	53.60	30.0	0.40	27	24	23	6
5/4/84	09	30.64	30.0	0.40	27	24	19	3
4/4/84	10	35.88	20.0	0.40	27	23	20	5
4/4/84	11	22.48	28.0	0.50	23	20	14	2
4/4/84	12	92.52	24.0	0.50	23	17	12	4
5/12/84	01	38.24	12.0	0.60	26	22	13	4
5/12/84	02	10.56	13.0	0.60	24	20	11	3
5/12/84	03	22.48	13.0	0.60	24	20	11	3
5/12/84	04	15.96	12.0	0.65	24	20	13	3
5/12/84	05	13.40	13.0	0.75	23	21	12	4
5/12/84	06	12.92	11.0	0.70	24	20	12	3
5/12/84	07	9.12	10.0	0.70	23	20	13	4
5/12/84	08	13.40	9.0	0.70	22	19	10	3
5/12/84	09	15.64	10.0	0.60	24	22	16	4
5/12/84	10	17.00	5.5	0.50	21	17	11	2
5/12/84	11	15.60	5.5	0.90	20	16	10	2
5/12/84	12	16.08	7.0	0.90	21	17	11	3
5/12/84	13	28.64	9.0	0.60	23	20	13	3
5/12/84	14	24.00	4.0	0.60	22	17	12	3