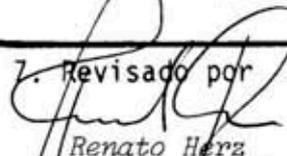


1. Classificação <i>INPE-COM.1/TDL</i> <i>C.D.U.: 528.711.7:577.4E:628.394</i>		2. Período	4. Distribuição	
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)  <i>SENSORIAMENTO REMOTO</i> <i>POLUIÇÃO DA ÁGUA</i> <i>PROCESSAMENTO DE IMAGENS</i>			interna <input type="checkbox"/>	externa <input checked="" type="checkbox"/>
5. Relatório nº <i>INPE-2181-TDL/058</i>	6. Data <i>Julho, 1981</i>		7. Revisado por  <i>Renato Herz</i>	
8. Título e Sub-Título  <i>PROCESSAMENTO DE DADOS MULTIESPECTRAIS, OBTIDOS POR PLATAFORMAS ORBITAIS DA SÉRIE LANDSAT, PARA ESTUDOS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BAIÁ DE GUANABARA</i>			9. Autorizado por   <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
10. Setor <i>DSR</i>	Código		11. Nº de cópias <i>16</i>	
12. Autoria <i>Juan Jose Verdésio Bentancurt</i>			14. Nº de páginas <i>185</i>	
13. Assinatura Responsável 			15. Preço	
16. Sumário/Notas  <i>Este trabalho propõe-se a estabelecer o grau de relacionamento entre os vários parâmetros de qualidade da água da Baía de Guanabara e os dados do imageador multiespectral do satélite LANDSAT. A abordagem escolhida foi a empírica, devendo-se selecionar, dos dados disponíveis, os parâmetros de teor de clorofila, a transparência da água através do disco de Secchi, a salinidade e o teor de amônia. De todos os sobrevoos existentes, puderam ser utilizados somente dois, nos quais existiam dados de verdade terrestre aproximadamente simultâneos. Ao mesmo tempo, compararam-se vários processamentos digitais dos dados de vídeo que pudessem melhorar o ajuste entre os dois conjuntos de dados. Empregaram-se análises de regressão linear e não-linear, comparando-se os dados originais com os processados através do cálculo do coeficiente de correlação e do erro médio das estimativas. Os resultados mostraram que dados bem mais ajustados podem ser obtidos através de certos programas de correção radiométrica com embasamento físico, das razões de contraste, e da normalização. Também foram encontrados outros resultados de interesse secundário, como a detecção de certos alvos na água.</i>				
17. Observações <i>Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 10 de junho de 1980.</i>				



Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento dos requisitos exigidos  
para a obtenção do Título de Mestre em  
Sensoriamento Remoto

Dr. Ralf Gielow



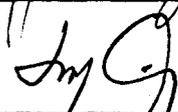
Presidente

Dr. Renato Herz



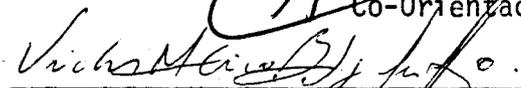
Orientador

Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion



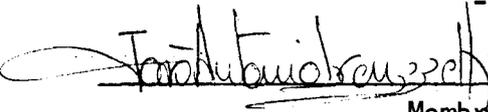
Co-Orientador

Eng. Civ. Vitor Monteiro Barbosa Coelho



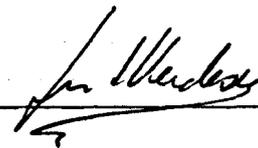
Membro da Banca  
-convitado-

Fis. João Antonio Lorenzetti, MSc.



Membro da Banca

Juan José Verdésio Bentancurt



Candidato

São José dos Campos, 10 de junho de 1980



## ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
ABSTRACT .....	<i>vi</i>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>vii</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>ix</i>
<u>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</u> .....	1
1.1 - Generalidades .....	1
1.2 - Processos de avaliação de qualidade da água .....	6
1.2.1 - Conceito de qualidade da água .....	6
1.2.2 - Técnicas convencionais de avaliação de qualidade da água. ....	11
1.2.2.1 - Processos com observação "in situ" .....	11
1.2.2.2 - Uso de modelos matemáticos .....	12
1.3 - Processos com utilização de sensoriamento remoto .....	14
1.3.1 - Sistemas sensores utilizados em estudos de qualidade da água .....	14
1.3.2 - Imageador multiespectral por varredura (MSS) do satélite LANDSAT .....	17
<u>CAPÍTULO II - PRINCÍPIOS BÁSICOS DA INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM OS MEIOS LÍQUIDO E ATMOSFÉRICO</u> .....	35
2.1 - Propriedades espectrais da luz solar .....	35
2.2 - Propriedades espectrais da água e de seus poluentes .....	39
2.3 - Componentes que acompanham a água e sua influência nas pro priedades ópticas .....	44
2.4 - Efeitos e interações .....	47
<u>CAPÍTULO III - ÁREA DE TRABALHO</u> .....	51
3.1 - Descrição geral do ambiente da baía de Guanabara .....	51
3.1.1 - Localização e abrangência espacial .....	51
3.1.2 - Geologia, Geomorfologia e solos da Bacia .....	53
3.1.3 - Vegetação e uso do solo .....	54
3.1.4 - Sistema hidrometeorológico .....	57
3.1.4.1 - Esboço climático .....	57
3.1.4.2 - Carga dos rios e poluição que recebem .....	59

3.2 - Descrição da Baía de Guanabara .....	63
3.2.1 - Morfologia e composição do fundo .....	63
3.2.2 - Regime de corrente, marés e transporte de partículas em suspensão .....	64
3.2.3 - Determinação dos parâmetros de qualidade da água e seu controle .....	72
<u>CAPÍTULO IV - OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS</u> .....	77
4.1 - Objetivo geral .....	77
4.2 - Objetivos específicos .....	77
4.3 - Justificativas .....	78
4.3.1 - Utilização de dados do MSS do LANDSAT para estimar a qua lidade da água .....	78
4.3.2 - O uso de processamento de dados de vídeo multiespectrais	83
4.3.3 - A escolha da área de trabalho na baía de Guanabara .....	89
<u>CAPÍTULO V - MATERIAL E MÉTODOS</u>	
5.1 - Imagens orbitais .....	91
5.2 - Observações hidrometeorológicas .....	95
5.3 - Observações sobre a qualidade da água in situ .....	107
5.4 - Metodologia empregada .....	108
<u>CAPÍTULO VI - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	
6.1 - Resultados .....	137
6.1.1 - Resultados das análises de regressão entre os dados de qualidade da água e o nível digital de cinza do sensor do MSS do satélite LANDSAT .....	137
6.1.2 - Carta de teores de clorofila nas águas da Baía de Guana bara .....	140
6.1.3 - Resultados adicionais: detecção de vegetação flutuante, baixos fundos, óleo e embarcações .....	143
6.2 - Discussão .....	144
6.2.1 - Discussão dos resultados das regressões .....	144
6.2.2 - Discussão sobre o uso do processamento desenvolvido por Morimoto (1980) .....	148
6.2.3 - Discussão sobre a utilização de imageadores a bordo de satélites para estudos da qualidade da água .....	151
6.3 - Recomendações para trabalhos futuros .....	157

<u>CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u> .....	163
7.1 - Conclusões .....	163
7.2 - Recomendações .....	164
AGRADECIMENTOS .....	167
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	169
APÊNDICE A - GLOSSÁRIO	



## ABSTRACT

*In this paper we try to establish the grade of relationship existing among various Guanabara Bay water quality parameters and LANDSAT MSS video data. We have chosen an empirical basis approach, but we had to select, from the available data, some parameters as follows: chlorophyll, water transparency using Secchi disk, salinity and dissolved ammonia. Only two overflights could be used, due to the fact that in the other ones there were no simultaneous ground truth data. At the same time, digital video data processings were compared in order to improve a better adjustment between both data sets. Linear and nonlinear regression analyses were utilized, comparing original data with processed ones by using the correlation coefficient and the estimation mean error. The results showed that it is possible to obtain better adjusted data by means of some radiometric correction programs with a physical basis, contrast ratio, and normalization. Some other interesting results have been found, such as the detection of certain targets in water.*



## LISTA DE FIGURAS

I.1 - Diagrama de fluxo da metodologia desenvolvida por Sheng e Link (1976) para o estabelecimento de modelos de dispersão de sedimentos .....	4
I.2 - Zoneamento das águas da Baía de Guanabara .....	10
I.3 - Trajetória orbital dos satélites da série LANDSAT .....	18
I.4 - Resposta espectral dos detectores do MSS do LANDSAT .....	21
I.5 - Processamento analógico do MSS .....	23
I.6 - Sequência de dados típica de uma linha de varredura do MSS do LANDSAT .....	25
I.7 - Diagrama de fluxo de processamento de geração de fitas CCT a partir de dados do MSS do LANDSAT .....	27
II.1 - Interação da radiação solar com a atmosfera e a água .....	35
II.2 - Reflectância espectral medida de diversos tipos de efluentes industriais e de esgoto domiciliar .....	40
II.3 - Radiância espectral calculada com os dados da Figura II.2 e recebida pelo satélite a 900 km de altura .....	41
II.4 - Reflectância espectral medida da água, com diferentes teores de sedimentos em suspensão .....	41
II.5 - Radiância espectral calculada com os dados da Figura II.4 e recebida pelo satélite a 900 km de altura .....	42
III.1 - Rede de drenagem da Baía de Guanabara .....	52
III.2a - Cobertura florestal da bacia da Baía de Guanabara no século XVI .....	55
III.2b - Cobertura florestal da bacia da Baía de Guanabara no ano de 1976 .....	56
III.3 - Origem e local de despejo das cargas poluidoras na Baía de Guanabara .....	60
III.4 - Sistema de esgotos existentes no Município do Rio de Janeiro .....	62
III.5 - Correntes de maré na Baía de Guanabara .....	67
III.6 - Altura da maré e velocidade do vento nos arredores do acidente com o petroleiro Tarik, após a ocorrência deste ...	69
III.7 - Evolução das manchas de óleo na Baía de Guanabara, durante e após o acidente com o petroleiro Tarik .....	70
V.1 - Imagem do sobrevôo de 24/02/75 .....	93
V.2 - Imagem do sobrevôo de 24/05/75 .....	94
V.3 - Velocidade do vento, altura da maré e do rio Acari e vazão típica de esgoto para os dias 22, 23 e 24 de maio de 1975 .....	96

V.4 - Velocidade do vento, altura da maré e do rio Acari e vazão típica do esgoto para os dias 22, 23, 24, 25 e 26 de fevereiro de 1975.....	97
V.5 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 1975 .....	98
V.6 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 22/05/75 .....	99
V.7 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 23/05/75 .....	100
V.8 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 24/05/75 .....	101
V.9 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 22/02/75 .....	102
V.10 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 23/02/75 .....	103
V.11 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 24/02/75 .....	104
V.12 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 25/02/75 .....	105
V.13 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 26/02/75 .....	106
V.14 - Resultado da aplicação de razões entre faixas adjacentes, utilizando-se os níveis de cinza em imagens com alvos de areia de praia em sobrevãos de diferentes datas ao longo do ano .....	110
V.15 - Diagrama de fluxo do processo de escolha dos melhores processamentos .....	111
V.16 - Comparação entre as imagens originais e as processadas pelo programa ATA, no sobrevão de 24/03/75 .....	120
V.17 - Relação entre o coeficiente de correlação calculado e o verdadeiro, levando-se em consideração que, de cada vinte amostras no Universo, uma está errada .....	124
VI.1 - Regressão linear entre os dados de campo de teor de clorofila "a" e o nível digital de cinza do MSS 5 .....	139
VI.2 - Classificação do teor de clorofila "a", em 24/02/75, das águas da Baía de Guanabara, através de dados de vídeo do MSS 4, processados pelo programa ATA .....	141
VI.3 - Classificação do teor de clorofila "a" das águas da Baía de Guanabara e do mar adjacente, através de dados de vídeo do MSS 5 .....	142

## LISTA DE TABELAS

I.1 - Parâmetros usados para análise da água .....	7
I.2 - Parâmetros específicos medidos para estimar a qualidade da água .....	8
I.3 - Sensores utilizados para aquisição de informações sobre a poluição da água .....	16
II.1 - Irradiância espectral do sol em watts/m <sup>2</sup> /μm .....	38
III.1 - Vazão do esgoto estimado per capita em l/habitante/dia ..	63
III.2 - Probabilidade de ocorrência de ondas provocadas pelos ventos .....	65
V.1 - Parâmetros de qualidade da água considerados nas regressões	108
V.2 - Perfis de radiossondagem usados no programa LOWTRAN para 24/02/75 no Aeroporto do Galeão .....	117
V.3 - Perfis de radiossondagem usados no programa LOWTRAN para 24/05/75 no Aeroporto do Galeão .....	118
V.4 - Transmitâncias calculadas pelo programa LOWTRAN 3 .....	121
V.5 - Dados de entrada do programa ATA .....	121
VI.1 - Resultados da análise de regressão linear com medidas de disco de Secchi no sobrevôo de 24/05/75 .....	128
VI.2 - Resultados da análise de regressão linear com medidas de disco de Secchi no sobrevôo de 24/02/75 .....	129
VI.3 - Resultados da análise de regressão linear com medidas de disco de Secchi no sobrevôo de 24/05/75 .....	130
VI.4 - Resultados da análise de regressão não-linear com medidas de disco de Secchi no sobrevôo de 24/02/75 .....	131
VI.5 - Resultados da análise de regressão linear com determinações de clorofila "a" no sobrevôo de 24/02/75 .....	132
VI.6 - Resultados da análise de regressão linear com determinações de clorofila "a" no sobrevôo de 24/05/75 .....	133
VI.7 - Resultados da análise de regressão não-linear com determinações de clorofila "a" no sobrevôo de 24/02/75 .....	134
VI.8 - Resultados da análise de regressão não-linear com determinações de clorofila "a" no sobrevôo de 24/05/75 .....	135
VI.9 - Resultados da análise de regressão linear com determinações de salinidade no sobrevôo de 24/05/75 .....	136
VI.10 - Resultados de análise de regressão linear com determinações de NH <sub>3</sub> no sobrevôo de 24/05/75 .....	137

V.11 - Número de imagens disponíveis até 8/78, segundo a percentagem da área coberta de nuvens e da área não-imageada ...	153
V.12 - Número de imagens disponíveis até 8/78, segundo o mês de sobrevôo .....	153

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - GENERALIDADES

Estã cada vez mais generalizado o processo de alteraçãõ da qualidade do meio ambiente utilizado com diversas finalidades. Nas regiões costeiras, onde habitualmente localizam-se instalações portuã rias, industriais e de serviçõs, este processo ẽ mais acentuado e com plexo. Em particular, na Baã de Guanabara, com o surto de desenvolvimento industrial intenso da ũltima dẽcada, o qual ocasionou um grande crescimento populacional, este fenõmeno tem-se manifestado de maneira alarmante.

Devido ã contaminaçãõ do ar, da ãgua e do solo a nãveis quase insuportãveis para o prõprio homem, as autoridades municipal e estadual agem no sentido de reduzir suas consequẽncias. Assim foi criada a Fundaçãõ Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, dependente do governo do Estado do Rio de Janeiro, que cuida de assessorar o governo no controle do estado "sanitãrio" do patrimõnio natural do Estado.

Paralelamente introduziu-se, no Brasil, uma sãrie de tẽcnicas de estudo dos recursos naturais globalmente denominadas Sensoriamento Remoto. Particularmente no INPE, a partir do ano de 1972, utilizam-se dados de sensores de diversas plataformas orbitais com mũltiplas finalidades.

Em 1977 começõu a ser desenvolvido, no grupo de recursos do mar do Departamento de Sensoriamento Remoto (DSR) do INPE, um projeto que objetiva estudar as potencialidades do Sensoriamento Remoto aplicado ã anãlise da qualidade da ãgua em ãreas costeiras. Este projeto, denominado POLUE, continua em andamento e este trabalho de tese pretende cumprir algumas das proposições do plano original do projeto mencionando com o suporte financeiro da FINEP.

Este trabalho visa, também, reunir todos os dados colhidos ou gerados pelas instituições governamentais, dados estes utilizados na região com a finalidade de servir de subsídio a novas pesquisas e, assim, permitir uma melhor compreensão do estado da qualidade da água na Baía de Guanabara. Esta região merece ser estudada com enfoques integrados em virtude de sua importância para a sobrevivência de grande parte da população do sudeste do Brasil.

O Sensoriamento Remoto vem sendo aplicado em grande escala para estudar certos padrões globais das superfícies oceânicas, tais como: salinidade, temperatura, agitação superficial, espuma, borriço do mar, cobertura de gelo e fitoplâncton da camada de mistura (Hanson, 1973). Meirelles (1980) fez uma boa revisão sobre as aplicações do Sensoriamento Remoto em Hidrografia, e seu trabalho é uma boa contribuição à aplicação destas técnicas, no Brasil, para esta área.

Com relação à qualidade da água nas proximidades de centros urbanos, litorais e reservatórios dos continentes, existem informações suficientes que sugerem que o Sensoriamento Remoto constitui um método valioso em certos casos.

Segundo a NASA (1975), os poluentes que podem ser detectados por Sensoriamento Remoto são: óleo, sedimentos em suspensão, esgoto domiciliar, resíduos químicos e tóxicos. No Capítulo II, ver-se-á que é possível detectar vários níveis de concentração de sólidos em suspensão, bem como certos poluentes, com o MSS do LANDSAT.

Os primeiros trabalhos sobre o assunto são relativamente recentes, como é recente o interesse sobre a contaminação do meio ambiente. A maioria dos trabalhos citados são da década de 60 e 70, quando do incremento do uso das técnicas de Sensoriamento Remoto.

Segundo Herz (1977), em sua tese sobre os processos lagunares e costeiros na Lagoa dos Patos (RS), o estudo destes processos, tanto com modelos teóricos (modelagem) como orbitais (com uso de Senso

riamento Remoto orbital), tem limitações metodológicas. Segundo o mesmo autor, as duas técnicas devem se associar, o que conduzirá a resultados mais confiáveis do que a técnica de medidas de campo pontuais, sobretudo quando se pretende obter informações em áreas de grande extensão.

Herz (1977) ainda ressalta que as observações sistemáticas contínuas, com dados de plataformas orbitais, fornecem dados para um melhor ajuste dos modelos teóricos, aferindo-os continuamente. Com informações de amostragem simultâneas com os sobrevôos dos satélites, poder-se-ia chegar a modelos quantitativos de certas propriedades da água.

Seguiu-se, nesta pesquisa, a proposição metodológica de Herz (1977), como será mostrado no Capítulo V. Nas Figuras III.2.2 e III.2.3 do trabalho de Herz (1977), apresentaram-se o sistema adotado como plano da pesquisa e o fluxograma do procedimento geral da investigação.

Outros autores têm feito trabalhos intensivos com a combinação de métodos tradicionais com sensores remotos. Scheng e Lick (1979) desenvolveram o seguinte modelo de previsão de dispersão dos sedimentos no Lago Erie (Figura I.1). Comparando os dados de dispersão dos sedimentos colhidos por sensores do Ocean Color Scanner (OCS), na faixa do MSS 6, com os modelos bi e tridimensionais, Scheng e Lick (1979) perceberam que ambas as metodologias fornecem resultados semelhantes. Eles acham que a combinação de observações de satélite com os modelos pode dar uma melhor aproximação para entender as inter-relações físicas de um fenômeno tão complexo. As linhas gerais seguidas por Scheng e Lick (1979) são muito parecidas com as propostas por Herz (1977).

Por outro lado, existem trabalhos sobre a qualidade da água que foram realizados através do uso de sensores remotos desenvolvidos em diversas partes do mundo, sobretudo nos EUA, Europa e Japão. Convém citar os estudos sobre lagos e reservatórios feitos por Trexler (1975), Barker (1975) e Yarger e McCauley (1975) em Kansas, Boland (1976) na costa Este de EUA, Alfoldi (1974) no lago St. Clair de Canadá, e Pionke e Blanchard (1975) em Oklahoma, Wezernak et alii (1976 b) no lago Michigan.



No mar, foi estudado o estuário de Colúmbia por Duxbury (1967); o de Potomac por Brooks (1975); a baía de Tokio por Saitoh et alii (1967); a baía de San Francisco por Khorram (1979); e a baía de Delaware por Klemas et alii (1977 a, b, c). Também foram estudados o Lago Superior (Yeske et alii, 1975), e o porto de Charleston (Keller, 1975).

Na França, a equipe FRALIT (French Atlantic Ocean) desenvolveu amplos estudos (Verger, 1977) com diversos equipamentos de interpretação automática e dados dos sensores remotos dos satélites LANDSAT e da série NOAA nas seguintes regiões: a marisma ao Norte do estuário da Gironde, o Aínsa d'Aiguillon, a baía de Bourgneuf, o estuário do rio Loire, a baía do Monte Saint Michel, o estreito da ilha de Chausey e de Jersey, a baía de Arcachon, o mar de Iroise e o golfo Normando-Breton.

Todos os trabalhos citados reconhecem o Sensoriamento Remoto como instrumento indispensável, sobretudo a nível orbital, para a aquisição de uma idéia sinótica dos padrões de qualidade da água e para o acompanhamento da dinâmica do corpo de água em diferentes épocas.

Em resumo, embora os sensores remotos, no atual estágio de desenvolvimento, não substituam outras metodologias de estudo sobre a qualidade da água, podem vir a ser instrumentos extremamente úteis, pois:

- a) Oferecem dados instantâneos e sinóticos de uma dada situação, e, dependendo da repetitividade das observações, fornecem dados sobre a evolução temporal dos processos de mistura das águas de diferentes qualidades.
- b) Uma vez obtida uma calibração razoável dos dados dos sensores, pode-se avaliar, com cartas de estimativas da qualidade da água, o estado sanitário dos corpos de água num dado momento; com técnicas convencionais, a sua execução seria de grande dificuldade.

- c) Além de serem dispendiosas e difíceis de ser desenvolvidas, as observações in situ fornecem dados de baixa resolução espacial, com periodicidade mensal. Os sensores remotos do tipo dos usa dos no LANDSAT têm periodicidade semelhante, porém possuem maior resolução espacial (centenas de metros), resolução esta que, nos modelos teóricos, é da ordem de quilômetros.
- d) Os sensores remotos podem também fornecer informações que per mitam uma escolha mais correta dos pontos de amostragem, uma vez que ficarão evidenciadas certas descontinuidades e "manch as"; com métodos convencionais, isto é de difícil detecção.
- e) Outro fator importante a favor do sensor remoto é a rapidez de obtenção e utilização dos dados. Deve-se, portanto, fazer pes quisas sobre as possíveis aplicações e desenvolver métodos pa ra utilizar os dados dos sensores. Com o lógico incremento da resolução espacial e repetitividade que se espera que os sensores orbitais tenham, poder-se-á cada vez mais obter informa ções valiosas sobre os corpos de água.

## 1.2 - PROCESSOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

### 1.2.1 - CONCEITO DE QUALIDADE DA ÁGUA

Antes de escolher o método de análise da qualidade da água, deve-se conhecer o uso para o qual esta se destina. Desta maneira, podem-se medir os parâmetros importantes que definirão se a água estudada se adapta ou não ao uso a que se destina.

Segundo Allen e Mancy (1972), existem 424 parâmetros, em 6 grupos, que a Federal Water Pollution Control Administration dos EUA considera úteis (Tabela I.1).

TABELA I.1

PARÂMETROS USADOS PARA ANÁLISE DA ÁGUA

GRUPO	EXEMPLO	Nº
Físico-químico gerais	Alcalinidade, demanda química de oxigênio, turbidez	149
Observações físicas	Algas, gorduras, óleo	12
Radionuclídeos	St <sub>90</sub> alfa e beta	141
Microbiológicos	Coliformes totais e fecais	18
Materiais orgânicos		
- Dados de absorção de carbono	Extrato em clorofórmio e álcool	
- Compostos orgânicos naturais	Clorofila, tanino	4
- Compostos orgânicos e sintéticos	Fenóis	2
- Hidrocarbonetos halo genados	Aldrin, heptacloretos	62
- Hidrocarbonetos fos forados	Malathion, Parathion	10
- Pesticidas vários	Silvex	8
- Observações relacio nadas com tratamentc	Cloro disponível	6
TOTAL		424

FONTE: Allen e Mancy (1972), p. 976.

Existem também certos testes que caracterizam as propriedades da água de maneira não-específica, tais como: resíduo filtrado, salinidade, densidade, condutividade elétrica, dureza, alcalinidade ou acidez, demanda de cloro, gosto, odor, cor, material em suspensão e turbidez. Os mais específicos e comumente usados estão apresentados na Tabela 1.2.

TABELA 1.2

PARÂMETROS ESPECÍFICOS MEDIDOS PARA ESTIMAR A QUALIDADE DA ÁGUA

DEMANDA DE NUTRIENTES	NUTRIENTES ESPECÍFICOS	MOLESTOS	TÓXICOS
Oxigênio dissolvido	Amônia	Sulfetos	Cianuro
Demanda bioquímica de oxigênio	Nitrogênio Nitrato	Sulfuros	Metais pesados
Demanda química de oxigênio	Nitrito	Graxas e óleos	Pesticidas
Carbono total	N orgânico	Detergentes	
	Ortofosfato	Fenóis	
	Fósforo Polifosfato		
	P orgânico		

As águas podem ser utilizadas para:

- consumo humano;
- consumo industrial;
- aquacultura;
- abastecimento de pecuária ou animais selvagens;
- irrigação de culturas;
- navegação;
- recreação ativa ou passiva;
- geração de eletricidade;
- deposição de esgotos domésticos e/ou industriais.

Certamente alguns destes usos são incompatíveis, mas vários deles podem coexistir, dentro de certos limites, sem haver perturbação ambiental expressiva. Pode-se ainda fazer outra classificação que inclua todos os tipos de águas tolerados por cada indústria. Por exemplo: uma indústria de alimentos não toleraria a água que é utilizada para uma indústria siderúrgica.

As águas da Baía de Guanabara são utilizadas para diferentes fins (Coelho e Fonseca, 1976):

- 1) recreação em contato direto com a água;
- 2) recreação em contato indireto com a água: navegação e pesca;
- 3) navegação comercial;
- 4) pesca;
- 5) consumo industrial;
- 6) estético.

Cada um destes usos tem como parâmetros um conjunto de características, cujos níveis - máximos e mínimos - devem ser obedecidos; caso contrário, o seu uso ficará comprometido. Coelho e Fonseca (1976) estabelecem 5 tipos de situações possíveis de qualidade da água, e levam em conta o zoneamento da baía feito previamente (Figura I.2). Tais situações consistem em:

- a) Procurar assegurar todos os usos para toda a baía.
- b) Assegurar o uso de recreação por contato direto nas zonas de praias (zona 1) e o uso estético (zona 3), não garantindo o uso para pesca comercial (zona 2).
- c) Assegurar o uso pesqueiro na zona 2 e o uso estético nas zonas 1 e 3, não garantindo o seu uso para recreação por contato direto com a água.
- d) Assegurar o uso estético e de navegação nas zonas 1 e 3, não garantindo os demais usos.
- e) Garantir o uso de navegação e proteger a baía de um estado indesejável de poluição.

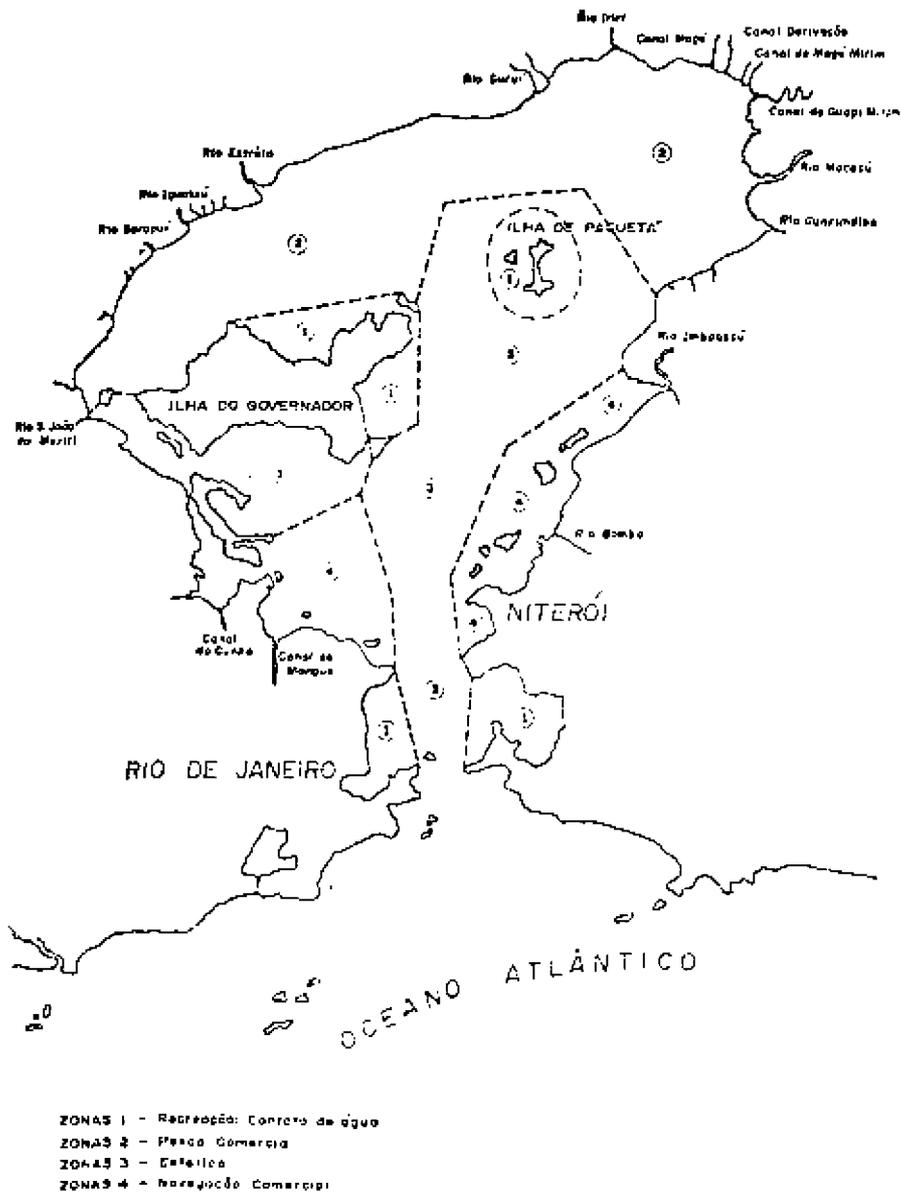


Fig. 1.2 - Zoneamento das águas da Baía de Guanabara.  
FONTE: Coelho e Fonseca (1976), p. 27.

Cada uma destas situações possíveis deverão ser atingidas quando os mínimos de cada parâmetro, para cada zona, forem definidos, seguindo-se o estabelecimento de mecanismos de controle e fiscalização para o cumprimento dos padrões mínimos.

Destas condições pode-se perceber, então, que não se pode argumentar sobre a qualidade da água sem definir-lhe previamente o uso e a situação que se espera no decorrer do tempo, num determinado corpo de água e na sua bacia abastecedora. Neste trabalho interessarão somente os parâmetros de qualidade já utilizados rotineiramente para a Baía de Guanabara, pela FEEMA, com os usos da água já definidos em várias publicações: Hydrosience (1977 e 1979), Coelho e Fonseca (1974 e 1976).

## 1.2.2 - TÉCNICAS CONVENCIONAIS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA

### 1.2.2.1 - PROCESSOS COM OBSERVAÇÃO IN SITU

Esses processos consistem na coleta de amostras de água a diferentes níveis durante períodos prolongados; abrangem todas as possíveis variações nas condições ambientais, tanto horizontal como verticalmente. A amostragem posterior à análise é um processo tecnicamente complexo e de alto custo, pois deve ser realizado repetidamente para estimar todas as variações; além disso, cada tipo de parâmetro a ser medido requer condições de coleta, armazenamento e processo de laboratório bastante diversificados. Um processo normal de coleta, num ponto do corpo da água, leva da ordem de 15 minutos a meia hora, dependendo do grau de amostragem e dos parâmetros a serem estimados. Este tempo é importante, uma vez que uma equipe de coleta só poderá amostrar uns 4 pontos 1 hora antes e 1 hora depois do sobrevôo do satélite.

Considerando-se todos os requisitos apontados para escolher o método analítico, devem-se levar em consideração os seguintes fatores:

- a) sensibilidade e precisão requeridas;
- b) número de amostras necessárias;
- c) necessidade da determinação in situ;
- d) rapidez de análise e pessoal disponível;
- e) disponibilidade de instrumentos requeridos.

#### 1.2.2.2 - USO DE MODELOS MATEMÁTICOS

Com o advento dos modernos computadores, foi possível em pregar modelos de dinâmica e de evolução da qualidade da água, assunto este que a FEEMA desenvolve há algum tempo. Por este processo, tal instituição estudou a qualidade da água da Baía de Guanabara em diferentes épocas, os possíveis efeitos do atual crescimento econômico da região, e o que aconteceria se fossem tomadas certas medidas de Engenharia Sanitária (Hydroscience, 1977).

O objetivo principal destes modelos é prover informações adequadas para o processo de melhoramento da qualidade da água da baía, através de um programa integrado de obras p<sup>u</sup>blicas.

A informação dos parâmetros de qualidade da água foi conseguida através de uma amostragem rotineira de 29 estações e de uma amostragem intensiva a cada 6 meses de amostras, em períodos de 3 horas durante o mesmo dia. Na amostragem mensal, coletam-se amostras uma vez por dia na superfície, na profundidade média e no fundo. Os parâmetros medidos são:

- temperatura;
- profundidade do disco de Secchi;
- pH;
- oxigênio dissolvido;
- demanda bioquímica de oxigênio;
- coliformes fecais e totais;

- clorofila "a";
- nitrogênio:
  - . por método Kjeldhal
  - . como amônia ( $\text{NH}_3$ )
  - . como nitrito ( $\text{NH}_2$ )
  - . como nitrato ( $\text{NH}_3$ );
- fósforo total.

Atualmente este tipo de coleta de dados continua sendo executado.

Para a modelagem dos parâmetros foram utilizados 56 segmentos. As estimativas de transporte na baía se fizeram utilizando-se a salinidade como traçador natural. A resolução da avaliação no modelo é da ordem de quilômetros.

O modelo matemático escolhido para a baía a define como um sistema bidimensional advectivo-dispersivo, com variações da qualidade da água em sentido longitudinal (Norte-Sul) e lateral (Este-Oeste); existe continuidade de massa no sistema e os cálculos são feitos de um segmento a outro. Antes do cálculo, determinaram-se os parâmetros do sistema, tais como: geometria, coeficiente de dispersão, taxa de reação e descargas diretas de esgoto. Finalmente, computou-se o número de coliformes totais, oxigênio dissolvido e salinidade.

Por último, o modelo foi conferido comparando-se os dados calculados com os observados; posteriormente, efetuaram-se ajustes finais dos parâmetros do sistema para obter um ajuste razoável entre os dados observados e os calculados.

### 1.3 - PROCESSOS COM UTILIZAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO

#### 1.3.1 - SISTEMAS SENSORES UTILIZADOS EM ESTUDOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os dados das propriedades espectrais apresentados no Capítulo II foram calculados ou observados na região espectral, em que comprimentos de onda da energia eletromagnética pertencem ao visível e ao infravermelho próximo (0,4 a 1,1  $\mu\text{m}$ ), em virtude de terem sido utilizados os dados coletados pelos sensores do satélite da série LANDSAT. Estes satélites recebem e enviam informações às estações rastreadoras caracterizadas por imagens multiespectrais desta fração do espectro eletromagnético. A observação dos corpos de água nestes intervalos de comprimento de onda tem muitas vantagens, embora existam sistemas mais eficientes para detectar os sólidos e solúveis que comumente poluem as águas.

Dentre essas vantagens, as mais importantes são:

- a) A tecnologia de detecção no visível é a mais desenvolvida e possui inúmeros sistemas comerciais em funcionamento, plenamente testados e extremamente eficientes. Podem-se citar: a fotografia convencional, os sistemas eletrônicos de produção de imagens (como os imageadores), as câmeras de televisão e o próprio olho humano, que é um sistema muito desenvolvido em resolução espacial e espectral.
- b) É a técnica de menor custo e que sofre menores interferências atmosféricas. Por outro lado, a informação que emerge da água, em comprimentos maiores do que o vermelho longínquo, é escassa devido à alta absorção que a água exerce (Hulburt, 1945; Clarke e James, 1939; e Jerlov, 1968).
- c) É muito fácil observar a faixa do visível, por coincidir com a sensibilidade da visão, podendo-se combinar observações diretas com observações feitas pelos sensores.

Atualmente a linha de pesquisa, em matéria de novos sistemas sensores para a detecção das propriedades químicas da água, visa a melhora do incremento da detectabilidade e a capacidade de perceber as discontinuidades nos tipos de águas estudados.

Os sistemas de novos sensores mais promissores são:

- a) os que utilizam o espalhamento Raman e o fluorescente;
- b) os que possuem medidas da fluorescência natural provocada por excitação da luz solar;
- c) os que possuem medidas de fluorescência artificial provocada por lasers de alta potência;
- d) os que possuem variações de sinal de microondas alterado ou emitido pela água.

Estes tipos de equipamentos estão em fase de testes e de pesquisas de aplicabilidade, sendo alguns deles extremamente promissores. Por exemplo, a fluorescência induzida pela radiação solar permitiria observar diversos poluentes, sem os riscos do uso dos lasers em regiões urbanizadas. Este método baseia-se na comparação do sinal recebido do Sol e da água numa linha de Fraunhofer, onde o corpo luminescente emite mais radiações. Este discriminador de linhas de Fraunhofer permite detectar certas substâncias, como:

- a) diferentes tipos de óleo que discriminam diferentes densidades e vazamentos naturais no mar, ou produto de acidentes, ou despejos não-permitidos;
- b) rodamina (Betz, 1968);
- c) detergentes;
- e) clorofila "a";
- f) certos organismos de plâncton bioluminescentes;
- g) alguns pesticidas.

Na Tabela I.3 podem ser apreciados todos os sistemas sensores aplicáveis aos estudos de qualidade da água.

TABELA I.3

SENSORES UTILIZADOS PARA AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÕES  
SOBRE A POLUIÇÃO DA ÁGUA

	INFORMAÇÃO				
	POLUENTES	DETECÇÃO	IDENTIFICAÇÃO DA FONTE	EXTENSÃO DA ÁREA	CONCENTRAÇÃO DE POLUENTE
S E N S O R	Intrusão de água salgada.	A, D, J, K, G	A, D, G	A, D, G	A, D, G
	Sólidos em suspensão.	B, C, D, L	B, C, L	B, C, D, L	B, D, L
	Vazamentos de óleos naturais ou não-naturais.	E, D, F, G, L	D, E, L	E, D, G, L	E, D, F, L
	Azeite de peixe.	I, J	D	D	D
	Radioatividade natural	H	H	H	H
	Atividade biológica (maré vermelha, algas, vegetais flutuantes).	C, A, D, L	C, A, D, L	C, A, D, L	A, D, L
	Poluição por esgoto doméstico e taninos.	A, B, C, D, L	C, G, L	B, C, L	C, L
	Poluição térmica (usinas nucleares e térmicas)	D	D	D	D
	Substâncias químicas fluorescentes.	I, K	I, X	I, K	I, K
	Substâncias químicas não-fluorescentes.	J, X	J, K	J, K	J, K

LEGENHAS

- A - Fotografia infravermelha colorida.
- B - Fotografia em preto e branco pancromática.
- C - Fotografia colorida.
- D - Imageadores no infravermelho termal.
- E - Sistemas de TV ou de fotografia no ultravioleta.
- F - Microonda passiva.
- G - Microonda ativa (RADAR).
- H - Espectrômetro de radiação gama.
- I - Discriminador de linhas de Fraunhofer.
- J - Retroespalhamento induzido por LASER.
- K - Retroespalhamentos Raman e fluorescentes induzidos por LASER.
- L - Imageadores multiespectrais (desde o ultravioleta até o infravermelho próximo).

(Baseado na tabela 19.4 de Reeves (1975), p. 1517, com modificações)

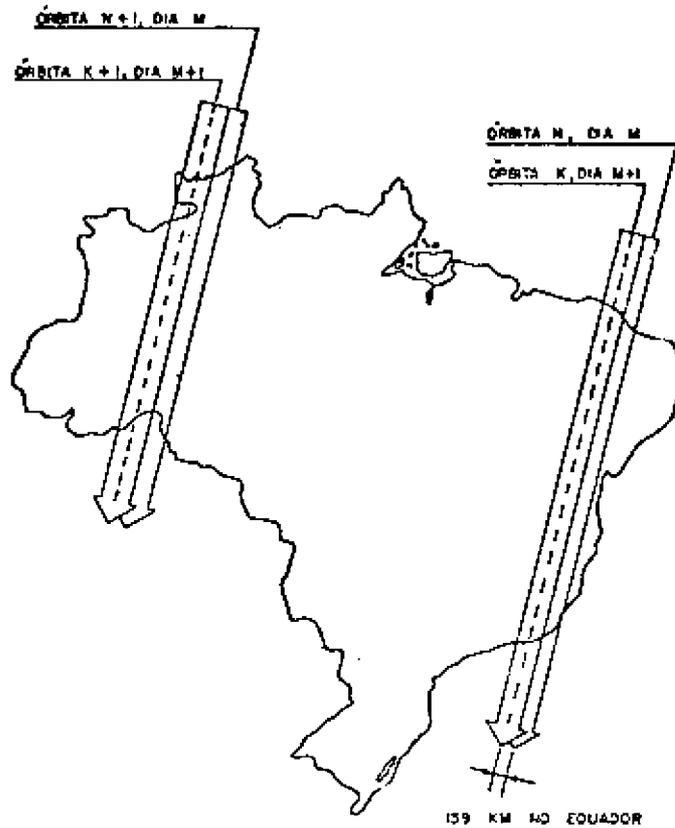
### 1.3.2 - IMAGEADOR MULTIESPECTRAL POR VARREDURA (MSS) DO SATÉLITE LANDSAT

Sendo o MSS o sensor cujos dados foram amplamente utilizados neste trabalho, é necessário descrever em detalhe as suas características (NASA, 1976).

Este instrumento sensor é um imageador instalado nos satélites da série LANDSAT, os quais possuem as seguintes características:

#### 1) Trajetoria orbital

É síncrona com o Sol numa órbita geocêntrica a 920 km de altitude, com  $99^{\circ} 015'$  de inclinação ao equador. O percurso do nodo descendente no LANDSAT 2 se faz entre as 9 h 10' e as 9 h 40' (hora local). A cada 18 dias, o satélite volta a percorrer a mesma órbita com relação à Terra, permitindo a obtenção de, no máximo, 20 imagens do mesmo local em cada ano. Entre as órbitas adjacentes existe, na latitude do Rio de Janeiro, um recobrimento lateral da área imageada de 19,1%, permitindo que a Baía de Guanabara seja coberta em dois dias consecutivos, a cada 18 dias. O centro das órbitas se desloca ligeiramente durante o ano devido a perturbações externas ao satélite, sendo estas órbitas corrigidas automaticamente pelo sistema de ajuste de órbita (OAS). A magnitude do afastamento significa um deslocamento lateral das imagens, de 37 km, e de 15 km nas imagens da Baía de Guanabara. A separação entre órbitas corresponde, no solo, a 159 km (Figura I.3).



NOTA: ÓRBITA K, DIA M+1, OCORRE 14 REVOLUÇÕES APÓS ÓRBITA N, DIA M.

Fig. 1.3 - Trajetória orbital dos satélites da série LANDSAT.  
FONTE: Meirelles (1980), p. 20.

## 2) Observatório do satélite

Parte do satélite que consiste em subsistemas integrados que provêem a energia, controlam a altura, a órbita e o fluxo de informações requeridas para suprir a carga útil, durante 1 ano, pelo menos. O observatório compõe-se dos seguintes subsistemas:

- a) Subsistema de controle de atitude: Comanda automaticamente a posição do satélite sobre a órbita, tendo como referência o plano orbital à superfície da Terra. Os medidores de atitude são dois imageadores de visada lateral que dão idéia do mergulho e do balanço do satélite. Um giroscópio mede a rotação do satélite sob seu próprio eixo vertical. O subsistema que controla a

atitude denomina-se Automatic Control Subsystem (ACS) e, o que mede a atitude é o Automatic Measurement Sensor (AMS).

- b) Subsistema de gravadores de vídeo de banda larga (WBUTR): Permite a gravação e posterior envio de imagens a estações terrestres em regiões onde o sinal de vídeo do satélite está fora da visibilidade das estações rastreadoras.
- c) Subsistema de potência: Produz a energia elétrica necessária para o funcionamento dos sensores e do ACS, AMS e WBUTR, através da coleta de radiação solar por painéis solares e baterias de reserva.
- d) Subsistema de comunicações e manejo de dados: É composto de subsistemas de telemetria, rastreamento e comando que medem e recebem dados. Existe, no conjunto, um outro subsistema que permite a ligação com o Data Collection System (DCS), sistema de coleta automática de dados ambientais ao nível da superfície.
- e) Subsistema de controle térmico: Mantém a temperatura interna do observatório entre  $20^{\circ} \text{C} \pm 10^{\circ} \text{C}$ .
- f) Subsistema de ajuste de órbita: Compõe-se de pequenos foguetes que fazem ajustes de órbita.

O subsistema Imageador Multiespectral (Multispectral Scanner Subsystem - MSS) é um radiômetro imageador de alta resolução geométrica que produz uma imagem contínua da Terra, em vários comprimentos de onda. Seguem-se agora as características deste subsistema:

- Geometria do imageamento

O sistema óptico se compõe de um espelho oscilante, lentes e fibras ópticas que focalizam a radiação incidente no espelho, sobre 6 detectores, por faixa espectral. Portanto, em cada oscilação do

espelho, tem-se a informação em 6 linhas de varredura por cada faixa espectral. O sentido da varredura é transversal ao sentido de deslocamento do satélite. A oscilação total do espelho corresponde a um ângulo de varredura de  $11^{\circ} 56'$ , o que corresponde, no solo, a 184,86 km. O campo instantâneo de visada de cada detector é de 79 m no solo, para as faixas 4, 5, 6 e 7; e de 237 m para a faixa 8. Cada vez que o espelho volta à posição inicial e começa uma outra varredura, um obturador mecânico fecha a passagem de radiação vinda de Terra, e os detectores passam a receber luz de um filtro óptico rotatório. Este varia gradativamente a escala do tom de cinza até o preto, e é iluminado por uma lâmpada de calibração.

• Resposta espectral dos detectores

As faixas 4, 5, 6 e 7 do MSS utilizam 6 detectores, totalizando 24 (Figura I.4). A faixa 8 tem dois detectores que são amostrados alternadamente. A sua resposta espectral fica entre 10,4 e 12,6  $\mu\text{m}$ , e a temperatura aparente da cena registrada varia de  $26^{\circ}\text{K}$  ( $-13^{\circ}\text{C}$ ) a  $340^{\circ}\text{K}$  ( $67^{\circ}\text{C}$ ).

Os detectores das faixas 4, 5 e 6 são fotomultiplicadores; os da faixa 7 são fotodiodos de silício; e os da faixa 8 são fotocondutores de liga Hg-Cd-Te.

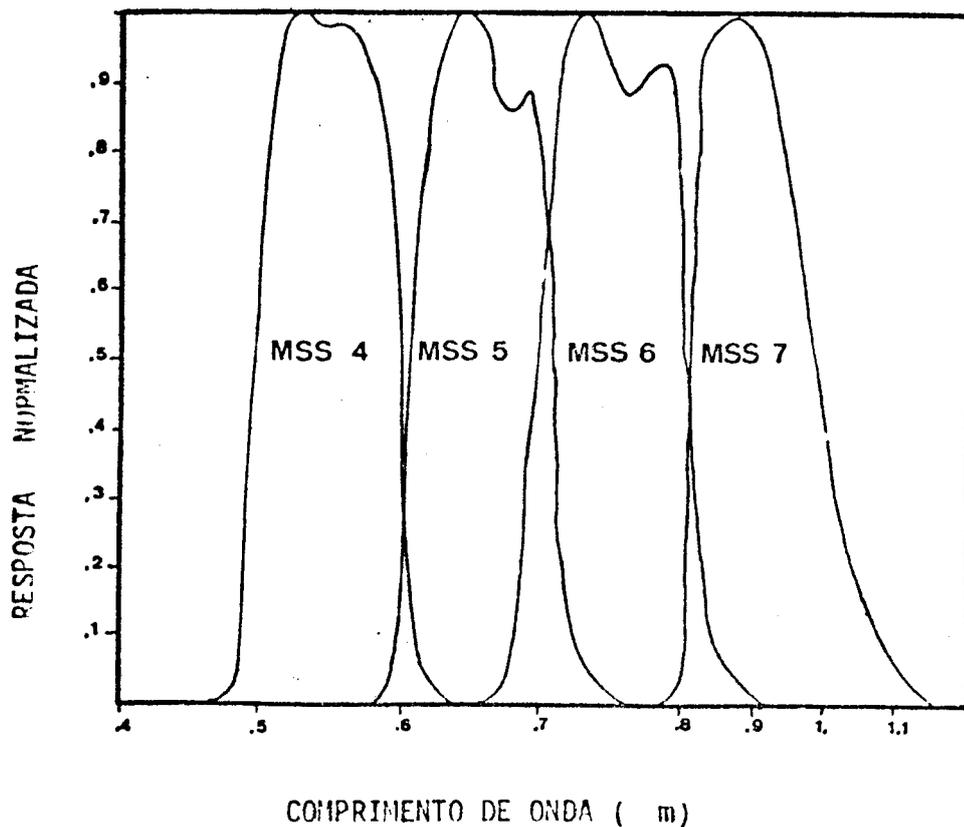


Fig. I.4 - Resposta espectral dos detectores do MSS do LANDSAT.  
FONTE: NASA (1976), p. 81.

● Sequência de amostragem do sinal dos detectores

Para produzir um fluxo de dados digitais em série, o sinal analógico contínuo de cada linha de varredura nos 6 detectores é amostrado aleatoriamente de tal maneira a representar, no solo, os mesmos 79 m de largura da linha. Esta unidade de informação ("pixel") está sobreposta às adjacentes para permitir que não haja perda de informações. Assim, cada "pixel" tem, lateralmente, 56 m de formação original e 23 m de "pixels" adjacentes. Resumindo, o campo de visada instantânea final enviado como sinal do MSS tem uma área, no solo, de 56 m x 79 m para as faixas 4, 5, 6 e 7; e de 193 m x 237 m para a faixa 8. Isto deve ser levado em consideração quando do processamento dos dados nas estações terrestres.

● Processamento do sinal analógico dos detectores

As amostras do sinal dos sensores são digitalizadas num fluxo único de 15063 megabits/s. Entretanto, desse processamento ocorre uma amplificação que pode ser linear ou não, dependendo da escolha dos responsáveis dos comandos da espaçonave.

Para melhorar a relação sinal/ruído nos detectores das faixas 4, 5 e 6, utiliza-se uma compressão do sinal por um amplificador quase-logarítmico. A faixa 7 nunca é comprimida. Na Figura I.5 podem-se ver as opções de processamento analógico para escolha dos comandos em Terra na NASA. Na opção de alta ganho, o ganho do amplificador é multiplicado por 4, o que possibilita melhor uso do intervalo dinâmico para as cenas que têm baixos níveis de radiância, como é o caso das superfícies de água. O único problema é que essa opção deve ser solicitada à NASA pelo usuário de imagens, o qual não aciona os comandos, uma vez que existe o risco de a chave automática a bordo da espaçonave ficar travada; além do mais, perde-se uma órbita inteira para outros fins.

Como a compressão dos dados das faixas 4 e 6 é feita por um amplificador e a da faixa 5 por outro, na posterior descompressão e processamento devem-se usar tabelas separadas de descompressão. A faixa 8 é amplificada linearmente com 8 comandos de ganho, com fator de amplificação que varia de 2,5 a 10,05. A faixa 4 em geral não deveria ser comprimida, porque aumenta muito o ruído do detector.

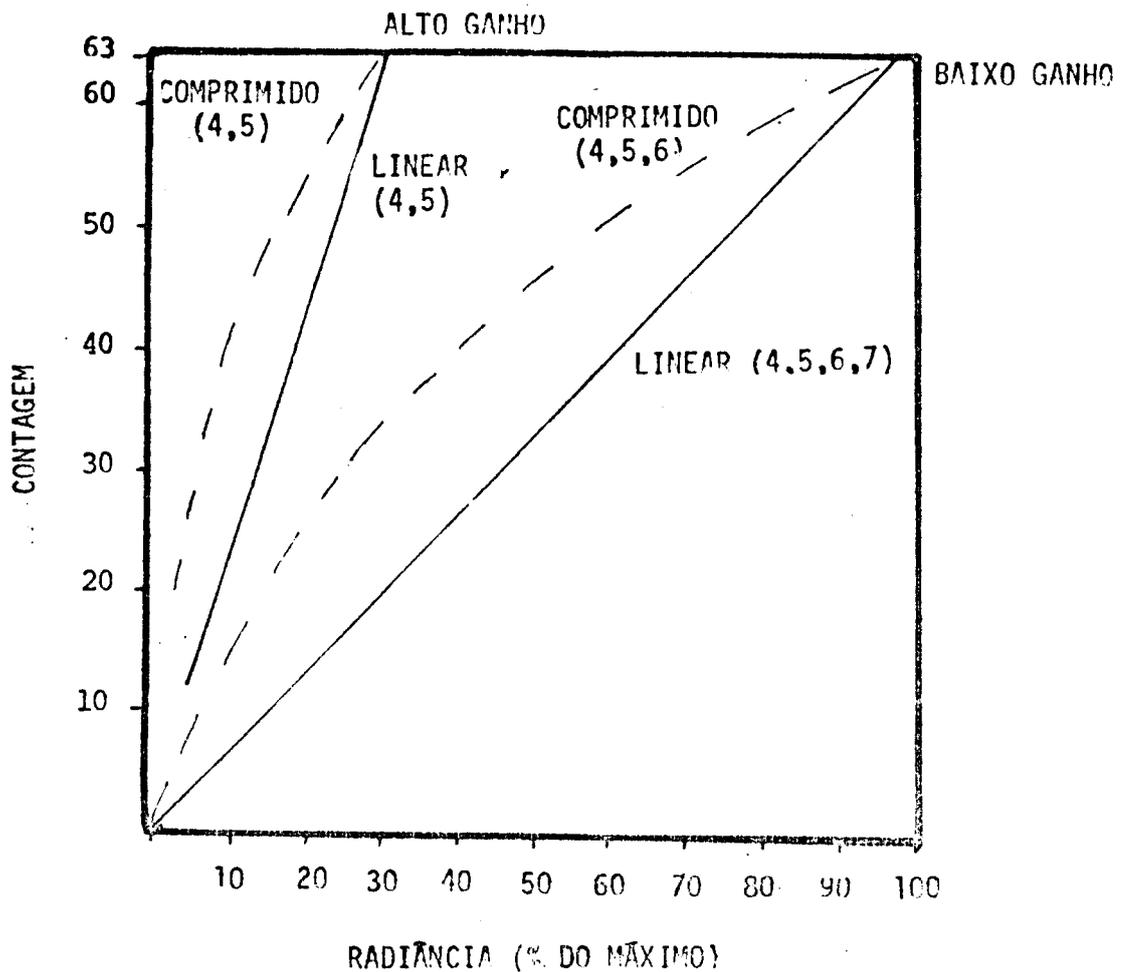


Fig. I.5 - Processamentos analógicos do MSS.

FONTE: NASA (1976), p. C6.

● Formação do fluxo de dados digitais

Após o processamento analógico, os dados dos sensores são codificados numa palavra de 6 bits que representa a amplitude do sinal em 64 níveis, de 0 a 63. Multiplexam-se, juntamente com o fluxo de dados dos sensores, outros dados, tais como:

- a) sinais de início e fim da linha de varredura;
- b) um preâmbulo para manter o sincronismo da varredura;
- c) um dado que indica o comprimento da linha de cada detector, em número de "pixels", em cada oscilação do espelho;

- d) um código do horário da espaçonave em hora do meridiano de Greenwich.

Descreve-se, a seguir, a sequência típica de dados de uma linha (Figura I.6):

- a) o preâmbulo;
- b) o sinal de início da linha de varredura, que aparece quando o espelho se orienta para o lado oeste da área a ser imageada;
- c) o código que interrompe a sequência de amostragem do detector e permite que o detector A, da faixa 4, seja encontrado no processamento;
- d) a palavra digital de sincronização do conjunto de "bytes" (MNFS) no canal 25; cada vez que este tempo é gerado, ele indica que está sendo produzida uma nova sequência de dados de vídeo dos detectores, começando com o detector A da faixa 4;
- e) o código de horário que consiste em 4 "bytes" de identificação e 44 "bytes" de dados de horário; a primeira oscilação do espelho contém 4 "bytes" de identificação seguida de 20 "bytes" de código de horário;
- f) os dados de vídeo dos detectores;
- g) o sinal do fim da linha, que indica que o espelho oscilou até o lado este da área a ser imageada;
- h) o código de comprimento de linha (LLC) é computado e fornece o número de "bytes" gerado por cada detector, em cada oscilação ativa do espelho. Isto é utilizado no processamento em Terra para equalizar os comprimentos de linha com "bytes" sintéticos;
- i) os dados de calibração de faixa 4 a 7 em cada linha, e em linhas alternadas na faixa 8.

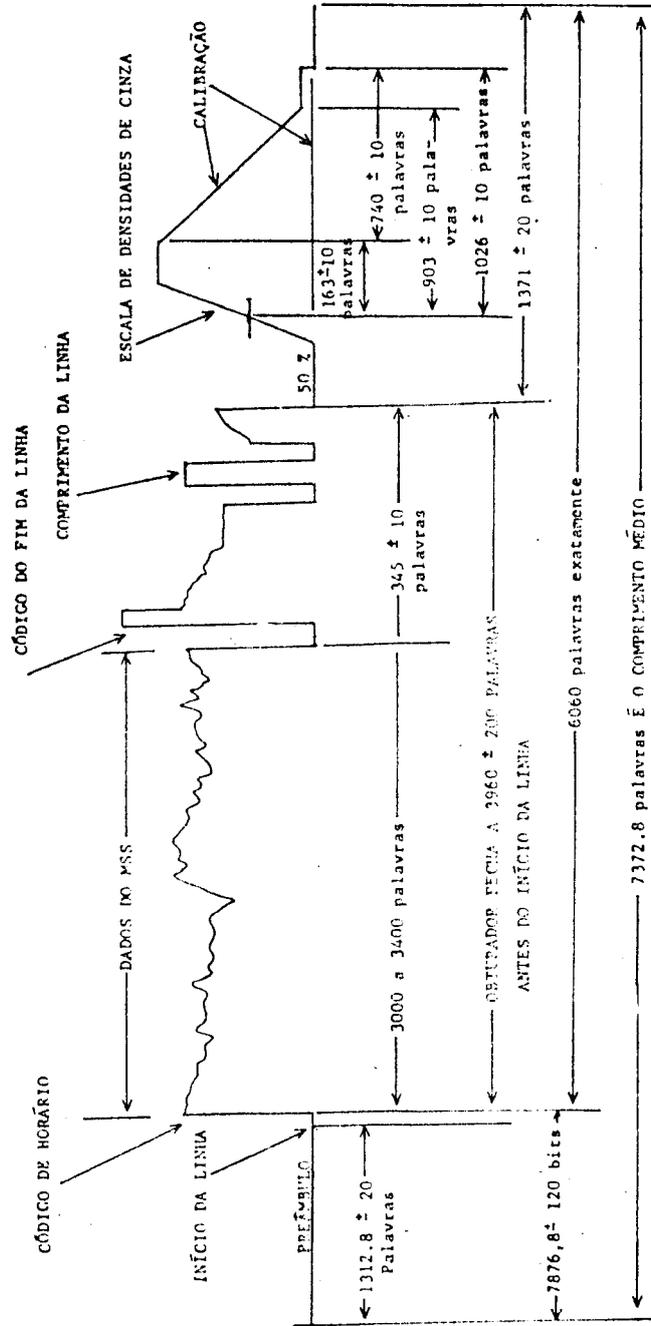


Fig. I.6 - Sequência de dados típica de uma linha de varredura do MSS do LANDSAT.  
 FONTE: NASA (1976), p. C7.

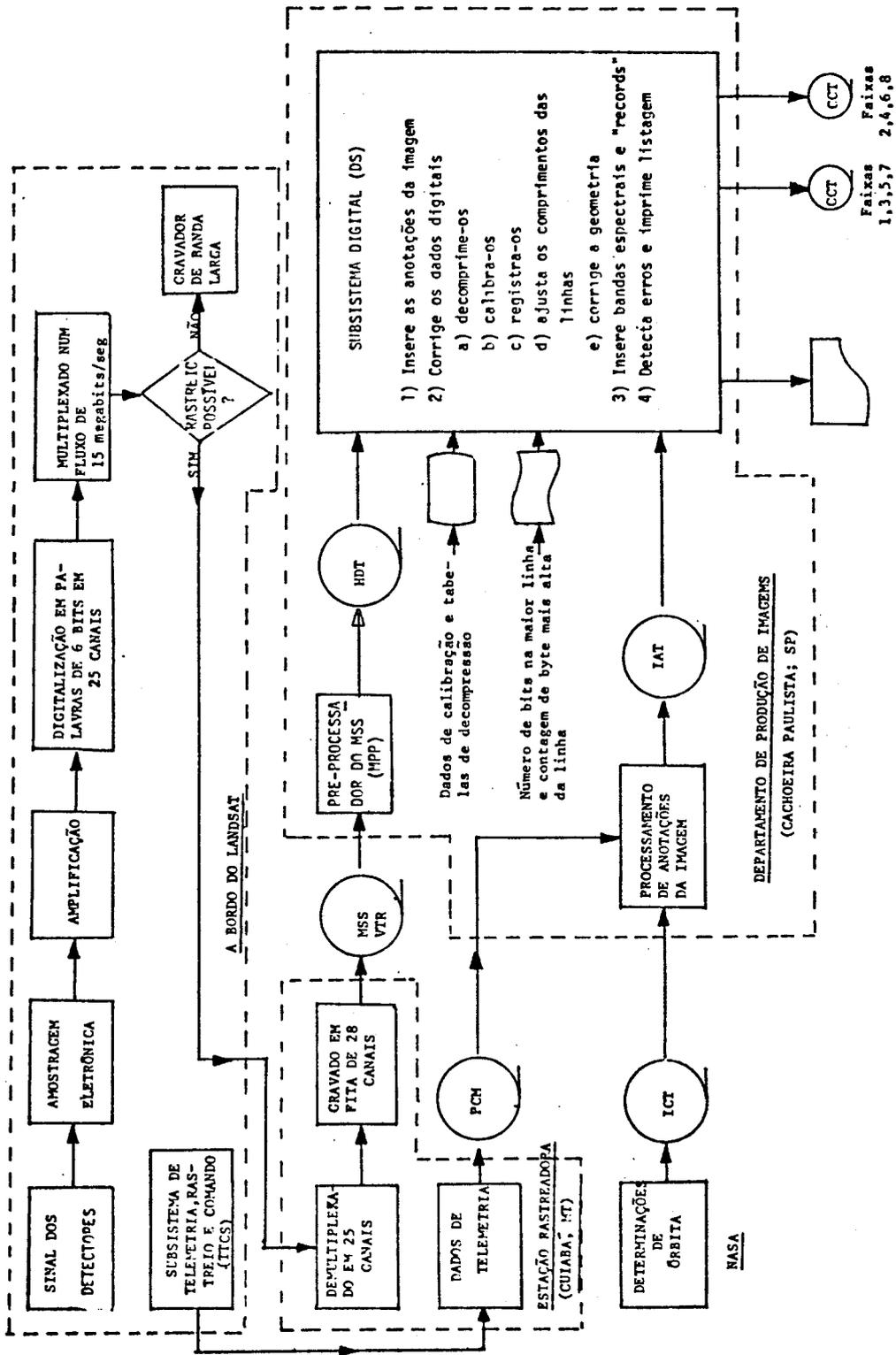
Os dados dos 25 canais e os códigos necessários são multiplexados e enviados, num fluxo de 15 megabits/s, ao gravador a bordo ou à estação rastreadora, onde os dados são demultiplexados e gravados na primeira fita digital (MSS-VTR), num gravador de 28 canais. É gerada uma fita por cada órbita.

O Brasil possui uma estação rastreadora situada em Cuiabá-MT, com visibilidade que permite receber imagens de 90% do território continental da América do Sul.

- Geração de fitas compatíveis com o computador com dados do MSS

Devido à diferente densidade de informações recebidas na estação rastreadora (taxa de tempo real de 600 kilobits/s por canal), comparada com a dos computadores convencionais (0,25 a 1 megabits/s), deve-se fazer uma conversão desta densidade. A conversão e os posteriores processamentos, até a entrega dos dados aos usuários, são feitos no Departamento de Produção de Imagens do INPE, em Cachoeira Paulista-SP. Como resultado destes processamentos, é gerada uma fita com dados armazenados em alta densidade (High Density Tape - HDT).

Segundo está indicado na Figura 1.7, as fitas compatíveis com o computador (CCT) de cada cena, de 184,86 km x 184,86 km, são geradas a partir da fita HDT, compatível com o subsistema digital que possui dados de toda uma órbita. Ela foi gerada no pré-processador (MPP) e vai ser a fonte de dados de todos os processos posteriores. Atualmente o sistema permite um controle de qualidade da imagem, antes de ser processada pela observação visual, num sistema de TV "quick-look". Pode-se conhecer previamente a cobertura média de nuvens, a qualidade dos dados, etc.



USUÁRIO

Fig. I.7 - Diagrama de fluxo de processamento de geração de fitas CCT a partir de dados do MSS do LANDSAT.

O primeiro passo do processamento é extrair os níveis de calibração e os códigos de comprimentos de linhas. Estes dados precedem aos dados das linhas varridas, aos quais se deve aplicar o processamento. A seguir, fazem-se as seguintes correções:

- a) Registro espacial faixa a faixa: Inserem-se "bytes falsos" para que o espaço entre as faixas 4 e 7 esteja separado por 6 "bytes"
- b) Correção do comprimento da linha: Primeiramente coletam-se informações sobre o maior número de "bytes" de uma linha, na cena a ser processada ( $N_{max}$ ). O comprimento corrigido pode ser múltiplo de 8, visto que a fita CCT a ser gerada contém 2 "bytes" da faixa 4 a faixa 7, separados por 8 "bytes"; também pode ser múltiplo de 3, porque os dados da faixa 8 têm um terço da resolução da faixa 4 a 7. Finalmente, o comprimento corrigido pode ser múltiplo de 24. Depois de inseridos os 6 "bytes" falsos, o número de "bytes" na maior linha é  $N_{max} + 6$ ; portanto o comprimento da linha corrigida (CCL) é calculado pela seguinte expressão, multiplicada por 24:

$$\frac{N_{max} + 6 + (23)}{24} \quad (I.1)$$

A correção das linhas é feita pela adição de "bytes" sintéticos a intervalos regulares dentro da linha. Este intervalo de "bytes" é um valor inteiro ( $\Delta$ ):

$$\Delta = \frac{LLC}{CCL - (LLC + 6)} \quad (I.2)$$

Os  $\Delta$  iniciais podem ser ajustados para manter o registro espectral. Assim:

$$\Delta b = 14 - 2b \quad (I.3)$$

onde  $b$  é o número de faixas espectrais de 4 a 7; portanto:

$$\Delta \text{ inicial} = \Delta - \Delta b \quad (I.4)$$

O "byte" é inserido por meio da repetição do precedente.

c) Descompressão: Se a compressão tiver sido feita na espaçonave, os dados de vídeo e de calibração deverão ser decomprimidos antes da execução da calibração. Para efetuarla, usa-se uma tabela de descompressão (uma para as faixas 4 e 6, e outra para a faixa 5), sendo que os "bytes" de entrada de 0 a 63 ampliam-se de 0 a 256. Como se conhecem, por testes prévios ao lançamento do satélite, os coeficientes da equação de regressão do amplificador, os dados podem ser calculados a partir de uma equação quadrática conhecida.

d) Calibração: Antes de o satélite ser colocado em órbita, foi determinada em laboratório a máxima radiância aceita pelos detectores em cada faixa (Cavalcanti, 1975). Utilizaram-se os mesmos detectores a serem instalados no satélite, uma fonte de radiação padrão e as lâmpadas de calibração utilizadas no MSS. Para calcular esse fator, definiu-se primeiramente a radiância de entrada relativa ( $R_i$ ):

$$R_i = \frac{R_{cwi}}{R_{\max}} \quad (I.5)$$

onde:

$R_{cwi}$  = radiância da lâmpada de calibração modificada pelo filtro de densidade variável, na palavra  $i$  (de 0 a 63).

$R_{\max}$  = máxima radiância estabelecida para cada faixa espectral, radiância esta que produz uma contagem digital de 63 para os dados adquiridos linearmente, e de 256 para os comprimidos.

Por regressão linear, podem-se estimar  $a$  e  $b$  através do método dos mínimos quadrados dos erros. Portanto ter-se-á:

$$V_i = (bR_i + a) + e_i \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (I.6)$$

sendo que:

$V_i$  = voltagem digital de saída dos detectores;

$b$  = fator de ganho entre  $R_i$  e  $V_i$  em unidades de voltagem por radiância;

$a$  = fator de "offset" em unidades de voltagem digital;

$e$  = erro (inclui o ruído e as variações do modelo linear).

$$e_i^2 = (V_i - bR_i - a)^2 \quad (I.7)$$

$$e_T^2 = \sum_i e_i^2 = \sum_i (V_i - bR_i - a)^2 \quad (I.8)$$

Diferenciando-se  $e_T^2$  em relação a  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$ , e igualando-o a zero, resultarão duas equações que podem ser resolvidas para estimar  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$ . Assim, têm-se:

$$\bar{a} = \sum_i C_i V_i \quad (\text{"offset" estimado}) \quad (I.9)$$

$$\bar{b} = \sum_i D_i V_i \quad (\text{ganho estimado}) \quad (I.10)$$

$$C_i = \frac{(\sum R_i)^2 - R_i \sum R_i}{6(\sum R_i^2) - (\sum R_i)^2} \quad (I.11)$$

$$D_i = \frac{6R_i - (\sum R_i)}{6(\sum R_i^2) - (\sum R_i)^2} \quad (I.12)$$

Para a faixa 8, a e b são calculadas através das seguintes fórmulas:

$$a = \frac{N_R V_0 - N_C V_R}{N_R - N_C}, \quad b = \frac{V_R - V_0}{N_R - N_C} \Delta N$$

onde:

$N_R$  = radiância do corpo negro de referência;

$N_C$  = radiância de referência "fria";

$V_R$  = radiância relativa para  $N_R$ ;

$V_0$  = radiância relativa para  $N_C$ ;

$\Delta N = N_{\max} - N_{\min}$ .

Os coeficientes  $C_i$  e  $D_i$  dependem somente dos valores de radiância determinados nos testes anteriores ao lançamento do satélite. Estes valores de  $R_i$  podem variar com o envelhecimento da lâmpada da calibração, motivo pelo qual quanto maior for a vida do satélite, mais falho será o processo de calibração.

Para eliminar o erro nas estimativas de  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$ , devidos ao ruído, filtram-se os coeficientes  $\underline{a}$  e  $\underline{b}$  pelo cálculo de uma média ponderada de estimativas sucessivas.

Finalmente, para calcular o novo valor corrigido de voltagem, ( $v_c$ ), usa-se uma tabela "look-up" que é mudada a cada cálculo de  $\hat{a}$  e  $\hat{b}$ , cujo valor é calculado por:

$$v_c = \frac{255}{R_{\max}} \frac{V_r - \hat{a}_s}{\hat{b}_s} \quad (I.13)$$

sendo:

$\hat{b}_s$  = valor estimado amortecido do ganho do detector;

$\hat{a}_s$  = valor estimado amortecido do "offset" do detector;

$V_r$  = voltagem incorreta recebida.

$R_{max}$  é igual a 2,48 mw/cm<sup>2</sup>/sr para a faixa 4; para as faixas 5, 6 e 7,  $R_{max}$  é igual a 2, 1,76, e 4,6, respectivamente.

Este tipo de calibração é feita de maneira rotineira no DPI do INPE, para cada cena processada. Entretanto, este tipo de processo não elimina totalmente as variações entre sensores, sobretudo as variações devidas à sensibilidade diferente dos sensores com a temperatura de operação (Cavalcanti, 1975). Isto, na imagem, resulta num efeito de "stripping", em virtude da repetição dos erros de um detector a cada 6 linhas. Este efeito é mais notável em imagens de corpos naturais com baixa radiância emergente, como os corpos de água, dificultando a interpretação automática. No Capítulo V, serão referidos outros processamentos utilizados no sistema interativo de interpretação automática de imagens multiespectrais (I-100).

Existe, no sistema LANDSAT, mais uma opção de processamento para calibração, que é a utilização do valor de radiância do Sol, medido pelo MSS, uma vez em cada órbita. Este valor serve para monitorar a variação de radiância por envelhecimento da lâmpada de calibração.

Por último, os dados de vídeo e de coeficiente de calibração do Sol, o "offset" filtrado, o ganho filtrado e o LLC são gravados em conjunto, em duas fitas, em 8 faixas geográficas orientadas de Norte a Sul. Para evitar perda de informação, os dados do início de cada linha, nas 8 faixas adjacentes, repetem os dados do fim da linha da faixa anterior.

- Geração de imagens a partir dos dados do MSS

Este produto segue um processamento paralelo ao das fi  
tas CCT do DPI, mas, como é escasso utilizado neste trabalho, não  
se descreverá em detalhe a sua geração (NASA, 1976).



## CAPÍTULO II

### PRINCÍPIOS BÁSICOS DA INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM OS MEIOS LÍQUIDO E ATMOSFÉRICO

#### 2.1 - PROPRIEDADES ESPECTRAIS DA LUZ SOLAR

Num dia sem nuvens, a irradiância do Sol ( $H_s$ ) atinge a superfície da água após passar pela atmosfera que tem uma transmitância  $\tau$  (Figura II.1). Segundo Scherz e Domelen (1975), a radiância resultante,  $L_s^*$ , num ângulo zenital  $\theta$  é:

$$L_s^* = \frac{H_s \tau}{\cos \theta} \quad (\text{II.1})$$

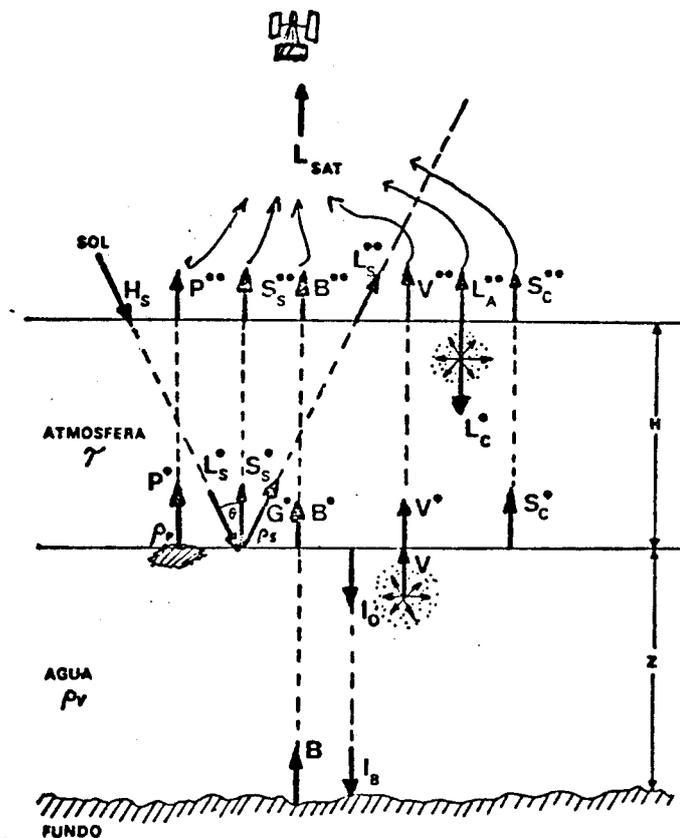


Fig. II.1 - Interação da radiação solar com a atmosfera e a água (baseado em Scherz e Domelen, 1975).

O significado dos símbolos da Figura II.1 é o seguinte:

- $L_{sat}$  - radiância recebida pelo sensor;
- $H_s$  - irradiância solar;
- $L_A$  - radiância de retroespalhamento do ar;
- $L_s$  - radiância do Sol incidente na água;
- $L_c$  - radiância do céu incidente na água;
- $\theta$  - ângulo zenital do Sol;
- $H_s$  - irradiância da água devido à radiância do Sol;
- $H_c$  - irradiância da água devido à luz do céu;
- $P$  - radiância de objetos flutuantes;
- $V$  - radiância emergente retroespalhada pela água, devido ao espalhamento da luz dentro da água pelas partículas suspensas;
- $S_s$  - radiância da espuma e borrimo do mar;
- $S_c$  - radiância refletida pela superfície do mar;
- $\rho$  - 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 penetra na água;
- $I_B$  - energia radiante que atinge o fundo;
- $\rho_V$  - reflectância por volume da água;
- $\rho_S$  - reflectância da espuma e borrimo do mar;
- $\rho_P$  - reflectância dos materiais flutuantes;
- $*$  - indica emergência da água;
- $**$  - indica emergência da atmosfera.

A radiância  $G^*$  refletida pela interface ar-água abandona a superfície com um ângulo igual ao incidente e, pela geometria do imageamento, esta não é registrada pelos detectores. No caso de fotografias com câmeras, como o ângulo de visada, é muito maior que o do MSS dos satélites LANDSAT:  $11^\circ 56'$  (NASA, 1976), pode-se ter acesso à radiância  $G^*$ , que obscurece toda a informação proveniente do interior do corpo de água.

Além da radiação direta do Sol, a água recebe a radiação espalhada pelos componentes do ar, denominada luz do céu ou "skylight". No sensoriamento remoto com o MSS do LANDSAT, só interessa a radiância do céu, incidente do zênite ( $L_C^*$ ), visto que esta será refletida pela interface a atingir o satélite ( $S_C^{**}$ ).

Segundo Scherz e Domelen (1975), a irradiância do céu é:

$$H_C^* = L_C^* \pi \quad (\text{II.2})$$

sendo a irradiância total incidente igual a:

$$H_0^* = H_S^* + H_C^* \quad (\text{II.3})$$

A energia luminosa que passa a interface e penetra na água é:

$$I_0 = H_0 (.98 - \rho_s) \quad (\text{II.4})$$

A irradiância espectral do Sol,  $H_s$ , encontra-se listada na Tabela II.1. Nela pode-se ver que a energia incidente do Sol é aproximadamente igual à de um corpo negro a  $6000^0$  K. Note-se que o ar tem uma transmissividade espectral que varia com o comprimento de onda e que a composição do ar não é constante; muda muito ao longo do tempo. As reflectâncias do borrimo do mar, a da interface e a do volume de água são espectralmente variáveis. Como resultado, haverá uma somatória considerável de efeitos para cada comprimento de onda. Na Seção 2.2, tenta-se ver qual será a radiância percebida pelo satélite.

TABELA II.1

IRRADIÂNCIA ESPACTRAL DO SOL EM WATTS/M<sup>2</sup>/μM

(μm)	H <sub>s</sub>	(μm)	H <sub>s</sub>		(μm)	H <sub>s</sub>		
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		M
0,420	1,92	0,520	1,87		0,640	1,66		S
0,425	1,89	0,525	1,92		0,650	1,62		S
0,430	1,78	0,530	1,95		0,660	1,59		
0,435	1,82	0,535	1,97		0,670	1,55		S
0,440	2,03	0,540	1,98		0,680	1,51		
0,445	2,15	0,545	1,98		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		M
0,460	2,16	0,560	1,90		0,720	1,37		S
0,465	2,15	0,565	1,89		0,730	1,34		S
0,470	2,17	0,570	1,87		0,740	1,30		
0,475	2,20	0,575	1,87		0,750	1,27		6
0,480	2,16	0,580	1,87	0,800	1,13	—		
0,485	2,03	0,585	1,85	0,850	1,00	M		
0,490	1,99	0,590	1,84	0,900	0,90	S		
0,495	2,04	0,595	1,83	0,950	0,80	S		
				1,000	0,73			
				1,100	0,61	7		

FONTE: Johnson (1954), p. 431.

## 2.2 - PROPRIEDADES ESPECTRAIS DA ÁGUA E DE SEUS POLUENTES

Vários autores têm feito medições da reflectância espectral da água:

$$\rho_A = \rho_S \rho_V \quad (II.5)$$

$\rho_A$  pode também ser definida como:

$$\rho_A = \frac{S_S^* + V^* + S_C^*}{L_S^* + L_C^*} \quad (II.6)$$

Wezwernak et alii (1976b) compilaram todas estas medições feitas a bordo de barcos e de aeronaves, aplicaram um modelo de transferência da radiação na atmosfera, e calcularam a radiância total que o satélite recebe a 900 km de altura. Esta radiância total é produto da soma da radiância inerente da água mais a de retroespalhamento da atmosfera (Figura II.1):

$$L_{sat} = (V^{**} + S_S^{**} + S_C^{**}) + L_A^{**} \quad (II.7)$$

Calculou-se a radiância total para diferentes condições atmosféricas, expressas em visibilidade horizontal de 15, 23, 40 e 60 km, e a diferentes ângulos zenitais do Sol.

Como ilustração, construíram-se gráficos (Figuras II.2, II.3, II.4 e II.5) para as condições aproximadas que se encontram na Baía de Guanabara (elevação solar de  $35^\circ$  e visibilidade de 15 km). Em regiões tropicais, a visibilidade é normalmente baixa. No cálculo, considera-se que os arredores do alvo têm reflectância nula, a superfície refletora é de resposta lambertiana, e o ângulo da imageamento é zero. Os gráficos mostram que é possível, nos comprimentos de onda do MSS, distinguir estes poluentes. Em comprimentos de onda menores que  $0,5 \mu m$ , a contribuição dos efeitos atmosféricos é tão forte que impossibilita a discriminação dos poluentes.

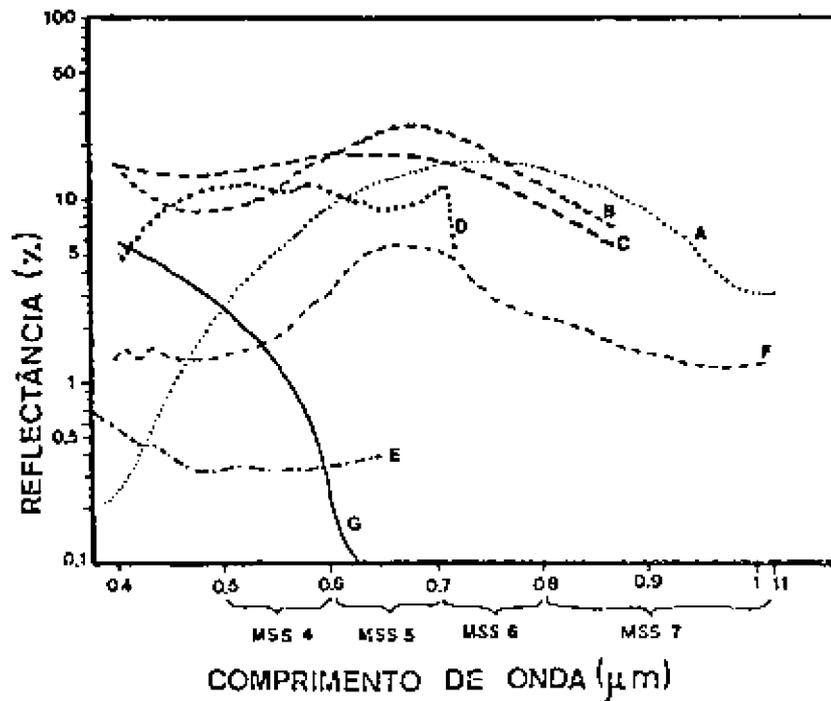


Fig. II.2 - Reflectância espectral medida de diversos tipos de efluentes industriais e de esgoto domiciliar.

FONTE: Wezwernak et alii (1976b), pp. 185 e 190.

- A - efluente de fábrica de papel por sulfeto (8% de sólidos);
- B - efluente de indústria siderúrgica;
- C - efluente de fábrica de produtos cloro-alcalinos;
- D - esgoto domiciliar;
- E - Camada de óleo de menos de 10  $\mu\text{m}$  de espessura;
- F - efluente de indústria de tanino;
- G - água transparente do oceano.

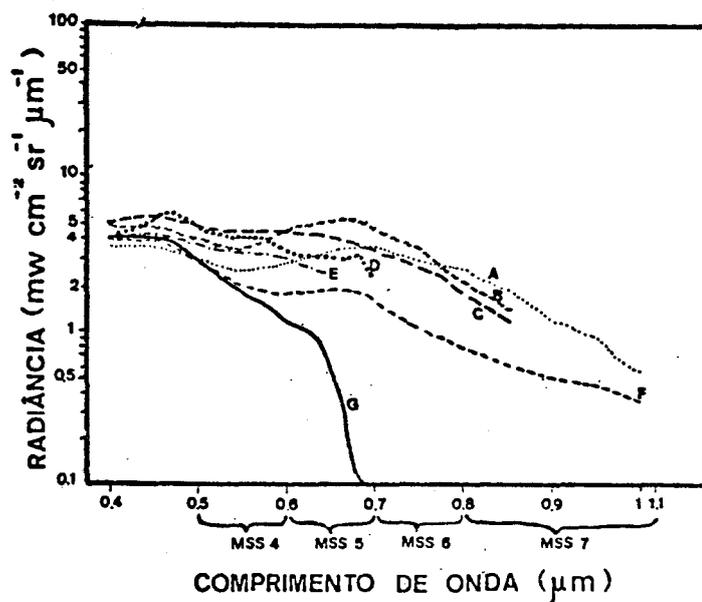


Fig. II.3 - Radiância espectral calculada com os dados da Figura II.2 e recebida pelo satélite a 900 km de altura.

A visibilidade foi de 15 km e a elevação solar de 35°.

FONTE: Wezwernak et alii (1976b), pp. 176, 187, 192, 197, 202 e 207.

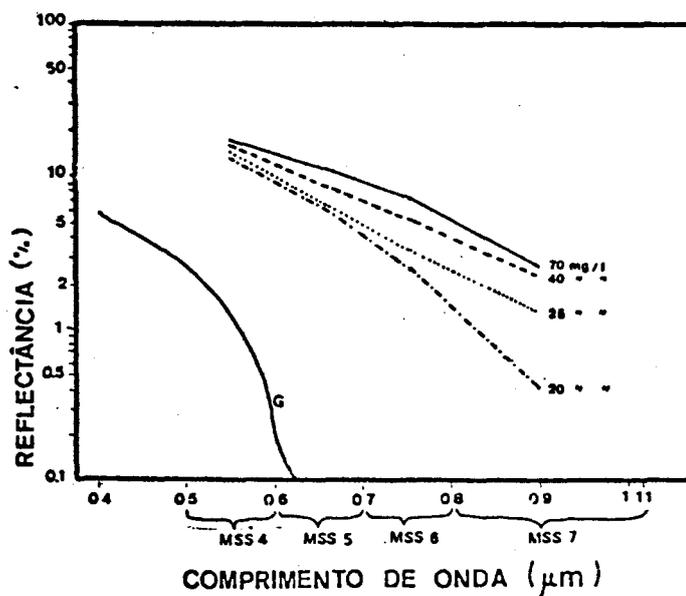


Fig. II.4 - Reflectância espectral medida da água, com diferentes teores de sedimentos em suspensão.

FONTE: Wezwernak et alii (1976b), p. 164.

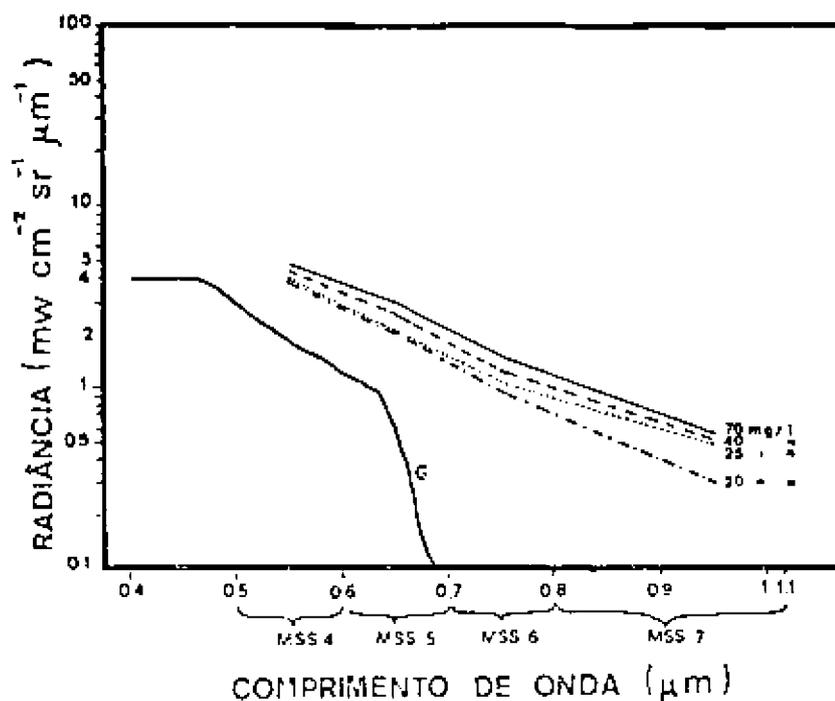


Fig. II.5 - Radiância espectral calculada com os dados da Figura II.4 e recebida pelo satélite a 900 km de altura.

A visibilidade foi de 15 km e a elevação solar de  $35^{\circ}$ .

FONTE: Wezernak et alii (1976b), p. 165.

O cálculo despreza a contribuição do fundo ( $B^{**}$ ) que, para este caso, também não é importante, pois, neste trabalho, usam-se dados de locais com o fundo a 3 metros da superfície. Também é desprezada a influência dos sólidos flutuantes ( $P^{**}$ ), visto que as medidas foram feitas em águas que não os contêm. Na Baía de Guanabara existem regiões em que há muita quantidade de sólidos flutuantes, o que dificulta o monitoramento das propriedades da água. As abundantes manchas de óleo encontradas na baía também podem ser consideradas da mesma maneira que os sólidos flutuantes.

A contribuição mais importante para a radiância recebida no satélite é a que provém da própria radiância total da água:  $\rho_A$  (Figura II.1). Nesta reflectância, o valor de  $\rho_s$  deve ser pequeno em proporção ao da  $\rho_v$ , sobretudo na Baía de Guanabara, em que não é importan

te a agitação superficial. Em mar aberto e em certas condições de agitação intensa, a contribuição da  $\rho_s$  pode ser importante e deve ser levada em conta (Scherz e Domelen, 1975). A contribuição da radiância de retroespalhamento devido à interação da luz com os componentes do ar:  $L_A$ , no caso da Baía de Guanabara, pode ser importante, por se tratar de área tropical e industrializada. A alta umidade, a presença de grande quantidade de aerossóis naturais e artificiais, além do pó e fumaça de corrente de atividades rurais, fazem que  $L_A$  varie muito durante o ano e, inclusive, durante o dia. No inverno há menor índice de umidade atmosférica, bem como névoa durante algumas horas da manhã, com grandes possibilidades de acumulação dos poluentes industriais. No verão, a poluição do ar pode ser menor, mas a umidade do ar é sempre mais alta.

Nas Figuras II.2, II.3, II.4 e II.5 estão expressos os valores medidos para a reflectância e calculados para a radiância recebida pelo satélite em águas oceânicas claras, águas com sólidos em suspensão e águas poluídas. Pode-se observar que nas radiâncias das 4 faixas em que o MSS atua, as águas poluídas são sempre de respostas mais altas que as do oceano; inclusive, na faixa do MSS 7, em que a água pura absorve praticamente toda a radiação, apresentam 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  $\rho_A$ , no ponto de despejo onde o teor de poluentes é grande (Wezwernak, 1976). Também existem poluentes, como a matéria orgânica do esgoto domiciliar, que, uma vez incorporados ao corpo de água receptor com salinidade maior, tendem a separar as partes mais leves e flocular certas frações e, em alguns casos, precipitar boa parte dela. Alguns poluentes industriais solúveis ou pesados, embora muito nocivos, são de difícil percepção por não transmitirem cor à água ou por precipitá-la instantaneamente.

### 2.3 - COMPONENTES QUE ACOMPANHAM A ÁGUA E SUA INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES ÓPTICAS

Podem-se diferenciar primeiramente as substâncias solúveis das não-solúveis (Horme, 1972). As substâncias solúveis são: íons inorgânicos simples como o cloreto de sódio, íons inorgânicos complexos como o cloreto de prata, eletrólitos fracos como o sulfeto de magnésio, íons inorgânicos como o nitrato ou ácidos orgânicos e polieletrólitos orgânicos. A maioria destes solutos eletrolíticos não transmitem propriedades ópticas diferentes das da água destilada. Meirelles (1979), ao citar o trabalho clássico de Clarke e James (1939), diz:

- "a) a água de mar artificial exhibe uma atenuação idêntica à da água bidestilada exceto para os pequenos comprimentos de onda, onde a atenuação é maior, provavelmente por causa das impurezas ópticas (partículas em suspensão);
- b) a atenuação de amostras medidas em laboratório foi maior do que a observada no mar. Este fato, indubitavelmente é causado pela degradação das partículas orgânicas que, de semitransparentes tornam-se opacas com o armazenamento, demonstrando a necessidade de observações "in situ" para o preciso conhecimento das propriedades ópticas da água do mar;
- c) a diferença entre a atenuação de amostras de água do mar e de água destilada é causada principalmente pelos sólidos em suspensão ("suspensoids") nos comprimentos de onda de 8000 Å a 4730 Å e entre 4730 e 3650 Å para as águas oceânicas. Entre 4730 e 3650 Å para as águas costeiras torna-se efetiva a influência das partículas finas ("filter passing material") que, junto com as partículas em suspensão, exercem uma grande ação seletiva nos comprimentos de onda menores".

Certos poluentes industriais, como sais coloridos (por exemplo, sais de cobre ou óxidos de ferro) podem ser detectados nos locais de despejo. Existem alguns corantes orgânicos solúveis, utilizados

em estudos hidráulicos que, em pequenas quantidades, proporcionam à água uma cor característica (rhodamina, p. ex.), podendo ser detectados por sensores que operam no visível a bordo de aeronaves. Existem ainda certas substâncias naturais derivadas da decomposição da matéria orgânica em forma solúvel, como os taninos e mesmo as denominadas "substâncias amarelas" ("gelbstoff" em alemão, "yellow substances" em inglês), que conferem às águas cores amareladas e avermelhadas (os rios negros da Amazônia e certos lagos em climas frios). As indústrias de curtume e de papel despejam taninos e sulfonatos de lignina, respectivamente, que conferem cores amareladas ou avermelhadas às águas. As substâncias amarelas são misturas de ácidos húmicos e melanóides naturais (Meirelles, 1980).

O resultado de todas estas interações é que as curvas de reflectância espectral de diferentes águas mostram diferentes formas, o que pode ser observado em diferentes espécies de águas poluídas (Figura II.2). A curva de reflectância do tanino é achatada devido à grande absorção em todos os comprimentos de onda; o esgoto da fábrica de papel tende aos vermelhos e infravermelhos, devido à presença de sulfonatos de lignina avermelhados escuros; o óleo apresenta os valores mais baixos de reflectância; e a curva é bem achatada.

Os não-eletrólitos solúveis não interferem nas propriedades ópticas e podem ser gases ou substâncias inertes, de origem biológica.

Também encontram-se na água colóides inorgânicos, como o óxido de silício e hidróxido de ferro. Estes compostos, por terem um tamanho já apreciável, provocam espalhamento e absorção de luz mais intensos. Os colóides de silício, sendo de cor neutra, provocam mudanças em todo o espectro; entretanto, os de Fe, Mg e outros cátions são coloridos, provocando mudanças na cor da água, que tende ao vermelho e ao amarelo. Os cristais de argila mineral têm tamanhos coloidais e, por sua forma foliada, refletem boa quantidade da energia luminosa.

Por último, encontram-se na água todas as partículas maiores que os agregados coloidais. Estes variam muito em composição e tamanho, desde os grãos de tamanho silt até os grãos de areia que podem se manter suspensos na água. À medida que aumenta o tamanho do grão, há maior velocidade de deposição em água calma. Se a água está agitada, quanto maior for a correnteza ou agitação, maior será a quantidade e tamanho de sólidos em suspensão contidos ou transportados. Em lugares rasos, pode existir erosão do sedimento de fundo por rolamento e saltação.

As partículas em suspensão podem subdividir-se em dois grupos: o de origem mineral e o de origem orgânica.

As partículas de origem mineral classificam-se em fragmentos de minerais de difícil alteração — como o quartzo, zircônio, muscovita, etc., e produtos da decomposição dos minerais — como óxidos de metais, aglomerados de argilas e silt.

As partículas de origem orgânica classificam-se em: fragmentos de organismos maiores, sobretudo vegetais — fibras, restos de folhas e galhos, e produtos da decomposição orgânica — como organismos do fito e zooplâncton. O fitoplâncton deve ser levado em consideração em virtude de transmitir à água as cores dos seus pigmentos.

A influência mais importante na cor da água é a dos sólidos em suspensão, que possuem três componentes principais que afetaram a cor da água de maneira fundamental:

- a) argilas e óxidos que modificam a cor, tendendo ao vermelho;
- b) fitoplâncton que modifica a cor para o verde (Yentsch, 1960; Clarke et alii, 1970; Smith e Baker, 1978);
- c) por último, em águas extremamente poluídas com esgoto doméstico, diversas formas de matéria orgânica fazem aumentar muito o coeficiente de absorção da água no visível.

A vegetação de algas do tipo macrófitas, ou outros organismos vegetais flutuantes, modificam profundamente o albedo da água, que tende a parecer-se com o albedo espectral da vegetação terrestre, sobretudo porque, no infravermelho próximo, tem-se um sinal muito mais forte que aquele que existe na água livre de plantas. Na Baía de Guanabara, existe um caso que será tratado mais adiante, durante a apresentação dos resultados.

Até o momento, foram focalizados elementos ou componentes da água que podem ser medidos ou definidos precisamente. Existe um parâmetro físico-químico-geral, a turbidez, que é utilizado comumente para definir a qualidade da água. Neste trabalho, segundo McCluney (1975), preferiu-se não utilizar este termo, uma vez que este parâmetro é produto de múltiplos fatores físicos, e a sua medição é feita de maneira muito diferente, segundo a definição aceita para caracterizar o efeito da turbidez. McCluney (1976) propõe o abandono de conceitos subjetivos, como "turbidez", e os substitui por conceitos com embasamento na Hidrologia Óptica, como os "parâmetros de absorção" e "espalhamento mensurável com aparelhos eletro-ópticos". Usando-se estes parâmetros, haverá possibilidade de padronizar todos os aparelhos de medida existentes.

#### 2.4 - EFEITOS E INTERAÇÕES

A radiância emergente da água, até ser convertida em sinal eletrônico, sofre inúmeros efeitos derivados de outros fatores que não o próprio sinal; tais efeitos estão descritos a seguir:

##### a) Efeito da interação da radiação com as fases líquido-gasosas

Na Seção 2.2 já se explicou que o sinal recebido pelo sensor do satélite, proveniente da água, é composto fundamentalmente do somatório das seguintes radiâncias: a do céu refletida naquela direção ( $S_c$ ), a produzida pelo retroespalhamento da radiação na atmosfera (LA), a proveniente do material flutuante na água (P), e a emergente no interior

do corpo de água, produzida pelo retroespalhamento da radiação solar que penetrou nela (V). Esta última radiância está ligada com a qualidade da água, motivo pelo qual interessa estimar neste trabalho. A dificuldade consiste em estimar esta última radiância sem os efeitos de interação mencionados (Kriegler et alii, 1969).

#### b) Efeito eletrônico

Outro efeito importante é o ruído eletrônico, que se compõe 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); durante a calibração dos dados de vídeo, podem ser adicionados efeitos aditivos ou multiplicativos, visto que os dados de calibração não são corretos. Stevenson (1975) julga que os dados de calibração não são válidos, pois, em seu trabalho, não se mostram eficientes para eliminar o "stripping"; assim, ele usa um método estatístico no lugar dos dados de calibração fornecidos pela NASA.

#### c) Efeito do iluminante

A iluminação da cena a ser imageada será variável ao longo do ano, devido às mudanças da elevação solar em cada passagem, e à presença de sombras de montanhas ou de nuvens (efeitos multiplicativos).

#### d) Efeito das mudanças das características físicas da atmosfera

O valor da transmissividade da radiação (Jurica, 1973) é importante, uma vez que esta varia muito devido à presença ou ausência de grande quantidade de aerossóis, à névoa, à variação da elevação solar, e à variação da quantidade de umidade, etc. Estes efeitos podem variar de hora em hora, e de local a local (efeito multiplicativo).

e) Efeito de movimento ("blurring and spot dancing effect")

Devido à turbulência, e por consequência, à variação da densidade do ar, não é um efeito importante em imagens do MSS do LANDSAT, mas, sim, nas imagens tomadas com câmeras fotográficas a bordo de aeronaves, ou em sistemas espaciais de resolução muito alta (Weiner, 1967). A causa disto é que os vórtices da turbulência são menores que o elemento mínimo de resolução do MSS.

Com base no fato de o efeito ser multiplicativo e/ou aditivo, têm-se desenvolvido algoritmos para aplicação nos processamentos de dados de vídeo. Neste trabalho, testar-se-ão vários destes algoritmos.



## CAPÍTULO III

### ÁREA DE TRABALHO

#### 3.1 - DESCRIÇÃO GERAL DO AMBIENTE DA BAÍA DE GUANABARA

##### 3.1.1 - LOCALIZAÇÃO E ABRANGÊNCIA ESPACIAL

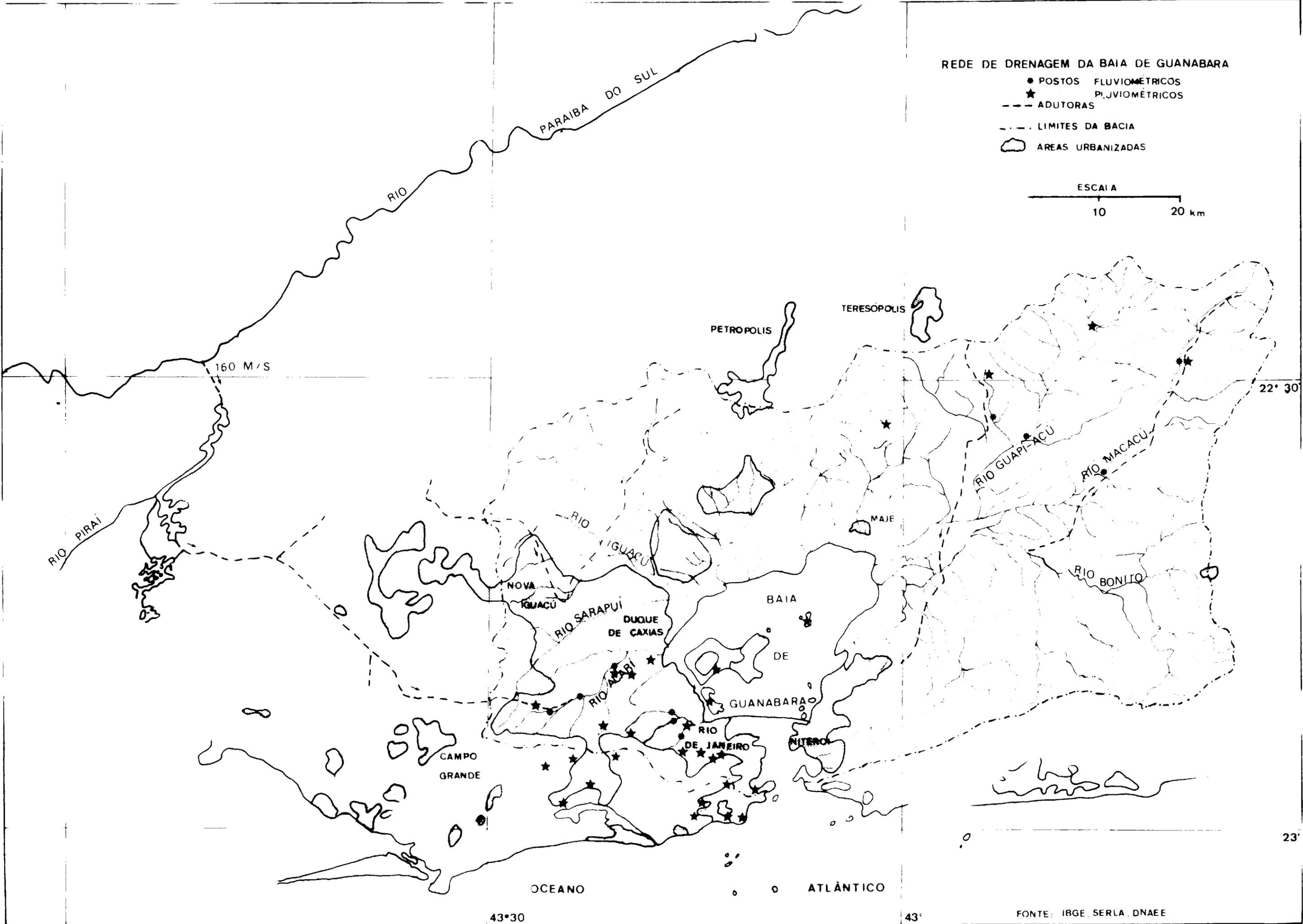
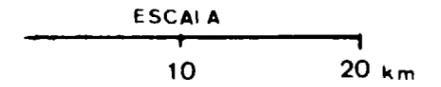
A Baía de Guanabara localiza-se entre os paralelos  $23^{\circ} 40,7'$  e  $23^{\circ} 56,3'$  de latitude Sul, e entre os meridianos  $43^{\circ} 17,4'$  e  $43^{\circ} 1,6'$  de longitude Oeste de Greenwich, com uma superfície de  $337 \text{ km}^2$  e um litoral de  $131 \text{ km}$  (Hydroscience, 1977). A bacia ocupa, aproximadamente,  $4000 \text{ km}^2$  com 35 rios principais. na entrada da baía há apenas  $1,8 \text{ km}$  de abertura entre as bordas e, no interior, chega a haver até  $30 \text{ km}$  de separação (Figura III.1)

A carta da Figura III.1 foi confeccionada com dados coletados nos arquivos da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Superintendência Estadual de Rios e Lagoas do Rio de Janeiro (SERLA), e Diretoria Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE).

Fig. III.1 - Rede de drenagem da Baía de Guanabara.

REDE DE DRENAGEM DA BAIJA DE GUANABARA

- POSTOS FLUVIOMÉTRICOS
- ★ POSTOS PLUVIOMÉTRICOS
- - - ADUTORAS
- . - . LIMITES DA BACIA
- ☞ ÁREAS URBANIZADAS



### 3.1.2 - GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E SOLOS DA BACIA

Segundo Liu et alii (1976), encontram-se na bacia as seguintes unidades geológicas, associadas a certos padrões de relevo:

- a) Complexo do litoral fluminense: de idade pré-cambriana indeterminada e composto de uma grande variedade de rochas (biotita gnaisses, gnaisses granitóides, gnaisses facoidais, gnaisses porfiroblásticos e migmatitos), localiza-se nas baixadas, nos lugares não-ocupados por sedimentos terciários ou quaternários, sendo o seu relevo muito arrasado, formando colinas de forma mamelonar. A cobertura de alteração é espessa, com mantos coluviais abundantes; nesta unidade geológica situam-se cidades como Rio de Janeiro e Niterói.
- b) Grupo Serra dos Órgãos: de idade pré-cambriana a superior, composto de migmatitos e gnaisses granitóides com granitos, localmente gnaisses migmatizados, localiza-se em todas as grandes elevações do Estado de Rio de Janeiro, sendo que a Serra do Mar, o maciço da Tijuca, da Pedra Branca e do Bangu estão compostos destas rochas. Atinge alturas de até 2000 m, com relevo dissecado fortemente em vales profundos, e com rios de alto gradiente de declive, elevações do tipo "Pão de Açúcar" e mesetiformes (Pedra da Gávea); localmente, tem fortes coberturas coluvionares com matacões.
- c) Intrusivas alcalinas: de idade cretácea-terciária, compostas de nefelina sienita, fonolitos e brechas no maciço de Tinguã; sienita e liechfieldita próximo a Petrópolis; fonolitos, pseudo-leucita, brechas e microsienitos no maciço da ilha de Itioca; e sienita e nefelinos sienito no maciço de Rio Bonito.
- d) Formação Barreiras: de idade terciária, é composta de arenitos argilosos lateritizados, localizados ao NE da cidade de Niterói.

e) Quaternário: composto de sedimentos flúvio-lacustres, litorais e coluviais, onde localiza-se a maior parte das cidades da bacia. Quanto ao relevo geral, existem duas cadeias montanhosas que acompanham o litoral. A primeira, a Serra do Mar, está a 40 km do litoral, e atinge alturas de quase 2000 m, formando um desnível com a baixada fluminense de 700 m. A outra cadeia é a Serra Carioca, que forma maciços próximos ao litoral do Rio de Janeiro e Niterói.

Segundo Prochnick (1976), os solos da região podem-se classificar em três grandes tipos: os solos de áreas cuja drenagem é impedida nas planícies aluviais, com forte tendência ao hidromorfismo e à acumulação superficial de matéria orgânica; os solos de áreas mais bem drenadas, podzolizados, com acumulação de matéria orgânica no horizonte B; os regossolos e solos incipientes, nos lugares mais íngremes.

### 3.1.3 - VEGETAÇÃO E USO DO SOLO

A partir da colonização, estas duas componentes da paisagem sofreram muitas alterações ao longo do tempo.

Durante o século XVI, 97% do território do Estado de Rio de Janeiro esteve coberto de florestas, sendo os 3% restantes rios, lagoas, pântanos, brejos e rochedos (Figura III.2a). As populações indígenas ficavam restritas a aldeamentos no litoral e nas margens dos rios, sendo que sua ação sobre a floresta tinha efeito reduzido. As principais formas de vegetação encontradas nessa ocasião eram:

- a) Floresta litorânea: composta de florestas de restingas escleróficadas com árvores de até 25 m, e manguesais, existindo poucos epífitos.
- b) Florestas de planícies costeiras: florestas densas com muitos epífitos e lianas; possuem árvores de 30 m de altura ou mais.

- c) Florestas das encostas atlânticas: até os 1200 m de altitude, são de composição muito semelhante às das planícies costeiras.
- d) Florestas de 1200 a 2000 m de altitude: possuem poucas árvores altas, restritas aos rios, lianas raras e muitos epífitos, líquens e musgos devido à névoa da montanha.

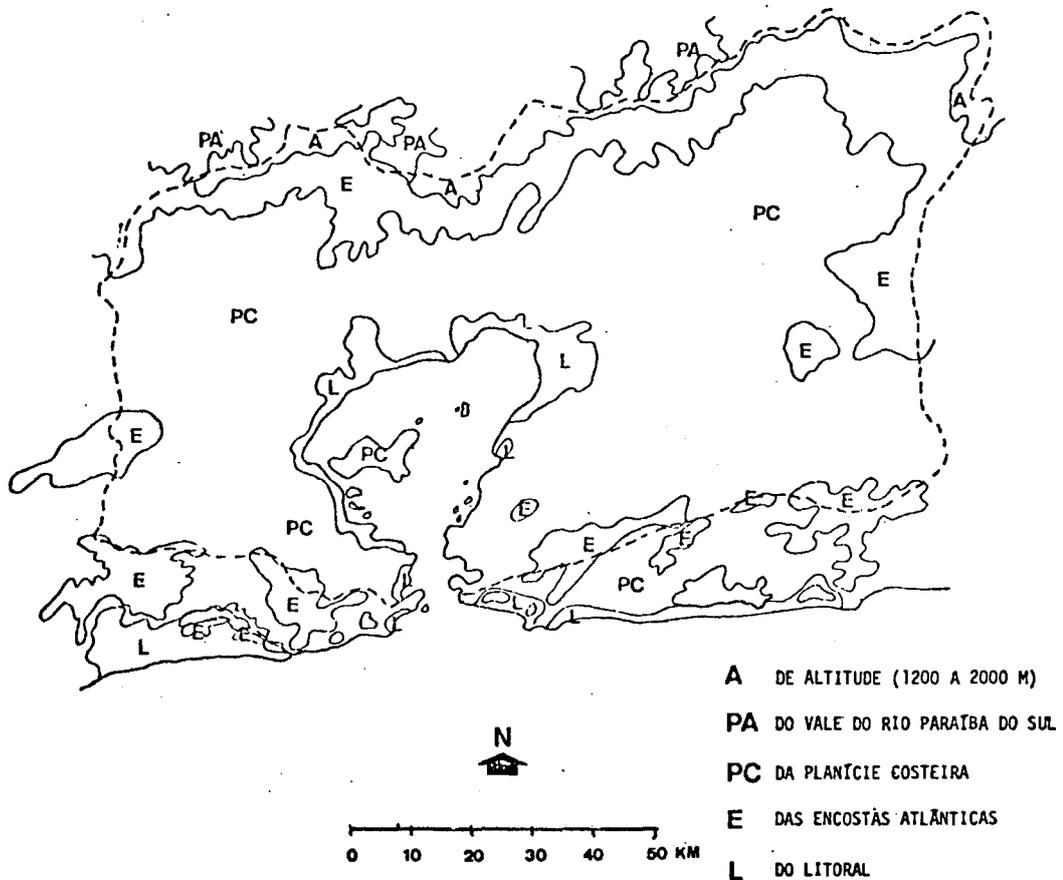


Fig. III.2a - Cobertura florestal da bacia da Baía de Guanabara no século XVI.

FONTE: FEEMA, 1977, Mapa nº 2.

Segundo FEEMA (1977), esta floresta ficou reduzida, em 1965, às áreas que aparecem na Figura III.2b que, em sua maior parte, são capoeiras, não restando praticamente nenhuma floresta que possa ser considerada intacta. Restam, também, alguns manguezais na parte Este da Baía (Dunn e Crud, 1977)

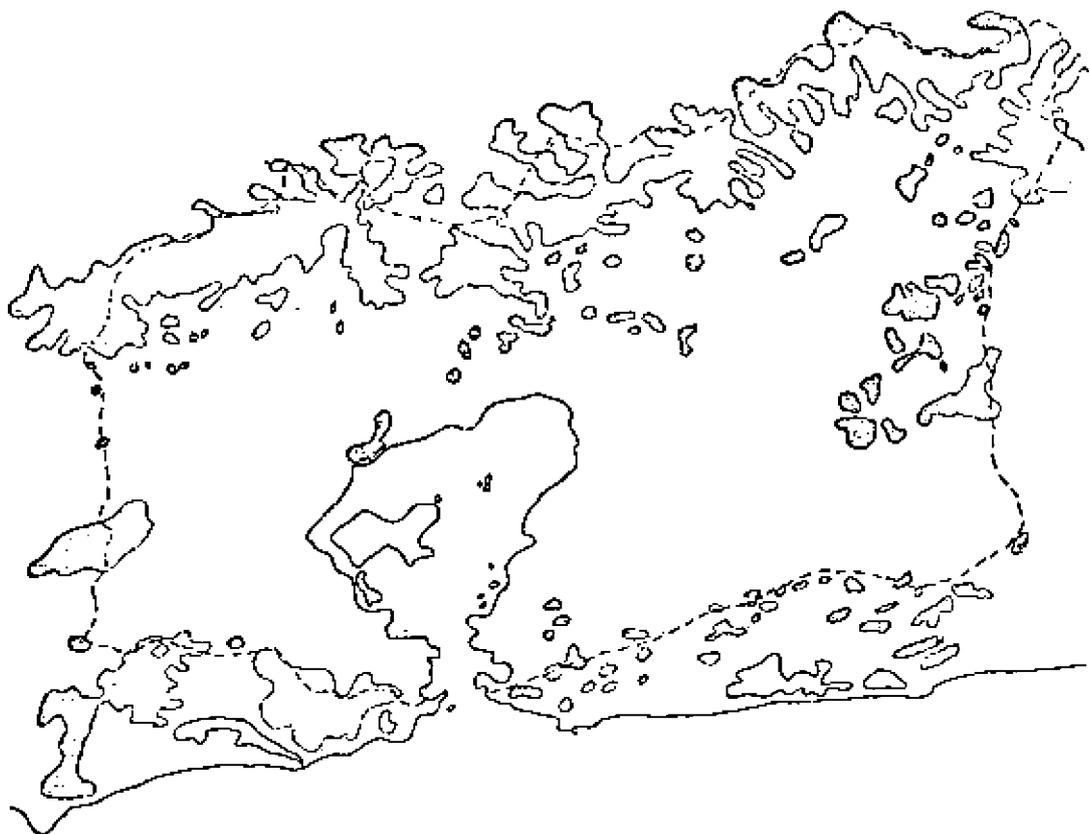


Fig. III.2b - Cobertura florestal da bacia da Baía de Guanabara do ano de 1976.

FONTE: FEEMA (1977), Mapa nº 4.

As áreas urbanizadas no ano de 1965 também estão cartografadas na Figura III.1, na qual se pode observar que uma boa parte da bacia hidrográfica que drena para a Baía de Guanabara está ocupada pelo sítio urbano, apresentando baixa permeabilidade para a água. O restante é quase todo ocupado por pastagens, sendo que em pequenos lugares existe agricultura.

No ano de 1979, a população estimada na bacia atingiu aproximadamente 8 milhões de habitantes, com uma densidade, na área metropolitana, de 1288 hab/km<sup>2</sup>, segundo dados demográficos de 1975 (Prochnik, 1976). Dependendo do município em questão, a densidade varia muito; por exemplo, 4418 hab/km<sup>2</sup> no Rio de Janeiro, e 52,9 hab/km<sup>2</sup> em Mangaratiba.

Nas áreas urbanizadas a maior parte do espaço é ocupada por residências uni ou multifamiliares, mas, na zona Noroeste da Baía de Guanabara e em parte da zona Este, a ocupação industrial é intensa.

#### 3.1.4 - SISTEMA HIDROMETEOROLÓGICO

##### 3.1.4.1 - ESBOÇO CLIMÁTICO

O sistema de circulação atmosférica da região é dominado, na maior parte do ano, pelo anticiclone semifixo do Atlântico Sul (IBGE, 1977). Este anticiclone mantém a estabilidade do tempo e faz que o vento sopra em geral do Este e Nordeste. Com frequência intermitente, o anticiclone polar atua, provocando a movimentação de frentes frias que geram fortes chuvas durante a sua passagem, e mudança do vento para o Sul e Sudeste. No verão, é frequente a entrada de linhas de instabilidade tropical, com formação de chuvas e trovoadas fortes de origem convectiva.

Segundo o IBGE (1977), o clima da bacia da Baía de Guanabara pode ser compartimentado em três regiões:

- a) a região das serras do Mar e da Carioca, com clima tropical quente superúmido sem estação seca;
- b) a região das encostas das montanhas de Niterói e da Serra do mar, com clima tropical quente úmido e estação seca de curta duração;
- c) a região das baixadas, com clima tropical quente úmido e estação seca de 1 a 2 meses de duração.

Esta compartimentação climática é gerada pela presença de cadeias montanhosas que formam uma grande variedade de microclimas. De maneira geral, pode-se dizer que, nas montanhas com clima de tipo (a), há chuva o ano todo, porque, no inverno, durante as passagens das perturbações do tipo frente fria, embora nas baixadas chova pouco, a topografia força a convecção e há mais chuvas que nas baixadas. No verão, as chuvas de tipo local convectivo também ocorrem com mais frequência nas montanhas. O resultado geral é a presença de chuvas e nevoeiros abundantes durante o ano todo. Do volume total de chuva nas baixadas, a maior parte resulta das chuvas convectivas de verão. Segundo Prochnick (1976), 57% da chuva em Niterói ocorre no verão, e pode havê-la em excesso; exemplos: 570,2 mm num dia de janeiro de 1976, e 398,7 mm num dia de fevereiro de 1967.

Existe um efeito local, devido à proximidade do mar, que causa a presença de ventos periódicos, intercalados por calmarias, da terra para o mar e vice-versa. Segundo Almeida (1974), o comportamento geral é o que se segue: o vento terrestre das 23 h às 9 h e, do mar para a terra, do Sudoeste a Sudsudoeste, das 11 h às 18 h. O resto do tempo é calmaria. Dependendo do sistema que esteja dominando, haverá variações nesse comportamento geral. Almeida (1974) observou que em 70% do ano sopra vento capaz de provocar ondas, e que em 40% do ano, esse vento provém do Sudeste. Os ventos provenientes do Norte são fracos e sopram em 10% do ano; registrou-se, uma só vez, vento Norte de 50 a 60 nós (90 a 100 km/h). Os registros de vento que Almeida (1974) utilizou são os do aeroporto Santos Dumont.

### 3.1.4.2 - CARGA DOS RIOS E POLUIÇÃO QUE RECEBEM

Os rios da região em geral são de curto percurso (Figura III.1). Nascerem todos em montanhas cobertas por florestas e capoeiras, descem em encostas de até 40% (Hydroscience, 1977) até baixadas urbanizadas com cobertura de vegetação rala; o escoamento é rápido e a infiltração reduzida. Durante chuvas torrenciais ocorrem inundações em certas áreas urbanizadas. Na Figura III.1 foi incluído o sistema de captação do Rio Paraíba e dos rios da baixada fluminense, porque essa água é utilizada nas cidades, escoada em parte como esgoto e introduzida posteriormente na baía. No Capítulo V descrever-se-ão as condições hidrometeorológicas dos dias estudados.

As fontes de poluição encontradas na bacia provêm de diversas fontes. Na Figura III.3 localizaram-se os pontos de despejo e a origem das cargas poluidoras. A maior parte dos poluentes são despejados na margem Oeste da baía, nas proximidades do Rio de Janeiro.

Podem-se descrever diversos tipos de poluentes:

- a) esgoto domiciliar de aproximadamente 8 milhões de pessoas, sendo que cerca de 2 milhões não estão sendo servidos por rede de esgotos; o seu volume é de 10 m<sup>3</sup>/s, com uma demanda de oxigênio de 460000 kg/dia;
- b) indústrias de processamento de peixe que escoam todos os produtos de limpeza, óleo e matéria orgânica;
- c) duas refinarias de petróleo, um terminal de óleo, estaleiros e barcos que despejam óleo e derivados;
- d) 6000 indústrias diversas, com efluentes de mais variada toxicidade;
- e) o lixo da cidade do Rio de Janeiro era depositado em aterros no litoral da baía, numa ordem de 3000 ton/dia até 1975;
- f) lixos e despejos diversos, lançados durante as chuvas, provenientes das ruas ou das favelas.

Fig. III.3 - Origem e local de despejo das cargas poluidoras na Baía de Guanabara (baseado em Hydroscience, 1977, Apêndice F).



É interessante destacar que, até setembro de 1975, os despejos de 360.000 pessoas dos bairros de Flamengo e Botafogo, que agora são encaminhados para o mar pelo emissário submarino, eram despejados dentro da baía. Os despejos dos 1.200.000 habitantes dos bairros de Leme, Copacabana, Ipanema, Leblon e Lagoa eram anteriormente despejados no mar, próximos do litoral. Pode-se afirmar que a situação da Baía de Guanabara mudou pouco em relação à qualidade da água, com a construção do mencionado emissário.

A Figura III.4 apresenta a rede principal de esgotos, no Município do Rio de Janeiro, e a localização exata dos pontos de despejo.

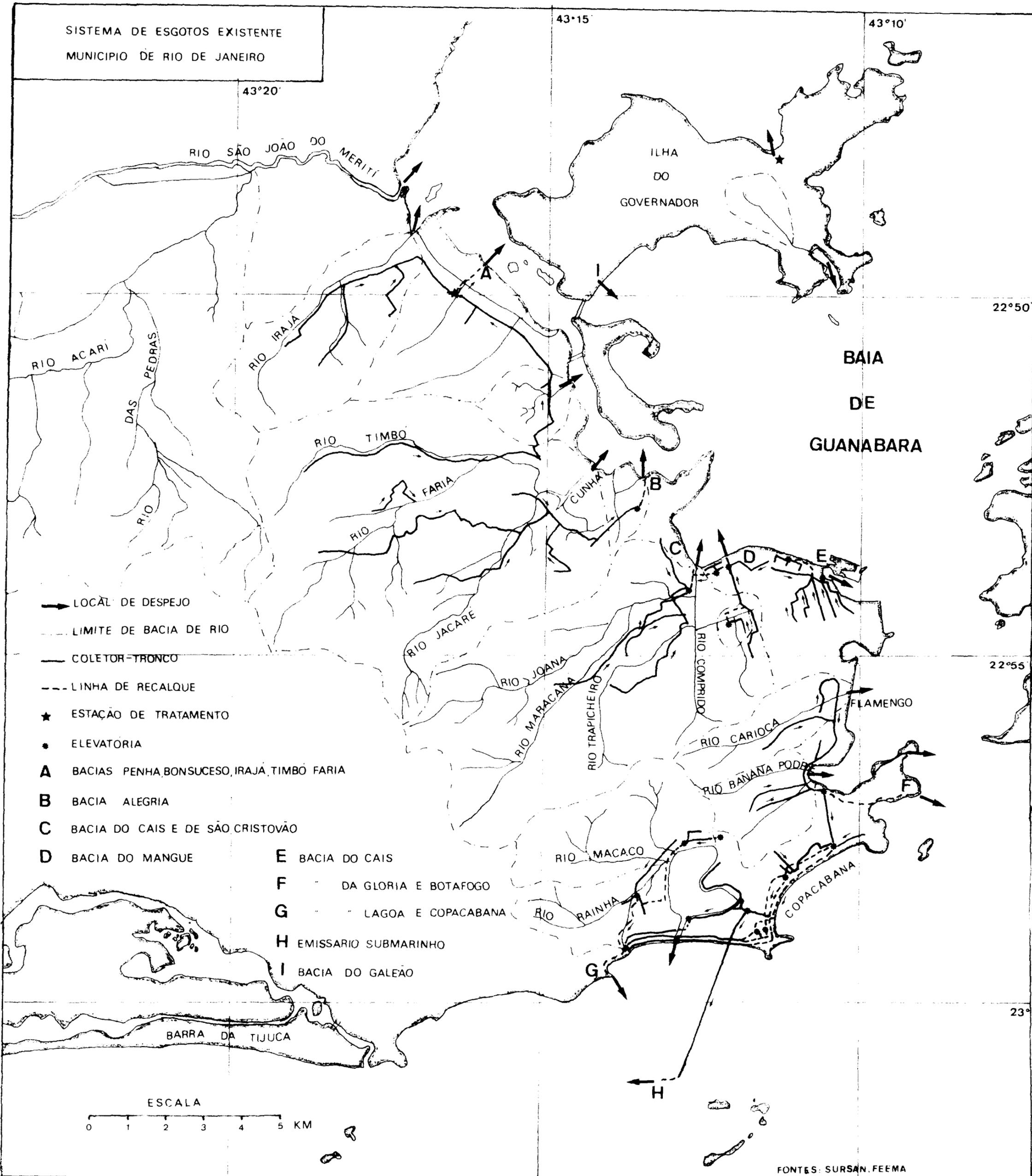
Hydroscience (1977) apresenta um apêndice com um conjunto completo de dados sobre as cargas que a Baía de Guanabara recebeu em 1976. No total, a baía recebeu dos esgotos das residências e das indústrias uma carga de 11,9 MPN/dia de coliformes totais, 431045 kg/dia de demanda bioquímica de oxigênio por carbonatos e 52070 kg/dia de demanda bioquímica de oxigênio por nitrogênio oxidável.

Os despejos, por sua vez, não são da mesma intensidade ao longo do dia. Eles seguem um comportamento periódico associado às atividades humanas. A vazão dos esgotos das áreas residenciais se incrementam abruptamente a partir das 5 horas; volta a ter um incremento ao meio-dia e mais ainda após as 15 horas; volta a ter um incremento às 18 horas e, finalmente, regride à vazão mínima por volta das 22 horas. Se a rede de esgoto captar os efluentes de uma zona residencial de baixa ou alta renda, ou de uma área industrial, haverá vazões de esgoto muito diferentes durante o dia.

Com relação ao grau de poluição, as áreas residenciais de mais alta renda poluem mais que as de baixa renda, porque consomem e despejam maior quantidade de água, utilizando maior número e quantidade de produtos químicos para limpeza. Como exemplo, vejam-se os dados da SURSAN, referenciados por ENCIBRA-Engineering Science (1969) (Tabela III.1)

Fig. III.4 - Sistema de esgotos existente no Município do Rio de Janeiro.  
FONTE: ENCIBRA-Engineering Science (1969), Figura II.2.

SISTEMA DE ESGOTOS EXISTENTE  
MUNICIPIO DE RIO DE JANEIRO



ESCALA

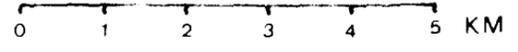


TABELA III.1

VAZÃO DO ESGOTO ESTIMADA PER CAPITA EM 1/HABITANTE/DIA

TIPO DE ESGOTO	ZONA NORTE	ZONA SUL
Esgoto domiciliar	270	350
Esgoto industrial e comercial	70	50
TOTAL	340	400

FONTE: ENCIBRA-Engineering Science (1969), p. IV.2.

O consumo efetivo da água, medido em litros por habitante por dia, tem enormes variações segundo o ingresso per capita do bairro. Varia de 727 litros/habitante/dia na Av. Visconde de Albuquerque a 55 litros/habitante/hora na Vila Alegria. O valor médio de consumo para a cidade do Rio de Janeiro em 1967 era de 360 litros/habitante/dia.

3.2 - DESCRIÇÃO DA BAIÁ DE GUANABARA

3.2.1 - MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO DO FUNDO

A morfologia do fundo da Baía de Guanabara é relativamente complexa, por ser produto do retrabalhamento provocado pelas oscilações de nível do mar durante o quaternário. Em razão disto, existe um antigo vale fluvial, atualmente submerso, localizado em profundidades maiores que 10 m as quais compõem o denominado canal principal da baía (Figura III.3) Segundo Amador (1980), nos fundos deste canal principal existem sedimentos fluviais e marinhos alternados, produto das oscilações do mar, sendo que as camadas superiores são de sedimentos arenosos atuais e de origem fluvial preponderante. A taxa de sedimentação anterior à colonização européia (Amador, 1980) era 19,4 cm de sedimento a cada 100 anos, na região ao Norte da ilha do Governador no período de

1849 a 1922 a taxa foi de 26,8 cm/100 anos, enquanto de 1963 a 1962 a taxa subiu para 87,08 cm/100 anos. Este aumento de taxa registrado em diferentes locais do fundo de Baía por Amador (1980) permite ao autor indicar como causa os seguintes fatores: as obras de DNOS da década de 1930, o desmatamento, os aterros e destruição dos manguesais ocorridos com grande intensidade neste século preponderante. As correntes de ma rê, neste canal, provocam certo carregamento de materiais do fundo pa ra o mar aberto. Em profundidades inferiores a 5 m, existe mais comple x i d a d e, por se apresentarem submersas antigas elevações mamelonares, matacões e blocos com as partes planas em geral cobertas de sedimentos argilosos. Nas proximidades das praias do interior da baía, encontram-se sedimentos arenosos de clara origem fluvial, sendo que as ondas e correntes marinhas têm pouca condição para imprimir um caráter marinho nestes sedimentos (Amador, 1975). Finalmente, nas partes ao Norte da baía, e em algumas enseadas, encontram-se estirâncios e manguezais cu jos sedimentos e solos são predominantemente argilosos.

### 3.2.2 - REGIME DE CORRENTE, MARÉS E TRANSPORTE DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO

Devido ao fato de o litoral possuir boca estreita e inte rior bem mais largo que a barra, e devido à presença de ilhas numero sas, a baía apresenta um regime complexo de marés. Segundo LNEC (1963), a amplitude da maré é pequena (1,2 m) e irregular. Nas águas vivas (ma rê de sizígia), as marés são do tipo semidiurno com tempo de enchente de 5 h a 5 h e 30' e de vazante de 7 h a 7 h e 30'; em águas mortas, são de tipo quadridiurno, com 4 prea-marés e 4 baixa-marés diurnas (o tempo de enchente é de 4 horas). Para a confecção do modelo hidráulico de LNEC (1963), utilizou-se como maré característica uma maré viva mê dia de amplitude de 0,96 m, tempo de enchente de 5 h e tempo de vazan te de 7 h 25'.

As ondas geradas pelos ventos locais são de amplitude fra ca, devido ao comprimento da pista e ao fato de a velocidade dos ven tos ser fraca. Segundo Almeida (1974), podem-se definir probabilidades de ocorrência de ondas de cada amplitude para a região de Niterói (Ta bel a III.2).

Para os ventos que sopram do Sul e atingem Niterói, (Almeida, 1974) calcula que, após a difração nas pontas da saída da baía, ter-se-á uma onda com amplitude de 0,1 m um dia cada 10 anos. A onda que entrou na baía, nesta situação, devia ter uma amplitude de 1,25 m.

TABELA III.2

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE ONDAS PROVOCADAS PELOS VENTOS

AMPLITUDE (m)	% DO TEMPO	Nº DE DIAS DE OCORRÊNCIA
0,1	97,3	355 dias/ano
0,2	99,0	361 dias/ano
0,4	0,14	12 dias/ano
0,5	0,05	4 dias/ano
0,6	0,02	7 dias/ano
0,7	0,002	1 dia/4 anos
0,9	-	1 dia/10 anos
1,0	-	1 dia/15 anos

FONTE: Almeida (1974), p. 99.

Resumindo, pode-se dizer que as ondas provocadas por ventos locais serão de amplitudes menores que as de origem oceânica que entram na baía; pela própria configuração da baía, a difração faz diminuir bastante sua amplitude. O resultado mais comum é um estado caótico de ondulações, embora as amplitudes sejam sempre pequenas. Somente quando sopram ventos do quadrante Sul, durante períodos prolongados (no inverno, depois de uma passagem de frente fria), ter-se-ão ondas de maior amplitude.

As correntes da baía são provocadas fundamentalmente pelas marés e são de velocidades baixas (LNEC, 1963). Numa faixa próxima ao atual aterro da praia do Flamengo, as medições do LNEC demonstraram que:

- a) a velocidade média das correntes é em torno de 0,2 m/s, com máxima de 0,26 m/s e mínima de 0,14 m/s;
- b) a velocidade máxima foi da ordem de 0,4 m/s junto à ilha de Villegagnon, na hora da preamar ou baixa-mar.

DHN (1974) apresenta, em forma de cartas, as velocidades e direções das correntes da maré (Figura III.5) para toda a Baía de Guanabara, sendo as velocidades máximas de 1,3 nós (4,4 km/h) na maré vazante.

Coelho e Fonseca (1976) utilizaram, para o desenvolvimento de um modelo bidimensional de qualidade da água, o modelo numérico "System 21 Jupiter", desenvolvido pelo Danish Hydraulic Institute, da Dinamarca. Com ele, geraram cartas de 1600 pontos de malha de vetores de velocidade-direção das correntes de marés, em quatro situações: na maré enchente, maré cheia de preamar, maré vazante e maré vazia de baixa-mar. O resultado é semelhante ao descrito pelas cartas do DHN. A diferença está na finalidade de ambas as cartas; a do DHN é uma carta geral para orientar os navegantes, enquanto a do SYSTEM 21 é prever as correntes em cada condição de maré-vento que se queira analisar, com finalidade de estudos hidráulicos ou sanitários.

Pelos dados apresentados até agora, acredita-se que o transporte e dispersão dos poluentes se faz preponderantemente pelas correntes de marés, que são as que têm maior condição de movimentar as águas dentro da baía. As correntes provocadas pelos ventos terão um efeito menor. Somente quando há ventos fortes do Sul, pode-se esperar um represamento de certos poluentes como os flutuantes (óleo, lixo).

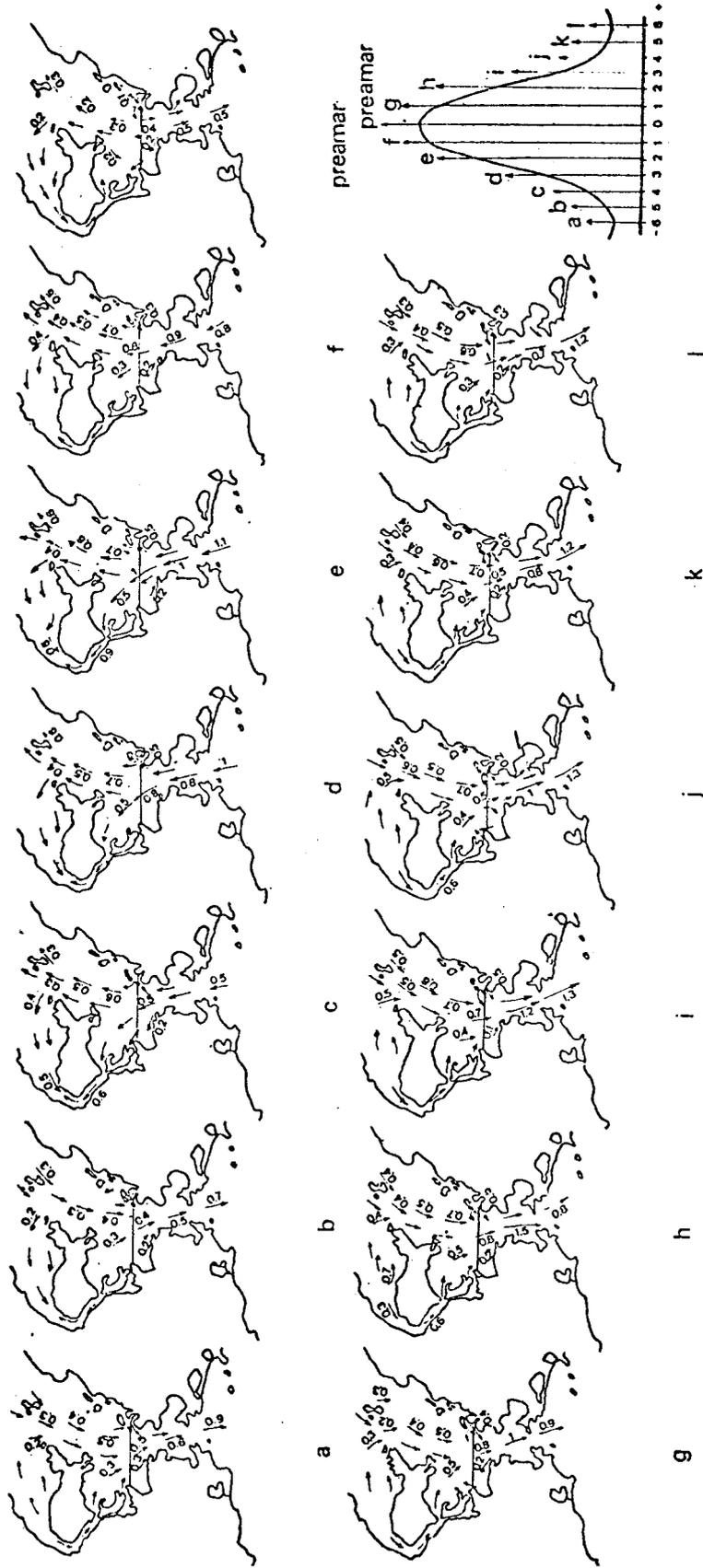


Fig. III.5 - Correntes de maré na Baía de Guanabara.  
FONTE: DHN (1974), Figuras 1 - 13.

No acidente que envolveu o petroleiro Tarik, em 23/03/75, foi possível observar o que acontece com os poluentes. Nesta data (Coelho e Cunha, 1975), durante as manobras de aproximação ao terminal do Rio de Janeiro (TORGUÁ), em baixa-mar, o navio tocou o fundo e começou a derramar óleo (5878 toneladas no total) durante 10 horas. A maré começava a subir e o vento soprava fracamente a menos de 5 nós do Suleste a Sudoeste (Figura III.6). Principalmente as correntes de marés se encarregaram de levar o óleo para as proximidades da Ilha do Governador e, ao descer a maré, o levaram para o canal principal. Desde o acidente até as primeiras observações das manchas na baía através de sensoriamento remoto, aconteceram 15 preamares e 14 baixa-mares. Em cada ciclo, o óleo foi espalhado por quase toda a baía e pelas praias adjacentes a ela. As observações por sensoriamento remoto foram feitas cartografando-se, no mesmo horário, as manchas existentes observáveis a olho nu, a bordo de um helicóptero. O fluxo e refluxo das marés que levam o óleo pela baía podem ser observados nas Figuras III.6 e III.7. Neste caso, parece que os ventos tiveram pouca influência. A Figura III.6 foi confeccionada com dados coletados nos arquivos da Diretoria de Proteção ao Vão (DDP); a altura da maré foi computada pelo Departamento de Informática do DHN e pelos dados de Coelho e Cunha (1975).

Hydroscience (1977) estudou o regime de transporte na baía usando como traçador a salinidade, e a considerou como um sistema unidimensional na direção longitudinal. A principal característica da baía, o canal principal, constitui-se no escoadouro natural dos poluentes e cargas de água doce. Os coeficientes de dispersão laterais desta feição foram estimados na ordem de 1/10 do valor do coeficiente de dispersão longitudinal (o máximo é 17 milhas<sup>2</sup>/dia).

Os sedimentos presentes nas águas da baía provêm, em grande parte, do carregamento dos solos da bacia, atualmente sem a cobertura florestal que os mantinha íntegros (Almeida, 1974). Os esgotos de origem domiciliar, a remoção dos sedimentos do fundo por drenagem, e a agitação dos barcos também são uma fonte importante de turbidez.

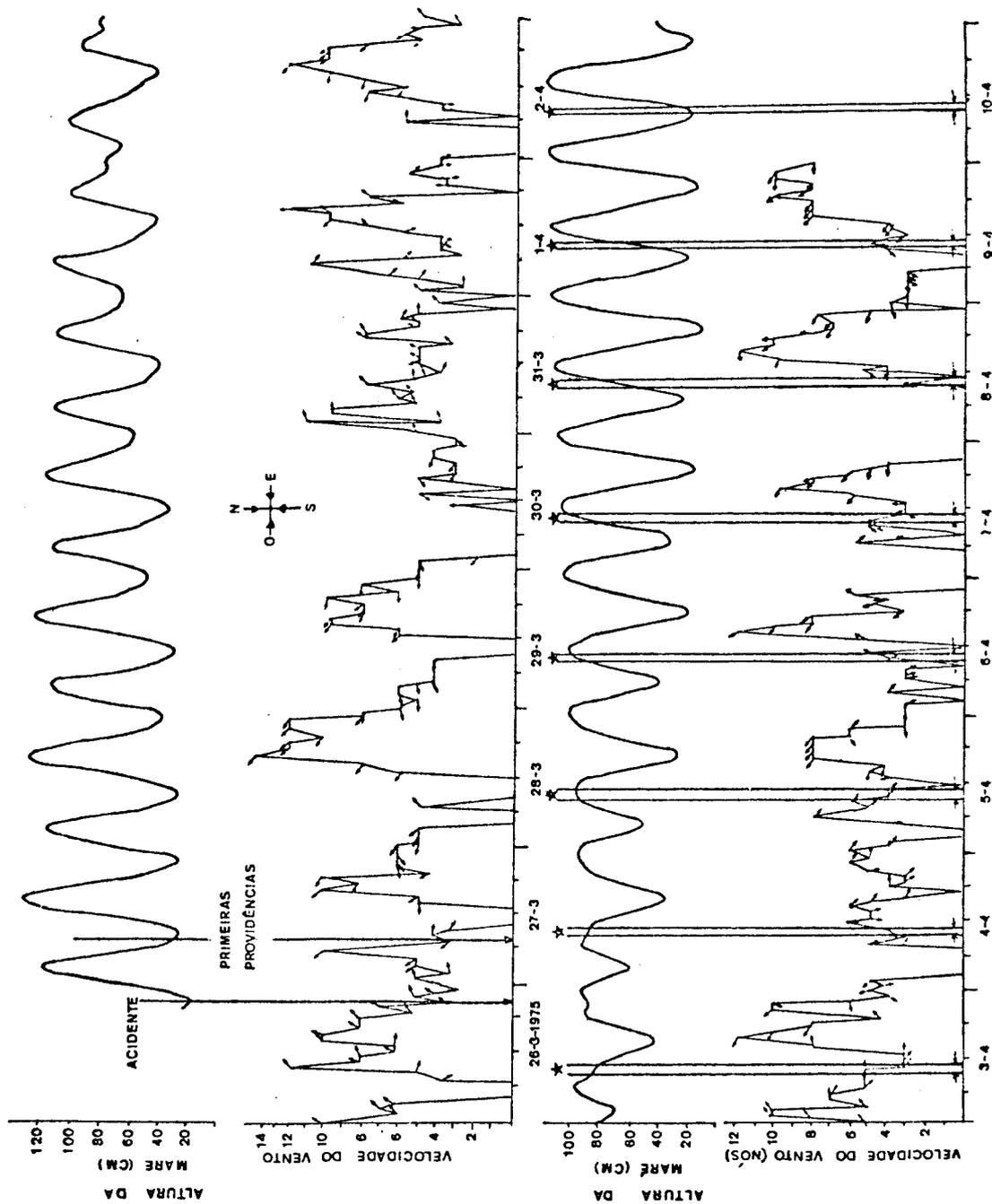


Fig. III.6 - Altura da maré e velocidade do vento nos arredores do acidente com o petroleiro Tarik, após a ocorrência deste (baseado em dados de Coelho e Cunha, 1975, p.232-239; DHN e DPV).





Segundo Amador (1975), as areias granulosas das praias do interior têm origem nitidamente fluvial, que é mais ou menos evidenciada pelo retrabalhamento marinho que apresentam. Amador (1975) estudou 4 praias, sendo que as do interior da baía, perto de Magé (praias de Anil e Piedade), têm areia com evidente trabalho fluvial; as de São João, na ilha de Itaoca, têm fortes evidências de trabalho marinho, e as da praia José Bonifácio, na ilha de Paquetá, são intermediárias. A distribuição ao longo das praias e no estirâncio mostra também o efeito das correntes principais dentro da baía.

Segundo o estudo do LNC (1963), durante o fluxo da maré média de sizígia, entram na baía  $362 \times 10^6 \text{ m}^3$  de água em 10 horas, o que corresponde a uma vazão média de  $10000 \text{ m}^3/\text{s}$ , e escoam  $312 \times 10^6 \text{ m}^3$  em 14 horas, com vazão média de  $6200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Segundo estes mesmos estudos, os volumes movimentados pelas marés são muito superiores aos mantidos pelos rios e fontes de poluição.

O material argiloso do fundo da baía não se movimento pelas correntes da maré, exceto em lugares rasos, onde existe intenso movimento de barcos. Na maior parte do litoral, as correntes também não conseguem movimentar as areias. Na região de Niterói, Almeida (1974) constatou que não existe carreamento da areia dos fundos, não existindo dunas ou marcas de ondas nos ecogramas. Segundo o mesmo autor, a baía recebe  $1.100.000 \text{ m}^3$  de sedimentos nos anos de cheia,  $45.000 \text{ m}^3$  nos anos de média e  $300.000 \text{ m}^3$  nos anos secos. Se este material se distribuir uniformemente, ter-se-á um depósito de 3 mm por ano de cheia, 1,2 mm nos anos normais e 0,8 mm nos anos de estiagem. Como existem manguezais fixadores, e a flocculação é um processo intenso nas águas salgadas, a deposição é muito maior nas regiões costeiras e escassa no centro da baía. Pelo que foi exposto anteriormente, pode-se pensar que a maior contribuição de sedimentos nos dias secos deva ser a dos poluentes, e, depois de uma chuva, a dos solos da bacia. Conhecendo-se previamente a análise de imagens, o registro de chuvas, pode-se estimar a procedência dos sedimentos.

### 3.2.3 - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E SEU CONTROLE

As instituições estaduais responsáveis pelo estado sanitário da Baía de Guanabara (Instituto de Engenharia Sanitária, atualmente Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), fizeram vários estudos sobre a determinação dos parâmetros de qualidade da água.

Hydroscience (1977) descreve os parâmetros medidos e suas respectivas variações. Os períodos de medição ocorreram entre fevereiro e dezembro de 1968, entre janeiro de 1969 e dezembro de 1974, e entre fevereiro de 1975 e abril de 1976. Já em 1968 fixaram-se 38 estações de amostragem e, posteriormente, suprimiram-se e agregaram-se outras. Atualmente existem 42 estações.

Provavelmente, com estudos posteriores e com o uso de sensores remotos, poder-se-ã remanejar as estações para obter um número de amostras mais correto e econômico.

Com base em todas as amostras, pode-se fazer um sumário dos parâmetros de qualidade da água medidos durante certos períodos:

Temperatura: Varia de 15 a 35<sup>o</sup> C. Os meses de valores mais altos são janeiro e fevereiro, e os de valores mais baixos são julho e agosto. O valor médio da estação seca (inverno) é de 20 a 22<sup>o</sup> C e, o da úmida, de 24 a 26<sup>o</sup> C. Existe, num mesmo dia, uma diferença de 4 a 10<sup>o</sup> C entre o mar aberto e o fundo da baía.

Salinidade: Os valores mais baixos ocorrem no interior, perto da Ilha do Governador, e na costa Oeste. O valor mais baixo foi de 4772 mg/l e o mais alto de 35787 mg/l. Na estação seca existe uma diferença de 10000 a 15000 mg/l entre a parte oceânica e o interior; na estação úmida a diferença é de 5000 a 7000 mg/l.

Coliformes totais: A região mais poluída do Oeste tem valores de 2,4 x 10<sup>7</sup> até 3,5 x 10<sup>8</sup> MPN/100 ml; o valor médio desta área é de 5 x 10<sup>3</sup> a 4 x 10<sup>6</sup> MPN/100 ml. No canal central o valor mais alto

é de  $2,5 \times 10^5$  MPN/100 ml, decaindo até 5000 a 10000 MPN/100 ml. Os valores não variam muito ao longo do ano, e houve uma sensível melhoria na contagem dos coliformes das praias oceânicas após a construção do emissário submarino de Ipanema.

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO): Como para os coliformes, os valores mais altos estão nos lugares mais poluídos. O valor máximo é de 70 a 80 mg/l, e o médio é de 10 a 50 mg/l. Os valores de crescem para o mar até 1,5 mg/l, não variando muito ao longo do ano para o mesmo local.

Nitrito: Varia de 0 a 0,05 mg/l. Os valores mais altos (0,03 a 0,07 mg/l) são da costa Oeste. O valor médio é de 0,001 a 0,002 mg/l.

Nitrato: A distribuição é semelhante à do nitrito, variando de 0,01 a 0,05 mg/l, com valor médio de 0,79 mg/l; este não varia sazonalmente.

Amônia: As estações costeiras e do Oeste têm valores maiores. O valor médio da costa Oeste vai de 0,1 a 3 mg/l, com valor máximo de 9,9 mg/l. Entre a Ilha de Paquetã, do Governador e a saída do mar, os valores são baixos (de 0 a 0,04 mg/l).

Fósforo total: Varia de 0,2 a 1,5 mg/l; nos lugares mais poluídos chega a mg/l. As estações do canal central apresentam valores de 0,15 a 0,02 mg/l.

Oxigênio dissolvido (OD): Valores médios de 5,5 a 9 mg/l. Os valores mais baixos são da estação úmida e os mais altos da estação seca. Somente os lugares muito poluídos têm valores menores que 2 mg/l. A distribuição é relativamente uniforme (varia de 5 a 8 mg/l).

Clorofila "a": O valor varia desde os maiores, na costa Oeste (35 a 55  $\mu\text{g/l}$ ), até os menores do canal central (3 a 5  $\mu\text{g/l}$ ).

Profundidade do disco de Secchi: Os valores menores da costa Oeste são de 0,3 a 1m; próximos à Ilha do Governador, variam de 0,7

a 1,3 m; no canal central, variam de 0,8 a 3 m. As águas oceânicas variam de 3 a 15 m, com média de 3 a 5 m. A estação seca tem valores mais altos, diferenciando-se da umidade por 1,5 a 0,5 m.

Pelos dados descritos, pode-se apreciar o nível de deterioração a que tem chegado a qualidade da água em certas regiões da baía.

Para escolher um programa que melhore a qualidade da água, Hydrosience (1979) fez um estudo comparativo do custo-benefício dos possíveis programas de controle, para atingir certos objetivos prefixados. Os programas testados dividiram-se em 3 grupos: programas locais, regionais e os de descarga no canal principal.

Dentre os programas de tratamentos locais dos esgotos, compararam-se:

- 1) implementação ótima de tratamento secundário e primário;
- 2) o programa anterior em conjunto com tratamento primário nos pontos onde o tratamento não é requerido para atingir os objetivos;
- 3) tratamento primário em todos os lugares;
- 4) otimização dos tratamentos secundários;
- 5) tratamento secundário em todos os lugares.

Dentre os programas de tratamentos regionais dos esgotos, compararam-se:

- 1) implementação ótima dos tratamentos primário e secundário;
- 2) implementação ótima dos tratamentos primário e secundário, em conjunto com tratamentos primários para eliminar todas as descargas dos esgotos em bruto.

Dentre os programas com descargas no canal central, compararam-se:

- 1) tratamentos primário e secundário otimizados;
- 2) tratamentos primário e secundário otimizados, em conjunto com tratamentos primários para eliminar todas as descargas de esgotos em bruto.

O melhor programa para atingir os objetivos de qualidade proposto é o de nº 2 dos programas de tratamentos locais. Quanto aos outros programas, seria preferível que os aspectos estéticos e a qualidade da água dos rios fossem levados em consideração.

Este programa está atualmente sendo implementado pela FEEMA para melhorar a qualidade da água da baía. À medida que ele progredir, serão de grande utilidade os dados dos sensores remotos como ferramenta auxiliar para o monitoramento do programa.



## CAPÍTULO IV

### OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

#### 4.1 - OBJETIVO GERAL

Discriminar o processamento mais adequado dos dados de vídeo do MSS do LANDSAT, gravados em fita magnética, para a avaliação da qualidade da água na Baía de Guanabara.

#### 4.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estudar o grau e o tipo de correlação existente entre alguns dos parâmetros que especificam a qualidade da água, medidos in situ, e os dados de vídeo do MSS do LANDSAT.
- b) Discutir as correlações existentes e a maneira pela qual elas podem ser aumentadas por processamentos.
- c) Testar o tipo de processamento apropriado para a estimativa da qualidade da água na Baía de Guanabara, através do uso de dados de vídeo do MSS do LANDSAT, e indicar o parâmetro de qualidade da água mais compatível com estes.
- d) Fornecer mapas com os diferentes teores do parâmetro de qualidade da água estimado com os dados de vídeo, nos sobrevôos usados. Aplicar os processamentos escolhidos às imagens da Baía de Guanabara existentes, com a finalidade de diminuir o erro nas classificações de tipos de água. Nas imagens sem processamento, o erro de classificação é maior.

#### 4.3 - JUSTIFICATIVAS

##### 4.3.1 - UTILIZAÇÃO DE DADOS DO MSS DO LANDSAT PARA ESTIMAR A QUALIDADE DA ÁGUA

As principais vantagens do emprego do sensoriamento remoto para estudos da qualidade da água são:

- a) Oferecer dados instantâneos e sinóticos de uma dada situação e, dependendo da repetitividade das observações, fornecer dados sobre a evolução tempo-espacial dos processos de mistura na superfície.
- b) Uma vez calibrados os dados dos sensores, pode-se avaliar a qualidade da água pela confecção de cartas temáticas e sinóticas de grandes áreas, sobretudo com o emprego de sensores a bordo de plataformas orbitais.
- c) Tendo-se em conta os custos e dificuldades operacionais das observações in situ e sua baixa resolução espacial e periodicidade, podem-se produzir, com sensores remotos, dados com menor intervalo de tempo e maior resolução espacial (maior quantidade de informação por unidade de área e de tempo).
- d) Uma vez estudados os resultados de alguns modelos, as estações de amostragem nas campanhas de vigilância e prevenção poderão ser corretamente escolhidas, sendo que, a partir das técnicas convencionais, é difícil escolher as posições mais apropriadas.

As referências bibliográficas sobre o emprego de sensores remotos nestes estudos é numerosa. Na Seção 1.3.1 foram analisados os tipos de sensores geralmente utilizados para tal fim. NASA (1971) descreve os poluentes passíveis de serem detectados: óleo, sedimentos em suspensão, esgoto domiciliar, resíduos químicos e tóxicos, lixo, efluentes térmicos, lixo radiativo, efluentes ricos em nutrientes e organismos vivos. Esta mesma fonte menciona que os gradientes de concentração

desses materiais, num fluido como a água, ao contrário do que ocorre na superfície da terra, são graduais e sua mistura horizontal é bem mais eficiente do que a vertical; o sensoriamento remoto é, portanto, um mé todo muito eficiente para o estudo da sua dispersão e/ou diluição.

Existem várias referências específicas aos sensores do MSS (LANDSAT), sendo que, na maioria das vezes, os autores têm feito uma análise de regressão linear entre a quantidade de sólidos em susensão, medidos na superfície da água, e o seu registro pelos sensores em diferentes faixas do espectro visível.

McCluney (1976) descreve e discute as possíveis abordagens para o desenvolvimento de técnicas de análise de imagens multiespectrais de corpos naturais de água. Segundo este autor, existem duas abordagens principais para a análise dos dados dos sensores multiespectrais: a abordagem teórica e a empírica. A abordagem teórica se apóia na teoria da transferência de radiação eletromagnética, baseada em medas dos coeficientes de extinção, absorção e espalhamento espectrais, medidas estas feitas em condições controladas no laboratório ou no campo. A seguir, conhecendo-se a quantidade e o tipo de partículas de cada tipo de água, aplicando-se os modelos de transferência de radiação macro e microscópicos, segundo uma irradiância espectral incidente, a rugosidade da interface água-ar e o albedo espectral do fundo, pode-se estimar a radiância espectral emergente. Com o modelo de transferência da atmosfera, estima-se a radiância espectral recebida pelo sensor.

Wezwernak et alii (1976b) fizeram os cálculos da radiância recebida pelo satélite, a partir de dados de campo de reflectância de diferentes poluentes; e de diferentes situações atmosféricas e de inclinação do Sol (Figuras II.2 e II.3). Este é o caminho mais correto para a escolha dos sistemas sensores no monitoramento de um dado alvo, que é difícil de ser determinado devido à coleta de dados necessários para alimentar os modelos teóricos.

A aplicação da abordagem empírica, no caso em que o sensor já esteja em funcionamento, permite uma análise de correlação rápida entre os dados de superfície e os colhidos indiretamente pelo sensor. A abordagem é estabelecer, com base estatística, o grau de correlação entre as duas espécies de dados preexistentes. É um método simples que deve ser aplicado com certas precauções. Esse método pode indicar, também, linhas gerais sobre as pesquisas que deverão ser desenvolvidas, dependendo dos sensores a serem utilizados. McCluney (1976) recomenda o desenvolvimento simultâneo dos procedimentos empírico e teórico, dispondo-se de um bom número de pesquisadores, instituições e meios, para poder resolver satisfatoriamente o problema do emprego do Sensoriamento Remoto na detecção da qualidade da água.

Existem vários trabalhos com diversos resultados sobre a abordagem empírica. Bowker e Witte (1973) tentam todas as possíveis operações entre dois canais do MSS (LANDSAT), somando, subtraindo, multiplicando e dividindo os valores de cada faixa espectral. Os coeficientes de correlação foram encontrados mais altos por estes autores, com a combinação entre o canal MSS 5 menos o MSS 6.

Brooks (1975) achou a máxima correlação entre a transmissão da água medida *in situ* e a razão entre o canal MSS7 e o MSS 4.

Ritchie et alii (1973) deduziram que o ângulo solar afeta as regressões obtidas entre os sólidos em suspensão e os dados de espectrometria. Devido à menor penetração da radiação solar na água, quanto menor for o ângulo solar, menores serão os coeficientes de correlação.

Yarger e McCauley (1975) apresentam resultados com dados de 18 passagens e chegam à conclusão de que as regressões para o canal do MSS 4 são válidas até 500 ppm de sólidos em suspensão; para o canal do MSS 6, são válidas até 240 ppm; para a razão entre o MSS 5 e o MSS 4, 80 ppm, e para a razão entre o MSS 6 e o MSS 4, para menos de 100 ppm.

Klemas et alii (1974) propõem uma regressão exponencial para explicar a variação de resposta dos canais.

Johnson (1973 e 1976) desenvolve análises de regressão progressiva que, após a escolha da variável independente que tenha maior correlação com os sólidos em suspensão, se anexam progressivamente às outras, obtendo-se, a cada passo, uma regressão com coeficiente de correção cada vez maior. As regressões são feitas entre as 4 faixas de atuação do MSS dos satélites LANDSAT e os dados de sólidos em suspensão.

Boland (1976) desenvolveu análises múltiplas de regressão, nas quais os melhores resultados foram obtidos com medidas de transparência pelo disco de Secchi nas regressões em que se usaram as razões entre canais (MSS 4 / MSS 6 + MSS 5 / MSS 6 + MSS 6 / MSS 7); nas medições do teor de clorofila "a", foram usadas as razões MSS 4 / MSS 6 + MSS 4 / MSS 7).

Nas regiões com lagos ou águas confinadas, semelhantes a algumas áreas do Oeste da Baía de Guanabara, nas quais podem existir condições de eutroficação, provocadas pelo despejo de efluentes ricos em nutrientes, desenvolvem-se índices de grau de trofismo. Wezwernak et alii (1976) sugerem a utilização de um índice de trofismo baseado nos dados do MSS (LANDSAT), com a finalidade de obter uma classificação periódica do estado trófico dos lagos e reservatórios da região Este dos EUA. Eles usam todas as combinações de razões entre canais para verificar qual é a que melhor se correlaciona, obtendo equações de regressão diferentes para cada data.

Khorram (1979) utiliza a análise de regressão múltipla entre os dados de condutividade elétrica, a clorofila, os sólidos em suspensão e a turbidez, obtendo coeficientes de correlação de até 0,948, 0,934, 0,609, e 0,791 para os canais 3 (0,475 a 0,530  $\mu\text{m}$ ), 5 (0,550 a 0,610  $\mu\text{m}$ ), 7 (0,645 a 0,690  $\mu\text{m}$ ) e 10 (0,745 a 0,8  $\mu\text{m}$ ), respectivamente.

No Brasil, existem algumas experiências com sensoriamento remoto aplicadas à qualidade da água. Herz (1977) fez um trabalho muito abrangente sobre as tendências hidrodinâmicas de um corpo de água com uso de sensores remotos, usando como traçador natural os sólidos em suspensão. O estudo focaliza a circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos e das águas costeiras adjacentes, mostrando a utilidade de potencial destes estudos, quer para desenvolver modelos teóricos, quer para monitorar corpos de água de grande extensão.

O primeiro trabalho sobre o uso de sensores remotos na Baía de Guanabara é o de Mascarenhas e Tanaka (1974); este trabalho identifica, através de imagens do LANDSAT, diferentes despejos no interior da Baía. Também fornece uma curva de reflectância de um ponto onde a poluição é mais evidente. Neste trabalho menciona-se que a circulação geral é predominantemente afetada pelas marés.

Coelho e Cunha (1975), um trabalho recente, feito após o acidente com o petroleiro Tarik, apresentam os resultados do mapeamento de manchas de óleo, feito através de observações visuais a bordo de um helicóptero. Foram organizados sobrevôos após o desastre, para um mesmo horário, das 9 às 10 horas, durante 9 dias consecutivos, com a finalidade de orientar as campanhas de limpeza das águas (Figuras III.6 e III.7). Embora este método possa parecer muito simples, em face de acidentes graves, em que é necessária a ação rápida, é ainda o único método acessível. Se alguma das instituições envolvidas com o problema (FEEMA, PETROBRÁS, Capitania dos Portos) tivesse organizado um sistema para estas emergências, o controle poderia ter sido mais efetivo.

Finalmente Herz et alii (1978) mostraram os resultados preliminares do projeto POLUE, sendo que o presente trabalho é parte do referido projeto. Os autores desenvolveram métodos de processamento automático de imagens do MSS do LANDSAT para classificar tipos de águas diferentes dentro e fora da Baía de Guanabara. Os mapas resultantes mostraram que em 24/06/76 as águas costeiras foram poluídas num raio de até 150 km da baía.

#### 4.3.2 - O USO DE PROCESSAMENTO DE DADOS DE VÍDEO MULTIESPECTRAIS

Conforme as Seções 1.3.2 e 2.4, os dados de vídeo do MSS sofrem uma série de efeitos que devem ser, na medida do possível, corrigidos; dessa maneira poder-se-ão obter dados com certo valor semiquantitativo. O mais importante é detectar, nos corpos de água, num dado momento, a sua evolução temporal, e não somente a visão estática. Deduzindo-se os efeitos, ter-se-ão dados comparáveis em dados diferentes e dados que não variem de imagem para imagem (Bressanine e Erickson, 1973). A seguir descrever-se-ão os métodos de processamento utilizados ou sugeridos por diversos autores.

Bressanine e Erickson (1973) fazem uma compilação dos processamentos existentes na bibliografia mundial e das propriedades invariantes que podem ser extraídas da imagem, para compará-las com uma ou outra data. Estes autores as denominam técnicas de extensão de assinaturas ou transformações de pré-processamento, e citam, entre outras:

- a) uso de alvos padrão da cena para transferência dos dados de uma imagem ou outra;
- b) calibração com dados de sensores apontados para o céu;
- c) razão de resposta entre canais;
- d) uso do alvo mais escuro para estimar a radiância difusa retroespalhada ( $L_a^*$  na Figura II.1).

Saitoh et alii (1979), baseando-se em Van Domelen (1975), utilizam um algoritmo que considera o sinal de vídeo da área da água em estudo e o sinal de vídeo de uma água transparente do oceano. Eles seguem o seguinte raciocínio: o sinal recebido no satélite ( $R_i$ ) é:

$$R_i'' = W_i'' - W_c'' = (\rho_{Vi} - \rho_{Vc}) H_0' \frac{\tau}{\pi} \quad (IV.1)$$

onde:

- $R_i''$  = sinal devido ao material na água no ponto "i";
- $W_i''$  = sinal total emergente da água no ponto "i";
- $W_c''$  = sinal total emergente da água transparente do oceano;
- $\rho_{vi}$  = reflectância por volume da água em "i";
- $\rho_{vc}$  = reflectância por volume da água transparente do oceano;
- $H_o'$  = radiância total na superfície plana da água;
- $\tau$  = transmitância atmosférica.

Para comparar o sinal do mesmo ponto "i" em diferentes datas ( $R_{i1}''$ ,  $R_{i2}''$ ,  $R_{ij}''$ ), deve-se efetuar a seguinte operação (o índice numérico em "j" indica a data em que a imagem foi gerada):

$$\frac{R_{i2}''}{R_{i1}''} = \frac{(\rho_{vi2} - \rho_{vc2}) H_{o2}' \tau_2}{(\rho_{vi1} - \rho_{vc1}) H_{o1}' \tau_1} \quad (IV.2)$$

Definindo-se as relações abaixo:

$$H_{21} = \frac{H_{o2}' \tau_2}{H_{o1}' \tau_1} \quad G_{21} = \frac{\rho_{vi2} - \rho_{vc2}}{\rho_{vi1} - \rho_{vc1}}$$

onde  $G_{21}$  é o valor da taxa de incremento entre os dias 1 e 2, devido aos materiais na água, no ponto "i".

Pode-se ter então:

$$\frac{R_{i2}''}{R_{i1}''} = G_{21} H_{21} \quad (IV.3)$$

O sinal total da água transparente do oceano pode se expressar por:

$$W''_{cj} = \left( \rho_{vcj} \frac{H''_{0j}}{\pi} + 0,02 L'_{cj} \right) \tau_j + LA_j \quad (IV.4)$$

onde:

$K$  = termo que fica entre parênteses, sendo:

$\rho_{vc}$  = reflectância de retroespalhamento das partículas suspensas na água, e do material flutuante;

$L'_c$  = radiância média do céu;

$LA$  = radiância retroespalhada pela atmosfera;

$j$  = dia do sobrevôo;

0,02 = reflectância da superfície plana da água (válida para ângulos de incidência menores que  $30^\circ$ , com relação ao zênite).

Pode-se ter, então:

$$\frac{W''_{c2}}{W''_{c1}} = \frac{K_2 \tau_2 + LA_2}{K_1 \tau_1 + LA_1} = \frac{K_2 \tau_2 \left( 1 + \frac{LA_2}{K_2 \tau_2} \right)}{K_1 \tau_1 \left( 1 + \frac{LA_1}{K_1 \tau_1} \right)} \quad (IV.5)$$

Considera-se que  $W''_c/LA$  é constante no comprimento de onda de  $0,55 \mu m$ ; portanto  $LA/K$  também o é. Saitoh et alii (1979), citando Austin (1974), sugerem que o termo  $0,02 L'_c$  pode ser desprezado, dado seu pequeno efeito.

Se a água do oceano é bem transparente,  $\rho_{vc2} = \rho_{vc1}$ , das Equações IV.3 e IV.5, tem-se:

$$\frac{W''_{c2}}{W''_{c1}} = \frac{H'_{02} \tau_2}{H'_{01} \tau_1} = H_{21} \quad (IV.6)$$

Por último, das Equações IV.3 e IV.6 pode-se expressar  $G_{21}$  como:

$$G_{21} = \frac{R_{i2}''}{R_{i1}''} / \frac{W_{c2}''}{W_{c1}''} \quad (IV.7)$$

Tem-se assim a razão das taxas de mudança total do sinal devido a diferentes tipos de água e os efeitos atmosféricos e à radiação solar diferente sobre a taxa de mudança resultante desses efeitos. Utilizar-se-ão somente os valores de sinal das águas diferentes com relação ao sinal de uma água "padrão" (a água transparente do oceano). Este algoritmo pode ser usado para quaisquer imagens e terá os dados de vídeo padronizados. Para chegar a resultados quantitativos sobre a qualidade da água, deve-se calcular previamente o grau de correlação existente entre o sinal de vídeo e certos parâmetros de qualidade da água. Desta forma, haverá possibilidade de diagnosticar o estado da qualidade da água sem haver necessidade de amostrá-la. Saitoh et alii (1979) sugerem o uso da faixa do MSS 5, pois esta é a que mais se correlaciona com a turbidez da água (Bartolucci, 1977).

Kriegler et alii (1969) utilizaram, pela primeira vez, processamentos que tentam eliminar os efeitos multiplicativos e/ou aditivos dos sinais de vídeo de imageadores multiespectrais, para melhorar a discriminação entre culturas diversas com diferentes iluminações, ângulo solar, transmissividade solar, etc., a partir de dados de um imageador multiespectral de 12 faixas.

Os seguintes processamentos são usados:

a) Normalização

$$\frac{S_1}{\sum_1^{12} S_i} , \frac{S_2}{\sum_1^{12} S_i} , \dots , \frac{S_{11}}{\sum_1^{12} S_i}$$

b) Razão

$$\frac{S_2}{S_1}, \frac{S_3}{S_2}, \dots, \frac{S_{12}}{S_{11}}$$

c) Subtração-soma

$$\frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1}, \frac{S_3 - S_2}{S_3 + S_2}, \dots, \frac{S_{12} - S_{11}}{S_{12} + S_{11}}$$

Smedes et alii (1971) utilizaram os mesmos processamentos de Krieger et alii (1969) para discriminar diferentes coberturas do solo com imageador multiespectral de 12 canais. Também utilizaram uma transformação com o uso da função de ângulo de varredura, com a normalização através de dados simulados do MSS, e com a normalização através de dados similares do RBV, também do LANDSAT, conseguindo melhores resultados de classificação usando os processamentos citados.

Vincent (1972) usou o imageador multiespectral de 12 faixas, escolhendo as mesmas faixas do MSS do LANDSAT, para discriminar rochas ricas em ferro. Utilizou processamentos de razão entre faixas, da seguinte maneira:

- 1) antes de calcular a razão, subtrai-se de toda a imagem o valor da área mais escura, supondo-se que este valor é assimilável pela radiação difusa retroespalhada pela atmosfera;
- 2) calcula-se a razão entre as faixas adjacentes de todos os "pixels" da imagem, usando-se a razão entre o MSS 4 e o MSS 7 e entre o MSS 6 e o MSS 7;
- 3) uma das áreas é tomada como referência, calculando-se:

$$\frac{\rho_i}{\rho_{i+1}} = \left[ \frac{\rho_i}{\rho_{i+1}} \right]_{\text{referência}} \left[ \frac{R(i, i+1)}{R(i, i+1)} \right]_{\text{referência}}$$

sendo que:

$\rho_i / \rho_{i+1} =$  razão entre reflectâncias em faixas diferentes;

$R(i, i+1) =$  razão entre dados de vídeo do imageador em faixas diferentes.

Crane (1971) citou as mesmas técnicas de Kriegler et alii (1969), que consistem na leitura dos tons de cinza na parte mais escura da imagem, no cálculo do seu valor médio, e na subtração deste valor em todos os "pixels" da imagem a ser corrigida. Deste modo, elimina-se parte da radiância retroespalhada pela atmosfera.

Ahern et alii (1977) sugeriram que os lagos de águas transparentes podem ser utilizados como alvos padronizados para medir a radiância de retroespalhamento da atmosfera. Para demonstrar isto, fizeram muitas observações a bordo de aeronaves, dos satélites LANDSAT e ao nível da água. Concluíram que, na ausência de reflexão especular da água, a radiância difusa retroespalhada pela atmosfera pode ser medida com a radiância que provém de lagos oligotróficos. A precisão das estimativas é de  $\pm 0,025 \text{ mw/cm}^2$  nas faixas do MSS 4 e 6 do LANDSAT e de  $\pm 0,05 \text{ mw/cm}^2$  na faixa do MSS 7. Pode-se estimar também o coeficiente de extinção da atmosfera com precisão de  $\pm 0,05$  na faixa do MSS 4,  $\pm 0,08$  na faixa do MSS 5,  $\pm 0,03$  na faixa do MSS 6 e  $\pm 0,04$  na faixa do MSS 7 do LANDSAT.

Morimoto (1980) adotou o programa de computação LOWTRAN para corrigir os efeitos atmosféricos dos dados de vídeo do MSS (LANDSAT). O programa LOWTRAN, agora na quarta versão, foi desenvolvido para calcular a transmissividade do ar, devido aos componentes gasosos e particulados em forma de aerossóis; utiliza modelos de transferência de radiação (Elterman, 1968 e 1970; McClatchey et alii, 1972; Selby e McClatchey, 1975), que são aplicados a dados de perfis verticais de pressão, umidade e temperatura fornecidos como dados de entrada; calcula a transmissividade até a altura orbital do satélite para o local de interesse no solo, e para as faixas de comprimento de onda mais adequa

das. Estes dados de transmissividade entram como dados de entrada no programa ATA, desenvolvido por Morimoto (1980) para calcular o novo nível de cinza da imagem, eliminando-se grande parte do efeito atmosférico. O programa ATA lê a fita CCT do MSS (LANDSAT), o valor do albedo médio estimado da área imageada e a transmissividade do ar, hora e dia locais e coordenadas geográficas, calculando a radiância de retroespalhamento devido à atmosfera. Depois, calcula a radiância intrínseca do alvo de reflectância 1, nesse dia e hora, e por regressão linear, gera-se uma tabela de conversão de radiância em tom de cinza. Depois, calcula-se o novo valor de radiância de cada "pixel", subtraindo-se a radiância de retroespalhamento da atmosfera e as perdas por absorção, sendo que, com a tabela anteriormente mencionada, o valor de radiância se transforma num novo valor de tom de cinza. A partir deste novo tom de cinza, grava-se uma nova fita CCT com valores corrigidos e gera-se uma listagem com dados computados. Neste programa, não são utilizados os valores de radiância de calibração dos detectores do MSS fornecidos pelo fabricante, porque mostraram não ser apropriados. Stevenson (1975) também comentou que estes valores podem ser desprezados.

Uma melhoria a ser feita no programa ATA é a inclusão do processamento sugerido por Turner (1975), o qual consiste no cálculo da radiância do "pixel", tendo-se em conta a contribuição dos "pixels" vizinhos; quanto maior for o contraste entre os "pixels", maior será a contribuição, na radiância, do "pixel" mais claro ao mais escuro.

#### 4.3.3 - A ESCOLHA DA ÁREA DE TRABALHO NA BAÍA DE GUANABARA

As condições sanitárias da Baía de Guanabara são realmente alarmantes. Esta foi uma das razões pela qual foi escolhida como área de trabalho do projeto POLUE.

Além disso, a Baía de Guanabara apresenta uma série de outras vantagens para que o trabalho seja desenvolvido plenamente:

- a) a região dispõe de apoio e infraestrutura de pesquisa amplos, existindo dados físico-químico-biológicos coletados pela FEEMA em diversas ocasiões, a partir de 1975;
- b) a previsão de marés é muito precisa e pode ser feita sobre 12 estações, graças a um excelente sistema de previsão montado pelo Departamento de Informática da Diretoria de Hidrografia e Navegação;
- c) existem numerosos dados meteorológicos e hidrológicos colhidos pelo DNMET, DNAEE e SERLA e, em especial, dados de radiossondas diárias e de ventos horários, dados estes difíceis de obter em lugares fora dos grandes centros urbanos;
- d) maior proximidade da sede do INPE em São José dos Campos;
- e) a Baía de Guanabara está localizada na zona de recobrimento em as órbitas 122 e 136 de passagem do LANDSAT, dispondo-se de imagens em dias consecutivos e a cada 18 dias; este fato é extremamente importante para o estudo da qualidade da água ou de qualquer outro fenômeno hídrico que mereça uma interpretação dinâmica.

Deve-se ressaltar que, mesmo que os dados de amostragem sejam abundantes, não são ainda suficientes. São abundantes em comparação com a situação de disponibilidade de dados no Brasil em geral. Sabe-se que a carência de dados básicos representa um entrave em qualquer pesquisa sanitária no Brasil, sobretudo pelo fato de ser país tropical, e que todas as experiências de desenvolvimento de técnicas já existentes para a proteção ambiental desenvolveram-se em países temperados.

## CAPÍTULO V

### MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo abordar-se-ão os métodos utilizados na pesquisa para atingir os objetivos propostos neste trabalho. Para facilitar a descrição dos processos automáticos aplicados aos dados digitais do MSS foram utilizados diagramas que mostram as relações e passos sequenciais do tratamento matemático em cada fase.

#### 5.1 - IMAGENS ORBITAIS

Neste trabalho foram analisadas imagens do MSS de satélites da série LANDSAT nas datas de sobrevôo de 24/02/75 e 24/05/75, para o ponto 28 das órbitas 136 e 122, respectivamente. A escolha das mesmas foi realizada por eliminação, tendo-se em conta sua proximidade temporal com a coleta de amostras de campo obtidas na área estudada, e a melhor qualidade da imagem. Devido ao posicionamento preciso das estações de superfície, utilizaram-se imagens gravadas em fitas CCT, cujo processamento foi realizado utilizando-se o computador BURROUGHS 6700 e o sistema iterativo de análise de imagens multiespectrais, Image-100. Estas imagens, apesar de serem as mais bem selecionadas do Banco de Dados, possuem alguns defeitos, tais como: presença de nuvens que cobrem parte da área, faixa do MSS 6 da imagem com forte "stripping" causado por desbalanceamento de um dos 6 detectores, e linhas brancas e pretas em todas as faixas causadas por ruído eletrônico. Apesar destes defeitos, as imagens foram processadas em virtude de a maioria dos pontos de amostragem não ter este problema; o "stripping" e as linhas defeituosas foram corrigidos com programas especiais de computação, melhorando sobre maneira a qualidade do produto CCT para a finalidade proposta.

Dos dados gravados em fitas CCT, provenientes do Departamento de Produção de Imagens do INPE, destacou-se a área que abrange a Baía de Guanabara, compondo-se duas imagens de 26,5 por 26,5 cm (tamanho da tela de TV do monitor do I-100), em escala de 1:112.727 no sentido vertical e 1:112.059 no sentido horizontal. Cada uma destas imagens foi gravada em fita separada para facilitar a recuperação dos dados trabalhados.

Deve-se ressaltar que as fotografias coloridas (Figuras V.1 e V.2) resultam da composição colorida com filtros eletrônicos das faixas do MSS 4, MSS 5 e MSS 6, nas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Em cada uma das faixas, aumentou-se o contraste com o programa "contrast stretching" do I-100. O resultado ideal de contraste é obtido na processadora pela interação do operador com a máquina, operador este que escolhe visualmente o melhor contraste. Ampliou-se suficientemente o contraste para a percepção visual das mínimas diferenças de tonalidades das águas da baía, motivo pelo qual as áreas continentais permanecem com tonalidade cinza de baixa densidade.



Fig. V.1 - Imagem do sobrevôo de 24/02/75.



Fig. V.2 - Imagem do sobrevôo de 24/05/75.

## 5.2 - OBSERVAÇÕES HIDROMETEOROLÓGICAS

Segundo Herz (1977), para discutir os resultados das análises de regressão entre os dados de campo e os dados de imagem, é necessário coletar uma série de dados ambientais quando da passagem dos satélites e da coleta de amostras de superfície, simultaneamente. Estes dados, quando considerados na área de estudo, compreendem:

- a) velocidade e direção horária do vento (Figuras V.3 e V.4), coletados nos arquivos do DPV;
- b) altura da maré com variação horária (Figuras V.3 e V.4), computadas pelo DHN;
- c) cota de variação horária do rio Acari (Figuras V.3 e V.4), coletados nos arquivos da SERLA;
- d) ocorrência pluviométrica diária e anual da bacia (Figuras V.5 a V.13), coletadas nos arquivos da DNMET;
- e) vazão padronizada do esgoto diário da zona Norte do Rio de Janeiro (Figuras V.3 e V.4), segundo ENCIBRA (1969).

A velocidade e direção do vento foram medidos com anemôgrafo no aeroporto de Galeão e, os dados, reduzidos a valores horários, a altura real da maré é a gerada pelo programa de previsão da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha, feita na base de dados coletados na fortaleza de Santa Cruz (latitude:  $22^{\circ} 56' 2''$  e longitude:  $48^{\circ} 8' 2''$  W) com períodos de observação de 30/11/55 a 31/12/55. A cota do rio Açari foi medida com linígrafo pela Secretaria de Rios e Lagoas do Rio de Janeiro, e reduzida a dados horários. Com relação à precipitação de chuvas, foi possível obter, com pluviômetro, dados diários às 7:00 horas. Também foi necessário mostrar ao leitor a pluviometria nesses mesmos dias, durante o ano de 1975, para outras estações, a fim de demonstrar como são importantes os efeitos locais (Figuras V.5 a V.13). A vazão do esgoto para a região da bacia do Benfica (bairro da zona Norte do Rio de Janeiro), é a apresentada nas Figuras V.3 e V.4, pois não se dispõe de outros dados de interesse (ENCIBRA, 1969).

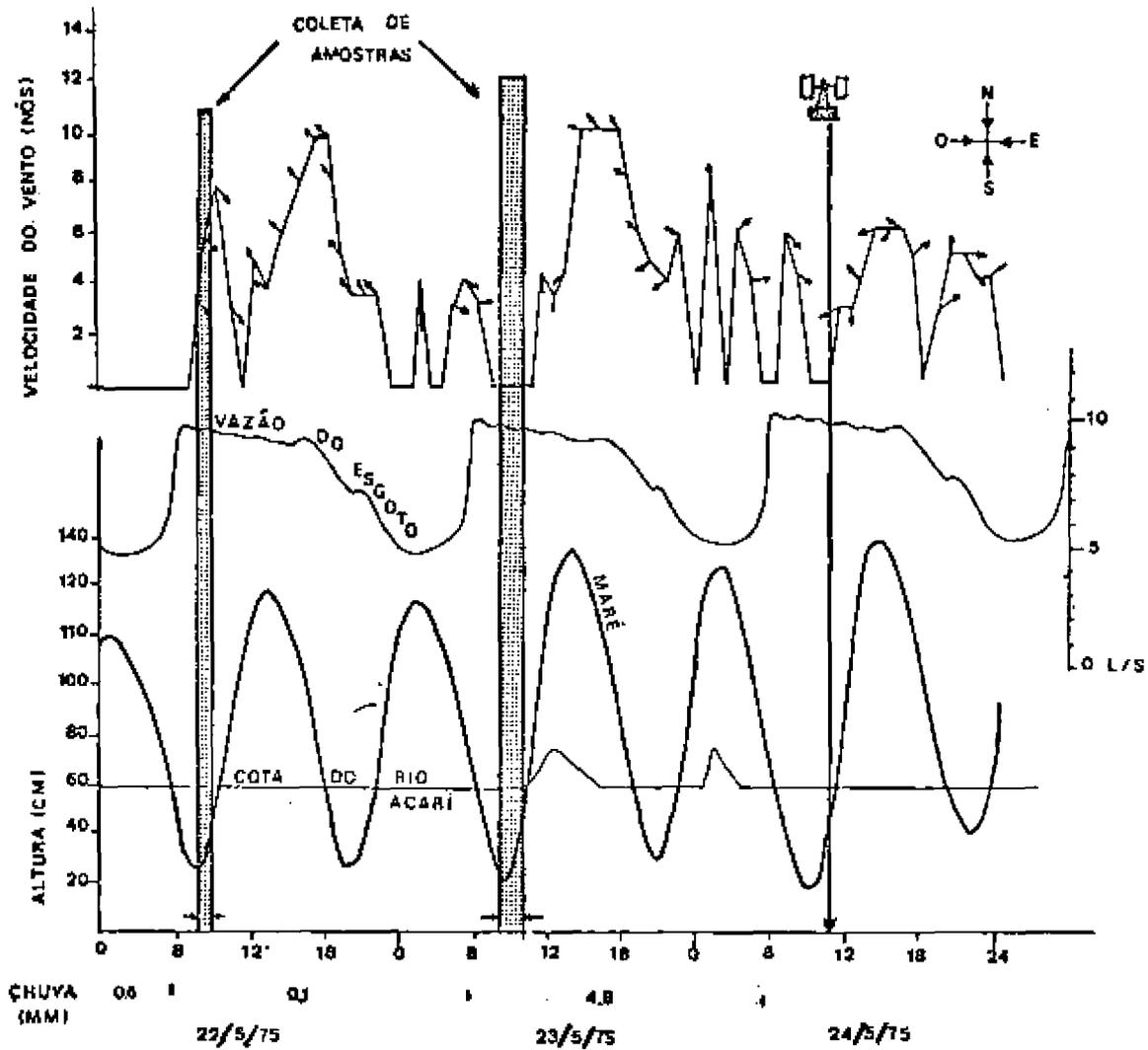


Fig. V.3 - Velocidade do vento, altura da maré e do rio Acari e vazão típica de esgoto para os dias 22, 23 e 24 de maio de 1975.

FONTE: SERLA, DPV, DMMET, e ENCIBRA (1969).

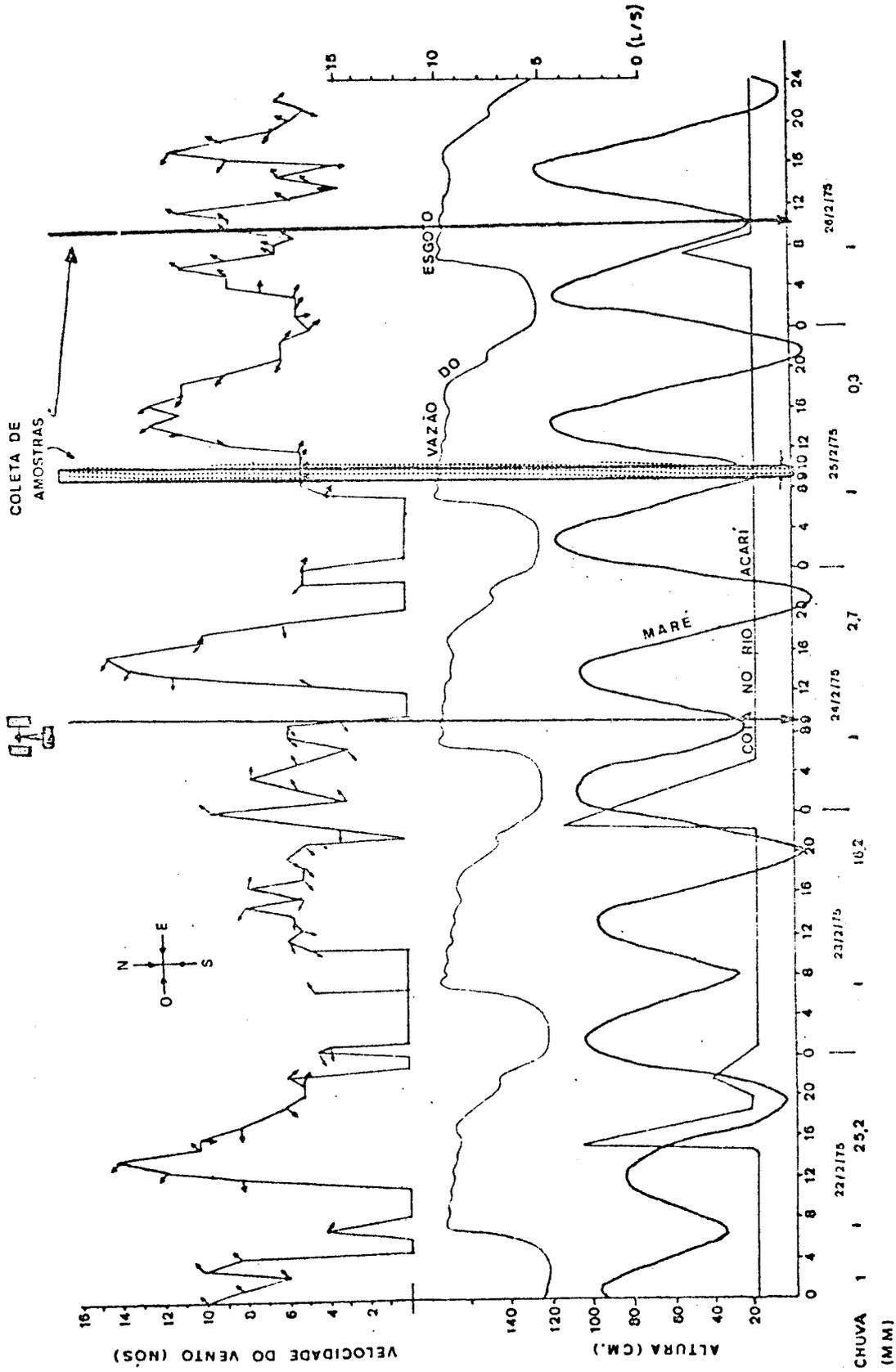


Fig. V.4 - Velocidade do vento, altura da maré e do rio Acari e vazão típica do esgoto para os dias 22, 23, 24, 25 e 26 de fevereiro de 1975.

FONTE: SERLA, DPV, DNMET, e ENCIBRA (1969).







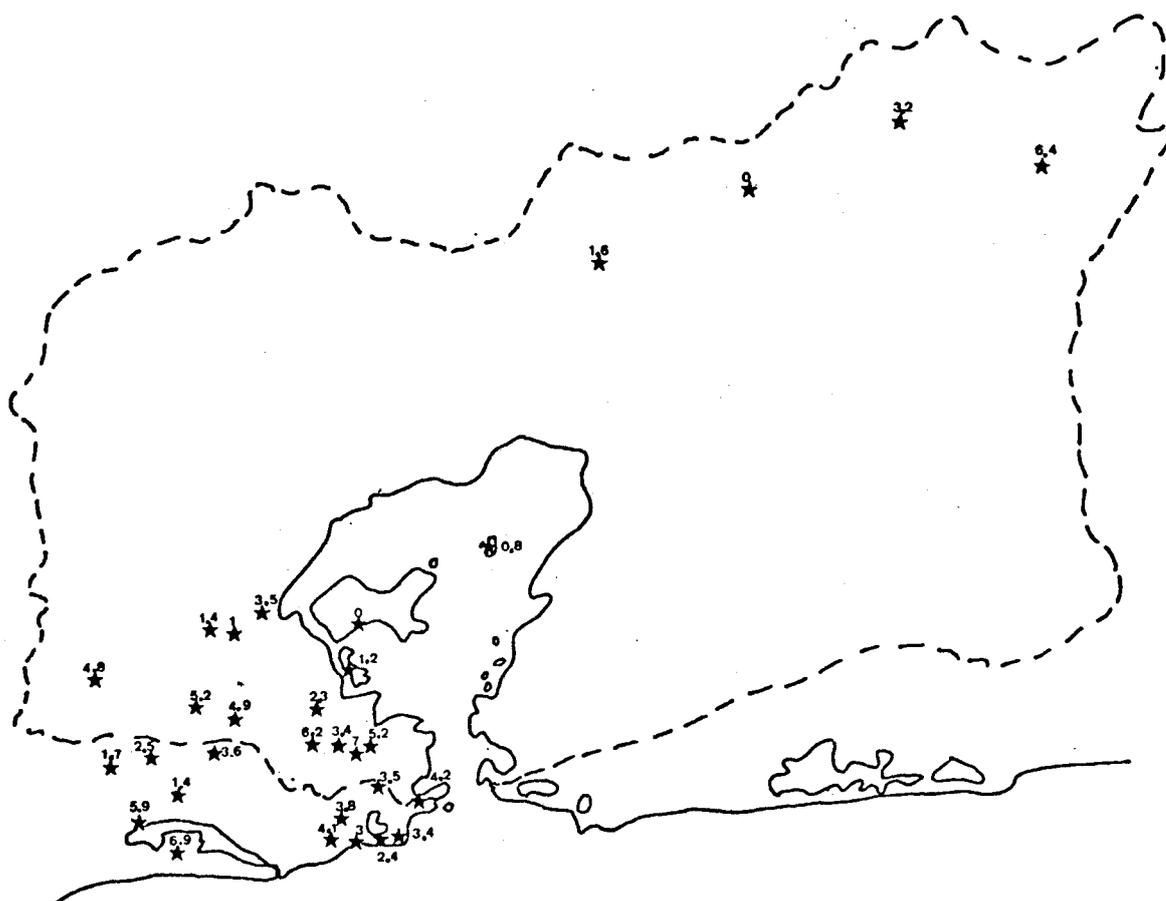


Fig. V.8 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 24/05/75.  
FONTE: SERLA (1979), p. 21 - 602.



Fig. V.9 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 22/02/75.  
FONTE: SERLA (1979), p. 21 - 602.

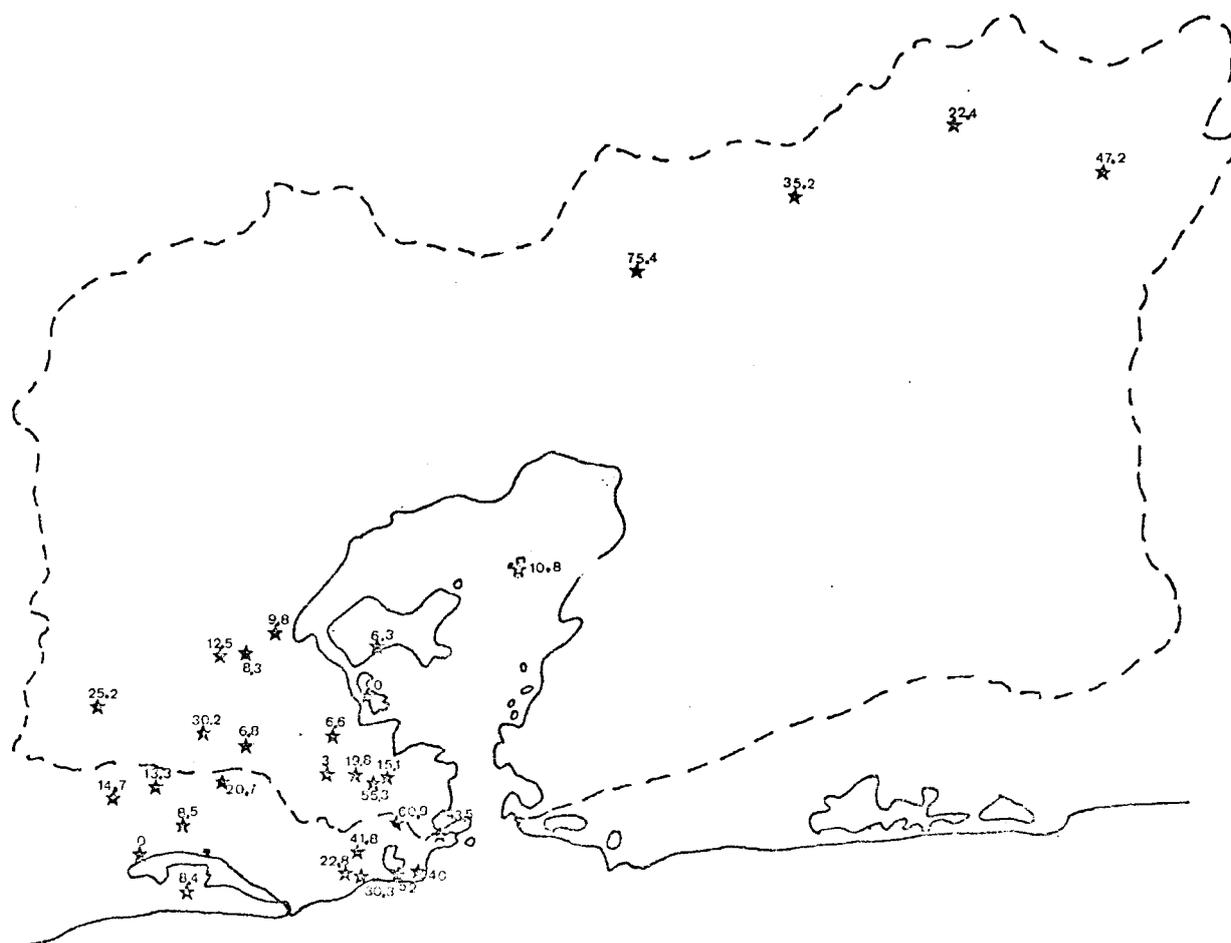


Fig. V.10 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 23/02/75.  
FONTE: SERLA (1979), p. 21 - 602.



Fig. V.11 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 24/02/75.  
FONTE: SERLA (1979), p. 21 - 602.



Fig. V.12 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 25/02/75.  
FONTE: SERLA (1979), p. 21 - 602.



Fig. V.13 - Precipitação de chuvas (em mm) na bacia em 26/02/75.  
FONTE: SERLA (1979), p. 21 - 602.

Acredita-se que os dados necessários para uma análise mais cuidadosa de dados de sensores remotos em estudos de qualidade da água devem ser mais completos e, se possível, abranger a bacia hidrográfica que compõe a rede da baía com informação horária ou contínua.

### 5.3 - OBSERVAÇÕES SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA IN SITU

Os dados de qualidade da água utilizados neste trabalho são obtidos pelo Departamento de Controle da Poluição da FEEMA que, regularmente, realiza missões de coleta, com análise de amostras na Baía de Guanabara. Dos parâmetros que a FEEMA mede, foram selecionados aqueles que teriam maior correlação com os dados do MSS do LANDSAT (Boland, 1976; Barker, 1975; Roger e Peacock, 1973; Johnson, 1976): profundidade do disco de Secchi, teor de clorofila "a", teor de amônia e salinidade (Tabela V.1).

Os critérios para a escolha dos locais de amostragem e das datas de coleta foram os seguintes:

- a) coleta, na escala temporal, mais próxima possível da data de sobrevôo;
- b) utilização apenas de dados de coleta feitos numa hora aproximadamente igual à do sobrevôo;
- c) locais de amostragem bem afastados do litoral, para que os "pixels" que se encontram na água não sofram muito a influência da radiação difusa retroespalhada, proveniente das áreas continentais mais claras;
- d) variabilidade grande dos parâmetros de qualidade da água, para ter representados os extremos dos valores. Com os dados do disco de Secchi e com a salinidade isto não foi possível, ao passo que, com os dados da clorofila "a", existem valores bem variáveis.

TABELA V.1

PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA CONSIDERADOS NAS REGRESSÕES

DATA DE COLETA	LOCAL DE AMOSTRAGEM	HORA DE COLETA	SALINIDADE (ppm)	NH <sub>3</sub> (mg/l)	CLOROFILA "a" (mg/l)	SECCHI (m)
23/05/75	DW10	9	30,101	294,23	21,69	0,90
22/05/75	DW 7	9	30,210	-	2,50	1,25
22/05/75	C 13	8	31,726	96,54	8,84	1,10
22/05/75	MC 4	9	30,571	-	2,65	1,60
22/05/75	C 11	8	31,365	7,89	-	1,40
22/05/75	DW 4	9	31,726	0,61	3,81	1,50
23/05/75	DW 1	10	28,766	168,91	-	0,80
23/05/75	DW 2	10	29,921	277,88	19,65	0,70
23/05/75	C 6	9	29,831	351,44	19,05	0,50
23/05/75	C 9	8	30,011	340,55	6,81	0,45
23/05/75	DW 3	8	31,094	264,26	19,65	0,70
25/02/75	MC 2	10	-	-	16,42	1,20
25/02/75	DW10	10	-	-	34,85	1,00
26/02/75	ODW9	10	-	-	6,96	4,00
25/02/75	DW 8	9	-	-	26,02	1,10

5.4 - METODOLOGIA EMPREGADA

Para chegar a estimativas dos parâmetros de qualidade da água com uso de sensores remotos, utilizou-se uma abordagem empírica através de dados existentes. Evitaram-se, assim, os problemas decorrentes de medições físicas prolongadas e complexas, reduzindo-se o custo do trabalho ao mínimo possível. A partir desta proposta metodológica, haverá possibilidade de desenvolver trabalhos de maior profundidade.

Outro problema sério, em qualquer estudo temporal com sensores remotos, é a padronização dos dados destes sensores para a obtenção de estimativas comparáveis de qualidade da água.

Para mostrar o efeito dos métodos de padronização sobre os dados de vídeo do MSS do LANDSAT, computam-se razões entre canais e dados em escala digital de nível de cinza em imagens de datas diferentes para o mesmo alvo. Neste caso, utilizaram-se como alvos-padrão as areias das praias de Copacabana e Itaipu no Rio de Janeiro, pois estes alvos sofrem variação temporal muito menor que outros alvos naturais. Escolheram-se os "pixels" mais claros da imagem que correspondem a posições de praia, "lendo-se" sempre a mesma área. Tentou-se, também, cobrir com imagens todos os ângulos de elevação esperados para o local ao longo do ano. No total usaram-se 11 imagens.

Nota-se que, nos dados de nível digital original, tem-se um valor maior à medida que a elevação solar aumenta, e a relação parece ser linear para as quatro faixas do MSS. Na Figura V.14 pode-se ver o efeito das razões pela aproximação de todos os valores digitais a um valor mais constante. Os valores do gráfico para cada imagem usada são todos médios.

O esboço geral dos processos de escolha do melhor processamento por análise de regressão pode ser analisado na Figura V.15. Descrever-se-á cada passo na ordem numerada e apresentada na figura.

#### Passo 1

O primeiro passo deve gerar uma fita sem perda da informação, com a imagem compatível com o sistema I-100. Para isso são gravados, na memória do Sistema I-100, 512 x 512 "pixels" de dados de vídeo do MSS, extraídos das fitas CCT. Devido ao tamanho da baía, é necessário utilizar duas imagens de 512 x 512 "pixels", que abrangem parte do oceano.

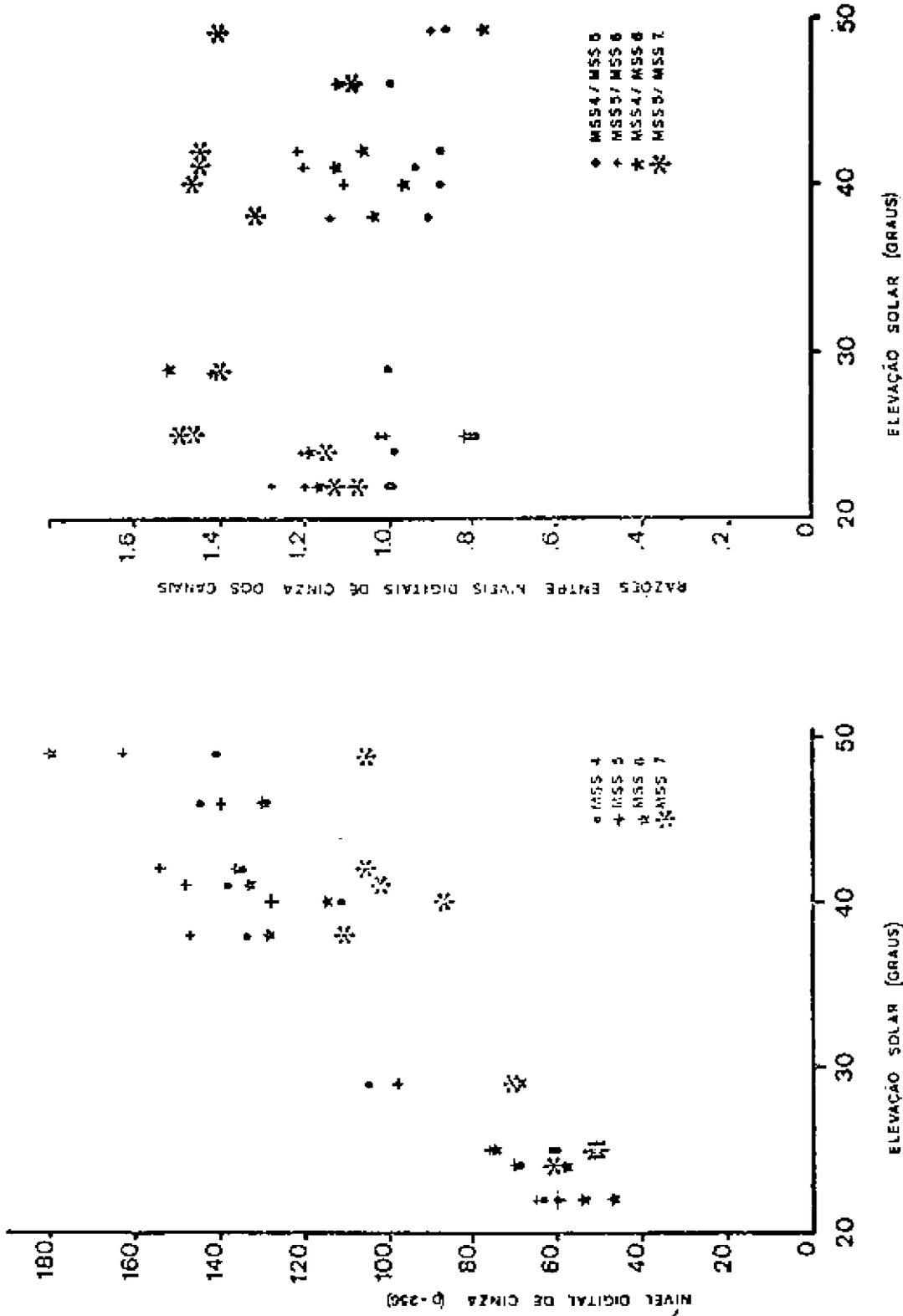


Fig. V.14 - Resultado da aplicação de razões entre faixas adjacentes, utilizando-se os níveis de cinza em imagens com alvos de areia de praia em sobrevôos de diferentes datas ao longo do ano.

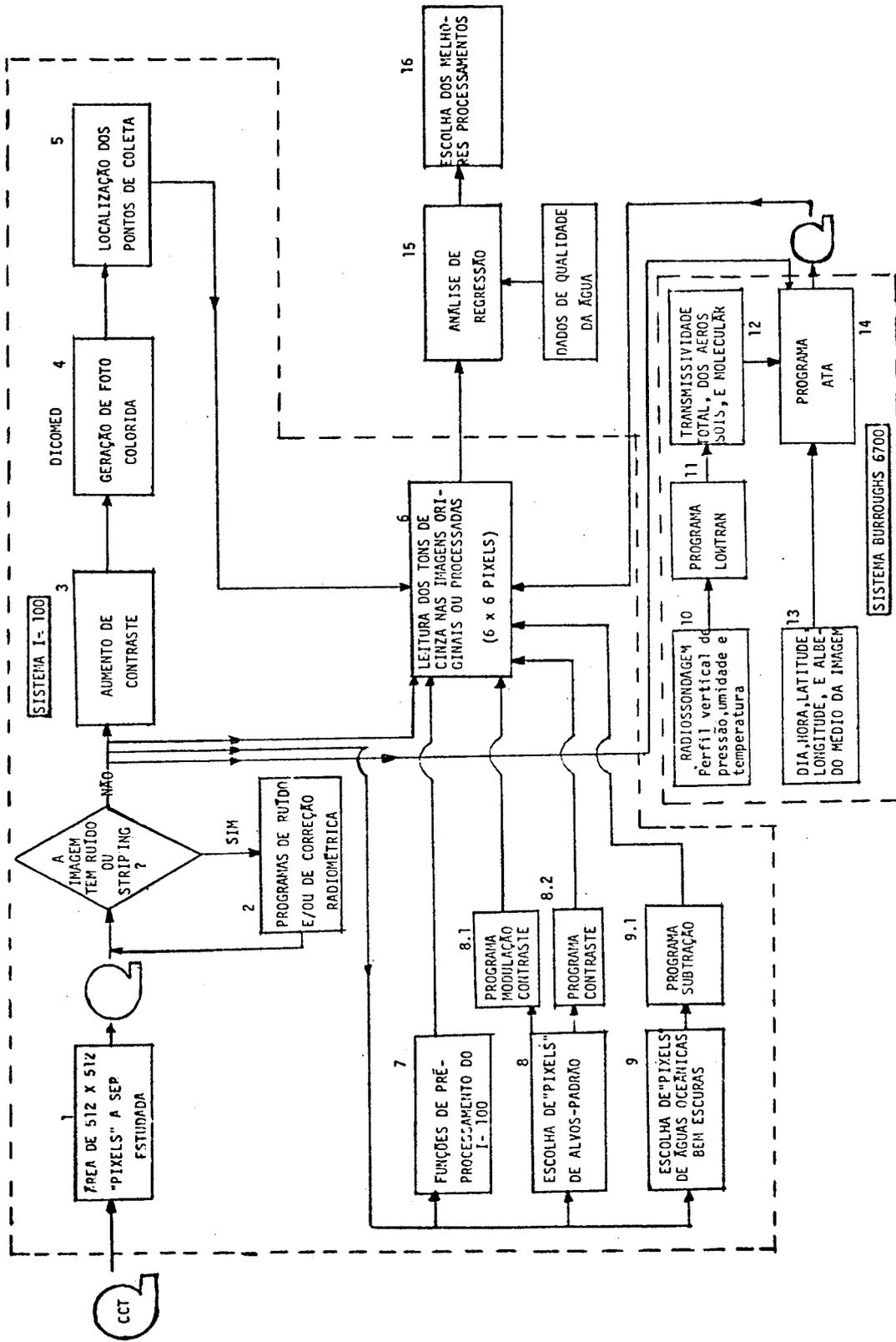


Fig. V.15 - Diagrama de fluxo do processo de escolha dos melhores processamentos.

## Passo 2

Todas as imagens podem apresentar alguma linha com ruído ou sem nenhuma informação útil. Visualmente estas linhas são detectadas e corrigidas pela geração de uma linha sintética, constituída pelo valor médio dos níveis digitais de cinza das linhas imediatamente superior e inferior. Existe, também, um programa de computação denominado RUIDO; este, automaticamente, determina que "pixel" é ruído, fazendo a correção mencionada.

Outro problema apresentado nas imagens do MSS do LANDSAT é o "stripping" das imagens, que é mais evidente em alvos escuros; a sua causa relaciona-se com a varredura feita simultaneamente por 6 detectores. Como os detectores têm sensibilidades diferentes, as quais se modificam com o tempo, ter-se-ão imagens com tons de cinza alternados em alvos semelhantes. Em alguns casos, o efeito de "stripping" é tão forte que dificulta a interpretação. A sua correção pode ser feita através de programas de correção radiométrica (Cavalcanti, 1975), que são rotineiramente aplicados no Departamento de Produção de Imagens (DPE). O resultado da correção depende da exatidão, dos coeficientes de ganho e do "offset" dos detectores. Stevenson (1975), com imagens de 1975 ou de anos anteriores, acha que os coeficientes, com os dados fornecidos pela NASA, não podem ser calculados corretamente; em consequência, a calibração do nível digital versus a radiância está errada. Ele prefere utilizar uma abordagem estatística, com a leitura dos níveis de cinza em áreas de águas bem escuras. Com estas distribuições de valores de nível digital por faixa, calculam-se os novos coeficientes para cada faixa do MSS, e corrigem-se os dados dos 6 detectores.

Atualmente, as fitas CCT e as imagens fotográficas produzidas pelo DPI do INPE apresentam muito pouco "stripping" devido a modificações introduzidas nos programas de correção radiométrica.

Como, neste trabalho, foram utilizadas imagens de 1975, ainda com problemas de correção radiométrica, aplicou-se o programa SENCOR produzido no Laboratório de Interpretação Automática de Imagens do INPE. Este programa é semelhante ao proposto por Cavalcanti (1975), e opera da seguinte maneira: primeiro adquire histogramas de distribuição de tons de cinza da imagem em cada faixa; segundo, para cada uma delas é feita a equalização dos histogramas dos sensores de forma não-linear, gerando uma tabela de correção que se aplicará a toda a imagem. Desta maneira elimina-se, de início, uma fonte de variação dos dados que permite obter, com os dados de campo, regressões de maior eficiência.

A nova imagem com ruído e "stripping" corrigida é gravada em outra fita para ser usada em três operações: a) leitura dos tons de cinza de imagem, sem processamentos; b) correções radiométricas ou outros processamentos que serão testados no computador BURROUGHS 6700 do INPE; e c) geração de imagens fotográficas ampliadas, com o objetivo de localizar os pontos de coleta de amostras.

### Passo 3

Uma vez obtida uma imagem de qualidade razoável, utiliza-se um programa denominado CONTRAST STRETCHING, cuja função é aumentar o contraste e, assim, obter imagens visualmente mais definidas. Este programa incrementa o intervalo dinâmico da escala de tons de cinza até 255 unidades através da regressão linear. Todos os tons de cinza superiores ao limite superior escolhido pelo intérprete passam a 255, e os menores que o limite inferior passam a 0. Decidiu-se aumentar o contraste da imagem sobre a água, o que faz com que as áreas continentais das imagens coloridas compostas adquiram tonalidades muito claras.

#### Passo 4

O sistema IMAGE-100 conta com uma aparelhagem de geração de fotografias, através de um tubo colorido de raios catódicos, o qual reproduz a imagem armazenada na memória (sistema DICOMED). As imagens coloridas apresentadas neste trabalho foram geradas com este sistema.

#### Passo 5

Com a imagem colorida e os pontos de coleta de amostras plotados numa carta náutica, utilizando um transferidor óptico Zoom Transferscope, marca Bausch and Lomb, transferiu-se o local do ponto para a imagem. O transferidor é um sistema óptico que permite ao operador ajustar a informação cartográfica de um documento a outro em escalas diferentes, podendo o operador observar as duas cartas ao mesmo tempo. Como a foto colorida tinha referências para localizar, em coordenadas de imagem, qualquer ponto, foi possível localizar as posições de coleta com um erro de  $\pm 2$  "pixels".

#### Passo 6

Com os dados de coordenadas de coleta de cada ponto, extraíram-se da imagem, processada ou não, os tons de cinza médios de cada faixa, em áreas de  $6 \times 6$  "pixels" ao redor do ponto de coleta. Isto evita a presença de variação devido à sensibilidade diferente dos 6 detectores e os possíveis erros de posicionamento das amostras. Tais erros podem ser da ordem de 2 a 3 "pixels" (100 a 250 m), em virtude do erro do operador ao localizar a embarcação na carta náutica. Isto ocorre por não se utilizarem bóias fixas, e por ser a localização feita pela interseção visual de pontos notáveis.

Visto que os contatos entre tipos de água raramente são nítidos, os processos de mistura na horizontal são bem mais eficientes do que na vertical (NASA, 1971), o fato de tomar os valores de cinza

em espaço de 6 x 6 "pixels", raramente estará influenciado por um tipo de água muito diferente da coletada e observada no local.

Passos 7, 8 e 9

Na imagem gravada que sofreu os processamentos descritos no Passo 2, foram feitos diversos processamentos para gerar novos tons de cinza. Os processamentos testados são feitos através de programas de "software" e "hardware" do sistema IMAGE-100, e do BURROUGHS 6700. Eles são:

- a) Razão entre os tons de cinza de faixas adjacentes do MSS (opção denominada RATIO no I-100 e símbolo R nas Tabelas VI.1 a VI.10).

$$\text{Exemplo: } \frac{\text{MSS 4}}{\text{MSS 5}}, \frac{\text{MSS 5}}{\text{MSS 6}}, \frac{\text{MSS 6}}{\text{MSS 7}}$$

- b) Razão entre a subtração e a soma de faixas adjacentes do MSS (opção DIFF/SOM do I-100 e símbolo D/S nas Tabelas VI.1 a VI.10).

$$\text{Exemplo: } \frac{\text{MSS 4} - \text{MSS 5}}{\text{MSS 4} + \text{MSS 5}},$$

- c) Razão entre uma faixa e o somatório das 4 faixas do MSS (opção NORM do I-100, símbolo N nas Tabelas VI.1 a VI.10).

$$\text{Exemplo: } \frac{\text{MSS 4}}{\text{MSS 4} + \text{MSS 5} + \text{MSS 6} + \text{MSS 7}}$$

- d) Algoritmos de contraste obtidos pela razão de cada "pixel" em cada faixa, e um tom de cinza médio de um alvo padronizado; a reflectância desta alvo não muda com o tempo: concreto, areia, etc. O símbolo usado nas Tabelas VI.1 a VI.10 é C.

- e) Modulação de contraste obtida pela razão entre a subtração e o somatório dos tons de cinza de cada "pixel", em relação ao alvo padrão. O símbolo usado nas Tabelas VI.1 a VI.10 é MC.
- f) Subtração dos tons de cinza médios da área mais escura da imagem, operação esta feita em todas as faixas e "pixels". O símbolo utilizado nas Tabelas VI.1 a VI.10 é NC.

#### Passo 10

Para eliminar de maneira racional os efeitos atmosféricos, foi aplicado o programa de computação ATA de Morimoto (1980). Antes de executar este programa, é necessário conhecer a transmitância do ar no mesmo local, no dia e hora da passagem do satélite. Isto é feito através do programa LOWTRAN 3. Os dados de entrada este programa podem ser os perfis teóricos de umidade, pressão e temperatura, ou os colhidos por radiossondas no local. Preferiu-se usar a radiossondagem que é recebida diariamente no aeroporto do Galeão às 7 horas da manhã (Tabelas V.2 e V.3). Os dados foram coletados nos arquivos do DPV, no aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro. Para evitar certos problemas de cômputo do programa LOWTRAN, os perfis usados nunca atingiram umidade menor que 1%.

#### Passo 11

O programa LOWTRAN 3 é utilizado para calcular a transmi tância da atmosfera na região espectral de 0,25 a 28,5  $\mu\text{m}$ , com uma resolução espectral de 0,05  $\mu\text{m}$  (Selby e McClatchey, 1975). Podem-se usar, como dados de entrada, modelos diferentes de atmosfera para todas as variações longitudinais e latitudinais, podendo calcular distâncias entre 0 e 100 km. Leva-se em conta a absorção e espalhamento molecular, a extinção da luz pelos aerossóis, a refração e o efeito de curvatura da Terra.

TABELA V.2

PERFIS DE RADIOSSONDAGEM USADOS NO PROGRAMA LOWTRAN PARA

24/02/75 NO AEROPORTO DO GALEÃO

ALTITUDE (10 <sup>3</sup> m)	PRESSÃO (mb)	TEMPERATURA (° C)	UMIDADE (%)
0	1028	26,1	85
0,042	1006	26,5	85
0,28	980	24,3	81
0,46	963	27,0	55
3,67	660	5,6	93
4,64	586	0,2	81
4,85	570	0,1	53
5,15	550	- 1,3	68
5,43	530	- 2,9	20
5,89	500	- 3,3	10
8,40	360	- 21,3	10
10,71	260	- 40,0	10
10,88	254	- 39,7	1
14,72	140	- 67,7	1
15,14	130	- 65,5	1
16,52	103	- 75,1	1
16,71	100	- 73,5	1
17,15	93	- 76,5	1
18,56	73	- 73,5	1
19,93	58	- 62,9	1
23,10	35	- 58,7	1
27,02	19	- 43,5	1
28,37	15,6	- 45,1	1
29,72	12,8	- 42,0	1
31,74	9,5	- 42,0	1

FONTE: DPV.

TABELA V.3

PERFIS DE RADIOSSONDAGEM USADOS NO PROGRAMA LOWTRAN PARA  
24/05/75 NO AEROPORTO DO GALEÃO

ALTITUDE (10 <sup>3</sup> m)	PRESSÃO (mb)	TEMPERATURA (° C)	UMIDADE (%)
0	1040	16,8	86
0,042	1023	16,2	93
0,5	970	14,0	75
0,65	950	12,8	80
1,22	890	8,4	93
1,45	865	8,0	50
1,66	843	6,0	78
1,89	820	4,8	53
2,30	780	2,0	78
2,50	750	1,0	55
2,89	725	0,1	35
3,16	700	0,1	15
3,59	665	4,0	10
3,70	650	2,5	10
4,08	625	0,1	10
4,34	605	- 0,2	10
6,50	500	- 10,5	10
8,28	360	- 28,0	10
8,90	330	- 33,7	10
9,10	320	- 34,0	10
9,79	290	- 40,0	10
11,62	220	- 55,0	1
12,73	185	- 56,3	1
15,63	115	- 76,3	1
16,44	100	- 69,0	1

FONTE: DPV.

Neste caso utilizaram-se os dados de radiossondagem, pois esta é feita no mesmo dia, comentando-se menores erros com estimativas do que com modelos teóricos. Além do mais, estes modelos foram desenvolvidos para o Hemisfério Norte com intensivas pesquisas nas latitudes médias e altas; para a área tropical, a deficiência de pesquisas teóricas é grande e, portanto, os modelos teóricos podem ser ainda mais falhos.

### Passo 12

Quando se aplica o programa LOWTRAN aos dados do dia 24/05/75, revela-se que as estimativas de transmitância são de valores muito baixos. Ao entrar com estes dados no programa ATA e gerar uma nova imagem corrigida, esta aparece totalmente escura, confirmando as suspeitas de que o programa LOWTRAN calcula valores muito baixos. No Capítulo VI, discutir-se-á detalhadamente este problema.

Os dados simultâneos aos da imagem de 24/02/75 indicaram que os parâmetros de radiossondagem foram suficientes para um cálculo mais correto da transmitância atmosférica. A imagem corrigida ficou visualmente muito mais definida; através dela, distinguem-se melhor as tonalidades resultantes e realçam-se, em função da qualidade da água, os diferentes tipos de água (Figura V.16).

Os resultados da transmitância total, os decorrentes dos aerossóis e das moléculas geradas pelo programa LOWTRAN são apresentados na Tabela V.4 para as datas consideradas nas análises realizadas.

Além dos dados do Passo 12, para corrigir a imagem são necessários dados sobre o dia, hora, latitude, longitude e albedo médio da imagem.

### Passo 13

Para as imagens utilizadas, os dados mencionados são os da Tabela V.5.



Fig. V.16 - Comparação entre as imagens originais e as processadas pelo programa ATA, no sobrevôo de 24/02/75.

TABELA V.4

TRANSMITÂNCIAS CALCULADAS PELO PROGRAMA LOWTRAN 3

DATA DE SOBREVÔO	FAIXA DO MSS	TRANSMITÂNCIA TOTAL (%)	TRANSMITÂNCIA DEVIDA AOS AEROSSÓIS	TRANSMITÂNCIA MOLECULAR (%)
24/02/75	MSS 4	0,2700	0,6815	0,7840
	MSS 5	0,3600	0,7200	0,8290
	MSS 6	0,6000	0,7500	0,9340
	MSS 7	0,6660	0,7921	0,9703
24/05/75	MSS 4	0,0600	0,0570	0,1177
	MSS 5	0,0255	0,0862	0,3291
	MSS 6	0,0555	0,1192	0,5345
	MSS 7	0,1277	0,1736	0,7841

TABELA V.5

DADOS DE ENTRADA DO PROGRAMA ATA

DATA DE SOBREVÔO	DIA (JULIANO)	HORA (GMT)	LATITUDE	LONGITUDE	ALBEDO MÉDIO DA IMAGEM
24/02/75	55	12	22° 47' S	43° 10' W	MSS 4 - 0,1055 MSS 5 - 0,1433
24/05/75	144	12	22° 47' S	43° 10' W	MSS 6 - 0,1724 MSS 7 - 0,1974

#### Passo 14

Com as informações dos Passos 12 e 13, podem-se fazer as correções dos dados de vídeo do MSS nas fitas CCT. Para isso, aplicou-se o programa ATA (Morimoto, 1980) que dá como resultado uma nova imagem, na qual os efeitos atmosféricos são atenuados (Seção 4.3.2). Na elaboração do mencionado programa de correção radiométrica, considerou-se que:

- a) A superfície refletora terrestre é de comportamento lambertiano.
- b) O ângulo de varredura do imageador do MSS é tão pequeno ( $11^{\circ} 56'$ ), que o sinal recebido para um mesmo tipo de alvo, nas bordas da imagem, é semelhante ao do centro, não sendo afetado por caminhos ópticos muito diferentes.
- c) No cálculo das radiâncias refletidas não se considera o ângulo de visada com relação ao nadir.
- d) Não se utilizaram os dados de calibração de radiância máxima fornecidos pelos manuais da NASA. Estes dados, expressos em  $mW/cm^2 \cdot sr$ , são de 2,48 para o MSS 4, 2 para o MSS 5, 1,78 para o MSS 6, e 4 para o MSS 7. Os dados mencionados são substituídos pelos dados gerados por uma regressão linear entre o nível de cinza e a radiância calculada. Considera-se nível de cinza de 255 a radiância máxima que o satélite pode receber nesse dia, sendo 0 a mínima. O símbolo usado nas Tabelas VI.1 a VI.10 é ATA.

#### Passo 15

As análises de regressão foram feitas através de dois modelos: o linear ou não-linear. No primeiro caso, utilizou-se a equação de uma reta:

$$y = a + bx \quad (V.1)$$

em que:

$y$  = parâmetro de qualidade da água;

$x$  = nível digital de cinza.

No segundo caso, utilizou-se uma equação do tipo:

$$y = a + b + \log x \quad (V.2)$$

Para a análise de regressão, considerou-se como variável independente  $X = \log x$ , sendo que os cálculos foram feitos como numa análise de regressão linear simples.

As Tabelas VI.1 a VI.10 apresentam os resultados das regressões.

Os índices do grau de correlação entre as variáveis  $x$  e  $y$  são dados pelo coeficiente de correlação, calculados por:

$$r = \frac{b_{\rho_x}}{\rho_y} \quad (V.3)$$

sendo que  $\rho_x$  e  $\rho_y$  são os desvios padrão das variáveis  $x$  e  $y$ , respectivamente.

Também foi calculado o erro médio das estimativas, para ter uma estimativa da precisão que se pode ter nos cálculos de qualidade da água, a partir do nível digital de cinza. Este erro é dado por:

$$s = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N y_i^2 - a \sum_{i=1}^N y_i - b \sum_{i=1}^N x_i y_i}{N - 2} \right]^{1/2} \quad (V.4)$$

Para apresentar os resultados e estudar a validade destes, faz-se uma análise dos valores dos coeficientes de correlação por data de sobrevôo e por parâmetro de qualidade da água envolvido. A discussão se baseou no fato de que, de cada 20 amostras no Universo, uma está errada; portanto existe um valor mínimo do coeficiente de correlação que pode ser conseguido ao acaso (Ezequiel e Fox, 1967). Este coeficiente está envolvido no coeficiente total calculado e será menor ou maior, conforme se utilizem maior ou menor número de amostras. Na Figura V.17 fica expresso o coeficiente verdadeiro de correlação para um dado número de amostras e para o coeficiente calculado. Plotou-se somente o número de amostras utilizado para o sobrevôo de 24/02/75 (5 amostras) e de 24/05/75 (11 amostras). Observe-se que, para obter uma correlação verdadeira maior que 0, é necessário ter coeficientes de correlação calculados de 0,56 para 11 amostras, e 0,81 para 5 amostras.

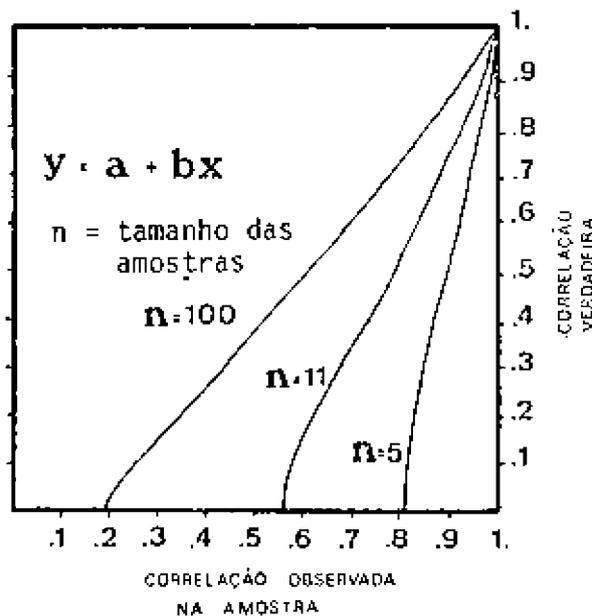


Fig. V.17 - Relação entre o coeficiente de correlação calculado e o verdadeiro, levando-se em consideração que, de cada vinte amostras no Universo, uma está errada.

FONTE: Ezequiel e Fox (1963), p. 294.

### Passo 16

A escolha dos melhores processamentos foi desenvolvida pela comparação dos coeficientes de correlação, sendo que os maiores coeficientes indicam melhor grau de ajuste entre os dados.

Finalmente, para analisar os resultados, seguem-se as linhas gerais da metodologia, proposta por Herz (1977). Segundo ele, a organização do espaço físico e o estudo de determinados fenômenos naturais, como as propriedades bio-físico-químicas da água, podem ser abordados pelos conceitos básicos de Análise de Sistemas. Para estudar um geossistema tão complexo como a Baía de Guanabara, necessário se faz uma coleta de dados dos mais diversos componentes ambientais, pois todos refletem-se nas propriedades da água. Com a imagem do sensor remoto, avalia-se apenas um fenômeno óptico, do qual se tenta extrair conclusões sobre os parâmetros reais da água. Como o fenômeno observado é instantâneo, e sendo consequência de sucessivas mudanças nos outros componentes do geossistema, devem-se conhecer, pelo menos aproximadamente, esses outros componentes antes da observação com sensor remoto. Apenas desta maneira, poder-se-á avaliar o que se está observando e, futuramente, diagnosticar o que aconteceu com os outros componentes do sistema, a partir da imagem produzida pelo sensor remoto. Sendo assim, reuniram-se neste trabalho as informações disponíveis sobre os componentes do geossistema estudado. Estes já foram descritos na Seção V.2. Com estes dados, deduz-se em que medida as regressões, entre dados de campo e imagem, têm alguma validade ou estão influenciadas por variações temporais entre a coleta de amostras e a imagem. Este tipo de estudos é de suma importância, pois permite conhecer, de forma mais completa, a organização e a dinâmica dos sistemas naturais em geral. No caso da qualidade da água, estes conhecimentos servirão como subsídios importantes no planejamento do desenvolvimento sócio-econômico ou na prevenção e controle dos danos sobre os corpos de água, associados a sistemas hidrográficos (Herz, 1977).



## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 6.1 - RESULTADOS

##### 6.1.1 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE REGRESSÃO ENTRE OS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA E O NÍVEL DIGITAL DE CINZA DO SENSOR DO MSS DO SATÉLITE LANDSAT

Antes de mais nada, há necessidade de apresentar os resultados esperados dos métodos convencionais e os obtidos com o método proposto neste trabalho.

Com os métodos convencionais de coleta de amostras de campo, nas datas em que se utilizou o MSS, obter-se-iam dados de parâmetros de qualidade da água em 14 posições em 25/02/75, 10 posições em 26/02/75, 13 posições em 22/05/75 e 8 posições em 23/05/75. Pode-se, assim, ter uma idéia aproximada da variação dos parâmetros nas condições de preamar e baixa-mar. Com os dados de sensoriamento remoto, em conjunto com os dados de campo, pode-se ampliar esta visão pontual para o resto da superfície de água, e obter extrapolações aceitáveis dos parâmetros. Utilizando-se as imagens do MSS do LANDSAT, obtêm-se extrapolações em 55000 pontos de imagens ("pixels") em forma sinótica, o que é impossível de ser feito com coleta convencional de campo. Mesmo considerando-se que as classificações dos tipos de água com sensores remotos sempre encerram alguma margem de erro, deve-se ressaltar que uma carta deste tipo, com a resolução geométrica esperada, é, em si, um documento valioso. Quanto menor for o grau de erro na classificação, maior será o valor deste documento; entretanto, a possibilidade de obter informações com este tipo de cartas sempre será maior que com cartas obtidas por outros métodos.

A seguir apresentam-se os resultados das análises de regressão. Para reduzir o espaço, quando houver menção dos processamentos testados, serão usados os símbolos das Tabelas VI.1 a VI.10, também definidos no Apêndice A.

TABELA VI.1

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR COM MEDIDAS  
DO DISCO DE SECCHI NO SOBREVÔO DE 24/05/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + BX$				
	A	B	r	s	
MSS	4	0,1228	0,0018	0,05	0,42
	5	1,3917	-0,0232	-0,17	0,42
	6	1,1315	-0,0266	-0,12	0,42
R	4/5	0,6046	0,1752	0,20	0,41
	5/6	0,7574	0,0680	0,10	0,42
	6/7	1,5143	-0,1096	-0,43	0,38
	4/6	0,5682	0,0566	0,24	0,41
	5/7	2,2931	-0,0789	-0,46	0,38
D/S	4-5	0,4365	1,5207	0,26	0,41
	5-6	0,6371	0,4707	0,07	0,42
	6-7	1,8009	-1,2461	0,25	0,41
	4-6	-0,3727	1,8021	0,23	0,41
	5-7	7,7401	-7,5811	-0,40	0,39
N	4	-1,2933	0,0150	0,24	0,41
	5	0,7606	0,0035	0,09	0,42
	6	1,5757	-0,0262	-0,39	0,39
C	4	1,0293	-0,0113	-0,02	0,42
	5	0,5293	0,0711	0,19	0,42
	6	0,7815	0,0143	0,16	0,42
MC	4	1,3328	-0,8097	0,21	0,37
	5	-0,2247	1,6693	0,17	0,42
	6	0,9438	0,0547	0,01	0,42
NC	4	0,9731	0,0018	0,05	0,42
	5	1,1593	-0,0229	-0,17	0,42
	6	1,0783	-0,0266	-0,12	0,42

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

TABELA VI.2

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR COM MEDIDAS  
DO DISCO DE SECCHI NO SOBREVÔO DE 24/02/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + BX$				
	A	B	r	s	
MSS	4	6,8016	-0,1383	-0,43	1,33
	5	45,3758	-0,1274	-0,53	1,25
	6	1,1127	0,0893	0,20	1,45
ATA	4	5,9353	0,0691	-0,52	1,26
	5	3,8730	0,1025	-0,64	1,14
	6	2,0126	-0,0816	-0,23	1,44
R	4/5	-9,8720	6,0818	0,75	0,98
	5/6	4,2041	-0,7643	-0,65	1,13
	6/7	-0,7125	4,1369	0,64	1,14
	4/6	3,7335	-0,3255	-0,53	1,26
	5/7	21,7706	-11,4705	-0,65	1,12
D/S	4-5	-6,2088	25,5769	0,72	1,02
	5-6	5,1307	-6,7673	-0,69	1,00
	6-7	3,0758	4,9483	0,61	1,17
	4-6	4,6500	-3,9918	-0,45	1,32
	5-7	13,6771	-44,2867	-0,65	1,13
N	4	-8,6829	0,0855	0,59	1,19
	5	19,7990	-0,2708	-0,98	0,31
	6	1,8736	-0,0079	-0,04	1,48
C	4	4,8082	1,0105	-0,96	0,39
	5	-3,2442	0,6298	0,66	1,11
	6	3,0208	-0,0611	-0,38	1,36
MC	4	-6,8000	15,0000	0,44	1,33
	5	-14,0044	20,4745	0,59	1,19
	6	8,8929	-8,0055	-0,27	1,42
NC	4	-2,4870	0,1383	0,43	1,33
	5	4,9823	-0,1874	0,53	1,25
	6	1,2143	0,0920	0,22	1,44
ATA NORM	4	-1,1869	0,0177	0,21	1,45
	5	0,2004	0,0131	0,57	1,21
	6	2,3940	-0,0545	-0,43	1,34

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

TABELA VI.3

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR COM MEDIDAS DO DISCO  
DE SECCHI NO SOBREVÃO DE 24/05/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + B \text{ LOG } X$				
	A	B	r	s	
MSS	4	0,7676	0,1428	0,04	0,42
	5	2,4599	-1,1960	-0,21	0,42
	6	1,2274	-0,3242	-0,11	0,43
R	4/5	0,5392	1,3551	0,24	0,41
	5/6	1,1617	-0,3082	-0,07	0,42
	6/7	1,8425	-1,2928	-0,44	0,38
	4/6	0,1905	0,9277	0,23	0,42
	5/7	4,7262	-3,0757	-0,44	0,38
D/S	4-5	1,6313	1,4410	0,27	0,41
	5-6	1,1518	0,5975	0,07	0,42
	6-7	0,6453	1,8177	-0,25	0,41
	4-6	1,3647	3,0583	0,23	0,41
	5-7	0,1828	-15,7941	-0,40	0,39
N	4	-10,3596	5,1966	0,24	0,41
	5	1,6628	-0,3208	-0,50	0,36
	6	2,7250	-1,2994	-0,38	0,39
C	4	0,7791	0,3007	0,47	0,37
	5	0,1779	1,0066	0,13	0,42
	6	0,5405	0,3938	0,14	0,42
MC	4	0,9307	-0,2115	-0,05	0,42
	5	0,7085	-1,9783	-0,12	0,42
	6	1,3468	5,9558	0,37	0,39
NC	4	1,0075	-0,0192	-0,01	0,42
	5	0,6568	0,3810	0,17	0,42
	6	1,1000	-0,2613	-0,16	0,42

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

TABELA VI.4

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR COM MEDIDAS  
DO DISCO DE SECCHI NO SOBREVÔO DE 24/02/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + B \text{ LOGX}$				
	A	B	r	s	
MSS	4	21,3449	-12,5540	-0,45	1,32
	5	14,3719	-9,8406	-0,59	1,19
	6	-0,0065	2,1765	0,31	1,40
ATA	4	2,6750	-0,4250	-0,34	1,39
	5	9,4105	-5,9282	-0,78	0,93
	6	2,1848	-1,0737	-0,28	1,42
R	4/5	-5,4199	25,5964	0,72	1,03
	5/6	4,4912	-5,6438	-0,68	1,09
	6/7	3,0586	5,3436	0,62	1,16
	4/6	4,8902	-4,1166	-0,50	1,28
	5/7	13,1894	-47,3459	-0,66	1,11
D/S	4-5	10,4336	17,0514	0,68	1,08
	5-6	-0,6679	-7,6957	-0,72	1,03
	6-7	-0,0162	-2,7266	-0,64	1,13
	4-6	0,7469	-6,9137	-0,45	1,32
	5-7	-14,7641	-29,9474	-0,67	1,10
N	4	3,4298	-0,7522	-0,26	1,43
	5	74,8778	-40,1147	-0,98	0,28
	6	2,2043	-0,3399	-0,12	1,47
C	4	-4,3321	10,7884	0,40	1,35
	5	0,9443	1,0954	0,35	1,39
	6	4,5450	-2,1738	-0,31	1,40
MC	4	6,3195	18,6636	0,43	1,33
	5	1,5053	0,9934	0,99	0,17
	6	0,9719	-15,5535	-0,26	1,43
NC	4	2,4474	-0,6874	-0,45	1,32
	5	12,7371	-8,9305	-0,60	1,18
	6	0,4312	1,8646	0,33	1,40
ATA NORM	4	1,0956	0,0005	0,65	1,13
	5	22,9587	-12,3953	-0,92	0,59
	6	3,0337	-1,3504	-0,39	1,36

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

TABELA IV.5

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR COM DETERMINAÇÕES  
DE CLOROFILA "a" NO SBREVÃO DE 24/02/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + BX$				
	A	B	r	s	
MSS	4	-275,9225	8,4934	0,96	11,13
	5	-149,6391	9,5235	0,93	7,20
	6	-25,1072	9,1468	0,79	73,15
ATA	4	-181,1873	3,5631	0,97	9,8
	5	-52,6583	4,2359	0,95	12,46
	6	1,4958	9,6573	0,98	8,43
R	4/5	401,6547	-191,7674	-0,85	21,25
	5/6	75,9174	-12,2374	-0,38	37,39
	6/7	-6,8957	73,2002	0,41	37,20
	4/6	90,1789	-8,7347	-0,51	35,04
	5/7	-219,0355	145,9848	0,30	38,88
D/S	4-5	291,9974	-825,3269	-0,84	21,93
	5-6	82,3427	-91,6602	-0,34	38,32
	6-7	34,3798	16,0561	0,15	40,32
	4-6	117,6333	-111,0182	-0,45	36,37
	5-7	-106,9733	530,0714	0,28	39,12
N	4	141,3513	-0,8652	-0,22	39,79
	5	-108,4853	2,1600	0,28	39,09
	6	-55,7153	-4,7026	0,90	17,46
C	4	348,3028	-85,3820	-0,93	15,04
	5	231,1073	-24,5481	-0,95	13,20
	6	94,3004	-2,7305	-0,62	31,87
MC	4	265,0903	-389,3440	-0,74	27,35
	5	747,1122	-125,7372	-0,97	9,82
	6	591,1123	-608,2213	-0,74	27,55
NC	4	-10,9584	8,4934	0,96	11,13
	5	-129,6397	9,5235	0,98	7,20
	6	-14,1209	9,1461	0,79	25,07
ATA NORM	4	320,9442	-1,7377	-0,73	27,62
	5	-95,2107	2,4986	0,73	28,08
	6	17,1865	1,5344	0,43	36,73

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

TABELA VI.6

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR COM DETERMINAÇÕES  
DE CLOROFILA "a" NO SOBREVÃO DE 24/05/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + BX$				
	A	B	r	s	
MSS	4	15,5714	0,1029	-0,16	8,68
	5	18,0124	-0,1756	-0,32	8,33
	6	9,5611	0,2209	0,20	8,62
R	4/5	19,9689	-3,7219	-0,19	8,63
	5/6	2,3708	2,6240	0,20	8,62
	6/7	16,2326	-0,9349	-0,18	8,64
	4/6	-0,3502	1,7489	0,51	7,57
	5/7	14,9621	-0,2014	-0,06	8,79
D/S	4-5	20,1471	-22,6845	-0,19	8,63
	5-6	-2,8836	26,3844	0,20	8,61
	6-7	23,0474	-15,3828	-0,55	7,58
	4-6	2,6151	11,7386	0,07	8,77
	5-7	-49,8025	69,0227	0,20	8,62
N	4	-19,4904	0,2032	0,18	8,65
	5	29,8807	-0,2817	-0,38	8,14
	6	9,1078	0,1146	0,09	8,75
C	4	4,1048	2,2247	0,18	8,65
	5	9,6473	0,2995	0,04	8,78
	6	9,1999	0,1588	0,09	8,75
M/C	4	4,8028	12,8773	0,16	8,68
	5	-8,4050	27,4004	0,16	8,16
	6	-17,2930	33,4130	0,19	8,63
N/C	4	12,7015	-0,1029	-0,16	8,68
	5	13,4995	-0,2639	-0,10	8,75
	6	14,1307	-0,8083	-0,19	8,63

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

TABELA VI.7

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR COM DETERMINAÇÕES  
DE CLOROFILA "a" NO SOBREVÃO DE 24/02/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + B \text{LOG} X$				
	A	B	r	s	
MSS	4	-1116,8278	737,5533	0,96	12,05
	5	-533,1119	443,1633	0,97	9,90
	6	-72,1722	136,5484	0,71	28,69
ATA	4	-872,6168	510,2025	0,96	11,95
	5	-199,6393	177,9105	0,77	28,45
	6	-9,8711	106,3020	0,99	6,59
R	4-5	275,1984	-875,0036	-0,87	20,03
	5-6	76,9699	-83,1400	-0,36	38,02
	6-7	60,8653	93,6740	0,41	37,15
	4-6	133,4584	-125,3623	-0,56	33,86
	6-7	-112,4028	613,2153	0,31	38,75
D/S	4-5	-270,0163	-599,1260	-0,87	20,38
	5-6	7,0335	-93,8232	-0,32	38,65
	6-7	4,5038	-49,6873	-0,42	36,94
	4-6	6,7065	-209,1513	-0,49	35,48
	5-7	239,1931	356,5685	0,30	38,92
N	4	515,8035	-230,7603	-0,21	39,89
	5	-571,7922	333,3514	-0,30	38,94
	6	-259,5603	232,4390	0,87	19,81
C	4	-23,4867	77,3961	0,94	13,39
	5	430,6774	-422,6393	-0,97	9,88
	6	213,6367	-136,5774	-0,71	28,66
MC	4	-259,9401	-1194,2787	-0,97	10,13
	5	-134,6970	-1442,2314	-0,87	20,39
	6	-24,0682	-1251,9470	-0,75	27,10
NC	4	-34,5135	107,3940	-0,91	16,60
	5	-452,1630	395,8258	0,97	10,25
	6	-38,6602	108,2289	0,69	29,42
ATA FORM	4	1512,7389	-667,2000	-0,75	26,94
	5	-396,4738	252,5661	0,68	29,18
	6	-8,6079	21,7729	0,46	36,11

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

TABELA VI.8

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR COM DETERMINAÇÕES DE CLOROFILA "a" NO SOBREVÃO DE 24/05/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + B \text{ LOGX}$				
	A	B	r	s	
MSS	4	13,3505	-1,1097	-0,02	8,79
	5	21,3514	-7,9436	-0,07	8,77
	6	17,0555	-7,9503	-0,15	8,70
R	4/5	18,7241	-20,5909	-0,18	8,64
	5/6	-0,5758	-22,5381	0,21	8,59
	6/7	17,2067	-8,2880	0,14	8,71
	4/6	9,2439	2,6915	0,03	8,79
	5/7	16,6673	-4,1495	-0,03	8,79
D/S	4-5	7,2540	-7,5631	-0,07	8,17
	5-6	20,5323	33,9495	0,21	8,59
	6-7	8,9481	14,6212	-0,15	8,69
	4-6	14,3992	24,0163	0,08	8,75
	5-7	18,7945	141,2392	0,19	8,62
N	4	-142,9320	70,7452	0,18	8,65
	5	95,8900	-46,6546	-0,41	8,00
	6	4,7935	5,1577	0,08	8,76
C	4	5,0958	12,6042	0,17	8,66
	5	5,5110	7,5114	0,07	8,77
	6	18,6145	-7,1359	-0,33	8,28
MC	4	11,6199	-0,1200	-0,01	8,79
	5	18,0864	47,2358	0,15	8,69
	6	15,8246	66,3095	0,19	8,62
NC	4	15,5174	-4,4924	-0,18	8,65
	5	12,5648	-1,1468	-0,03	8,79
	6	12,9779	-3,1923	-0,10	8,75

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

TABELA VI.9

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR COM DETERMINAÇÕES  
DE SALINIDADE NO SOBREVÃO DE 24/05/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + BX$				
	A	B	r	s	
MSS	4	28,9700	0,0398	0,50	0,84
	5	28,2313	0,1306	0,43	0,87
	6	29,4495	0,1982	0,39	0,89
R	4/5	28,8704	0,7389	0,32	0,91
	5/6	32,1231	-0,4777	-0,31	0,92
	6/7	29,7593	0,1707	0,29	0,92
	4/6	30,6519	-0,0235	0,04	0,96
	5/7	29,4780	0,0609	0,15	0,95
D/S	4-5	28,3915	5,6550	0,39	0,88
	5-6	33,2581	-5,1291	-0,34	0,91
	6-7	30,1537	1,9064	0,05	0,96
	4-6	33,0951	-3,4328	-0,15	0,96
	5-7	20,5834	11,1354	0,26	0,93
N	4	37,8786	-0,0347	-0,23	1,00
	5	27,5561	0,0447	0,52	0,83
	6	29,9821	0,0225	0,15	0,95
C	4	33,2268	-0,8070	-0,53	0,82
	5	30,7712	-0,0476	-0,08	0,96
	6	31,5386	-0,0722	-0,36	0,90
MC	4	33,1398	-4,9686	-0,50	0,83
	5	37,4079	-9,5089	-0,43	0,87
	6	32,3211	-2,1052	0,11	0,96
NC	4	30,0942	0,0396	0,50	0,83
	5	29,6015	0,1193	0,41	0,88
	6	30,0567	0,1575	0,29	0,98

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

TABELA VI.10

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR COM DETERMINAÇÕES  
DE NH<sub>3</sub> NO SOBREVÃO DE 24/05/75

X	COEFICIENTES DE $Y = A + BX$				
	A	B	r	s	
MSS	4	227,1589	-1,6774	-0,13	153,47
	5	93,2085	4,0945	0,08	154,27
	6	160,5161	0,6296	0,01	154,81
R	4/5	371,8652	-0,2642	-0,26	149,32
	5/6	402,5599	-74,0281	-0,31	147,39
	6/7	-32,6134	36,8467	0,52	132,59
	4/6	279,7232	-15,5085	-0,18	152,26
	5/7	69,6569	7,6543	0,12	145,31
D/S	4-5	323,8289	-346,4641	-0,18	143,96
	5-6	-420,0282	1177,7560	0,48	128,41
	6-7	612,4347	-613,1618	-0,31	139,39
	4-6	-136,7722	452,7254	0,16	144,48
	5-7	-516,5193	802,3611	0,12	145,30
N	4	-22,3401	2,9165	0,14	145,00
	5	450,4104	-3,7914	-0,33	138,42
	6	219,7789	-0,8193	-0,05	156,35
C	4	-42,0402	73,3986	0,34	137,86
	5	1,6559	32,2404	0,24	142,01
	6	0,9461	14,9508	0,44	131,80
MC	4	-26,2401	431,8794	0,32	138,79
	5	-499,5667	973,4790	0,22	182,84
	6	495,7736	-341,4188	-0,13	145,20
NC	4	237,5937	-3,2914	-0,30	139,76
	5	296,1556	-11,7844	-0,26	141,54
	6	309,3985	-29,5244	-0,37	135,76

OBS.: Os símbolos utilizados para os processamentos estão explicados na Seção 5.4.

Para os coeficientes de correlação calculados por regressão linear no sobrevôo de 24/02/75, com o parâmetro de medida de disco de Secchi, conseguiu-se uma correlação verdadeira maior que zero, processando-se o MSS 5 com N e o MSS 4 com C. A regressão não-linear deu coeficientes maiores com os valores originais de tons de cinza, indicando que deve existir uma relação curvilínea que satisfaça melhor os dados. Esta regressão não-linear apresentou coeficientes maiores quando se utilizou o MSS 5 processado com N, MC e ATA NORM. Com os dados de determinação de clorofila "a" e de análise linear, obtiveram-se excelentes resultados, sendo que as faixas do MSS 4, MSS 5 e MSS 6 apresentaram altos coeficientes de correlação (0,96, 0,98 e 0,79, respectivamente). A Figura VI.1 apresenta uma destas regressões. O processamento ATA mostrou que estas altas correlações foram incrementadas ainda mais, passando os coeficientes para 0,97, 0,95 e 0,98 para o MSS 4, MSS 5 e MSS 6, respectivamente. Os coeficientes de correlação obtidos com a regressão não-linear foram semelhantes, embora os processamentos do MSS 6 com o ATA tenham sido a regressão com coeficientes de correlação mais alto conseguido neste trabalho (0,99). Neste caso, provavelmente foi obtida uma correlação maior que 0,81, por artifício no cálculo, visto que a correlação original era de 0,71.

Os coeficientes de correlação verdadeiros obtidos com os dados do sobrevôo de 24/05/75, para as medidas de disco de Secchi e para determinações de clorofila "a" foram próximos a zero, em virtude de os dados desta data não se correlacionarem bem. Com os dados de salinidade obtiveram-se coeficientes maiores que os mencionados; esta variável se correlaciona melhor com os dados de MSS e, mais ainda, com os dados do MSS 4 processados com C. Os dados do MSS 5 melhoraram com os processamentos N e MC, o que indica a existência de algum grau de correlação entre a salinidade e os dados do MSS 4 e MSS 5. Com os valores de amônia não se obtiveram coeficientes de correlação maiores que zero, mas os coeficientes com os dados originais melhorariam se fossem aplicados os processamentos R 5/6, R 6/7, D/S, C e MC.

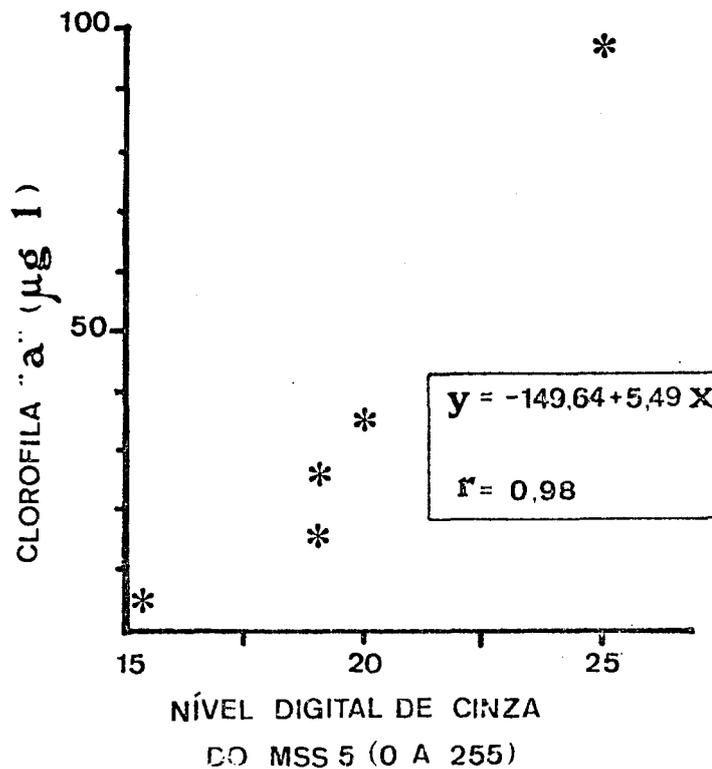


Fig. VI.1 - Regressão linear entre os dados de campo de teor de clorofila "a" e o nível digital de cinza do MSS 5.

Existem vários coeficientes obtidos nos processamentos não-mencionados até o momento, com os quais se consegue obter um coeficiente de correlação melhor do que com os dados não-processados. Analisando-se as Tabelas VI.1 a VI.10 pode-se observar que, para o parâmetro de disco de Secchi, os melhores processamentos foram: R 6/7, R 5/7, D/S 4-5, D/S 6-7 e D/S 5-7; em segundo lugar, seguem-se: R 4/6, D/S 4-6, N 4, N 5, C 6 e MC 4. Para o parâmetro de clorofila "a", os melhores foram R 4/5, D/S 6-7, D/S 4-6 e N 5 e, em segundo lugar, R 4/6, N 4 e C 4.

De maneira geral, observou-se que a análise de regressão não-linear, para o sobrevôo de 24/02/75 e com medida de disco de Secchi, satisfaz melhor os dados observados que a regressão linear. No caso de clorofila "a", na mesma data, ocorre o contrário: a regressão linear apresentou maiores coeficientes de correlação.

Com relação ao erro-padrão das estimativas, pode-se ver que, também com os dados do sobrevôo de 24/02/75 e com medida de disco de Secchi, o valor mínimo atingido foi de 0,17 m. Este é um valor excelente, considerando-se que o erro de medida direta na água pode ser da mesma ordem de grandeza. Com as determinações de clorofila "a" obteve-se, para o MSS 5, um erro médio de 7,2 g/ℓ em regressão linear; com os dados do MSS processados por ATA, o erro médio da regressão não-linear foi de 6,5 g/ℓ. A precisão destas estimativas de clorofila é compatível com o método de determinação, precisão esta válida para teores maiores que 10 g/ℓ. Para valores menores que o anterior, devem-se utilizar métodos mais precisos, como a fluorometria in situ.

A regressão entre os dados de clorofila "a" e os tons de cinza da imagem do dia 24/02/75 apresentou alto coeficiente de correlação. Este resultado pode ser devido ao fato de os diferentes teores de clorofila "a" encontrados nas amostras terem tido uma variação grande; nas outras regressões, tanto os valores de clorofila "a" como os de disco de Secchi oscilaram entre valores mais próximos.

#### 6.1.2 - CARTA DE TEORES DE CLOROFILA NAS ÁGUAS DA BAÍA DE GUANABARA

Para ilustrar melhor os resultados que podem ser conseguidos com sensores remotos no estudo da qualidade da água, faz-se uma classificação das águas da baía e do mar adjacente na imagem do MSS 4 de 24/02/75 (Figura VI.2). Processada com a aplicação do programa ATA, a classificação foi obtida atribuindo-se uma cor a um determinado intervalo de tons de cinza que correspondem, por regressão linear, a um determinado intervalo de teores de clorofila. Nestas estimativas, tem-se um erro médio de 12,05 µg/ℓ.

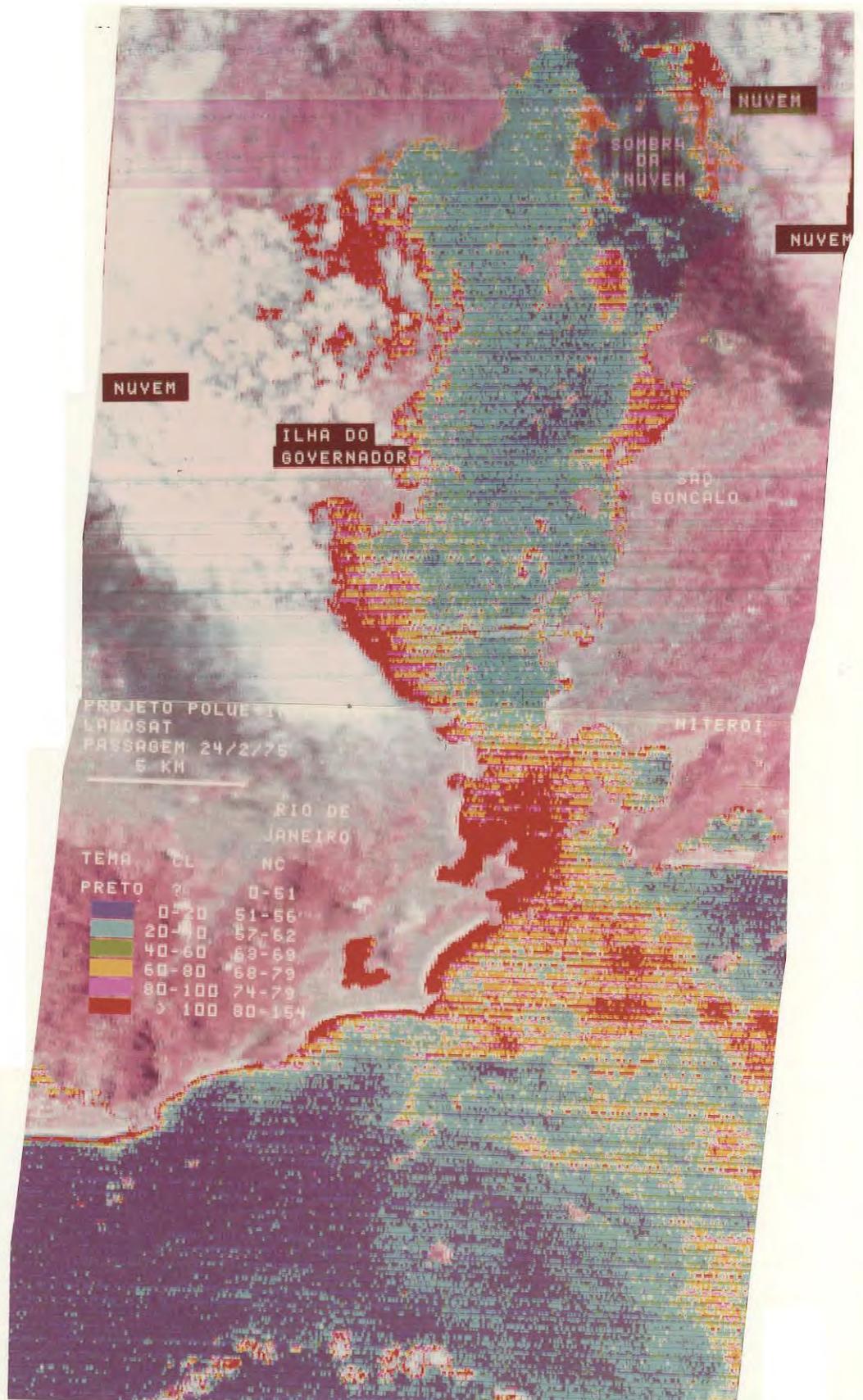


Fig. VI.2 - Classificação do teor de clorofila "a", em 24/02/75, das águas da Baía de Guanabara, através de dados de vídeo do MSS 4, processados pelo programa ATA.

CN = tons de cinza do MSS 4. CL = teor de clorofila "a" em microgramas/l.

Na Figura VI.3 podem-se apreciar os diferentes tipos de água, como manchas bem definidas. As praias do Rio de Janeiro e a Lagoa Rodrigo de Freitas são os locais que apresentam maiores teores de clorofila, visto que, nessa época, ainda não funcionava o emissário sub-marino de Ipanema, e todo o esgoto da Zona Sul era despejado nas proximidades. Assim as manchas com teores altos de clorofila estendem-se até 40 km do litoral.

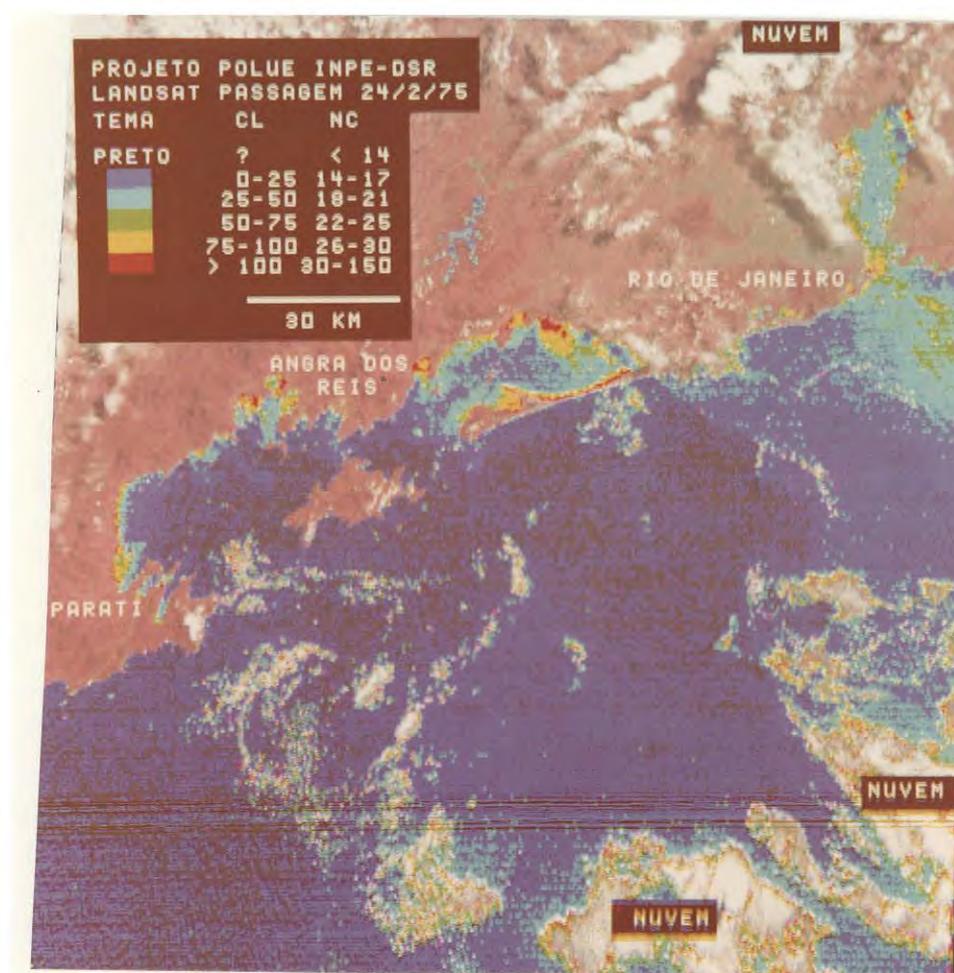


Fig. VI.3 - Classificação do teor de clorofila "a" das águas da Baía de Guanabara e do mar adjacente, através dos dados de vídeo do MSS 5.

CN = tons de cinza do MSS 5. CL = teor de clorofila "a" em microgramas/l.

O alto teor de clorofila, muitas vezes maior que o encontrado nas águas oceânicas adjacentes, é devido às fontes de nutrientes fornecidas pelos esgotos domiciliares; na imagem, podem-se ver claramente áreas com baixa densidade residencial, como as proximidades de Itaipu, cujos teores de clorofila são bem baixos. Os esgotos domiciliares, além de conter matéria orgânica, possuem quantidades altas de detergentes com fósforo, tornando a água muito rica em nutrientes essenciais para a biologia das algas e fungos. O enriquecimento das águas, quando confinadas, como acontece com a Lagoa Rodrigo de Freitas, causará problemas graves, devido ao consumo excessivo do oxigênio da água e à morte da fauna marinha que se encontra nela.

Atualmente, não havendo correntes que carreguem os esgotos da baía às praias de Copacabana, Ipanema e Leblon, estas devem apresentar menores teores de clorofila, devido à construção do emissário submarino. Notícias recentes dos meios de comunicação de massa indicaram que, no ano de 1979, o teor de coliformes tinha sido dos mais baixos dos últimos tempos. As imagens fornecidas pelos sistemas sensores de satélites podem vir a ser uma ferramenta útil para monitorar as condições sanitárias nas proximidades do emissário.

#### 6.1.3 - RESULTADOS ADICIONAIS: DETECÇÃO DE VEGETAÇÃO FLUTUANTE, BAIXOS FUNDOS, ÓLEO E EMBARCAÇÕES

Pela observação visual da imagem de 24/05/75 (Figura V.2) em falsa cor, foi possível observar algumas feições bem distintas, constatadas em trabalhos de campo.

A primeira característica é uma mancha de cor avermelhada na água, na região Noroeste da baía, localizada na divisa do fim do estirâncio com águas mais profundas. Este tipo de feição é de difícil interpretação, pois se fosse causada por vegetação sadia flutuante, apareceria também na faixa do MSS 7, fato este que não acontece. Verificou-se, posteriormente, numa viagem até o local, que se tratava de vegetação aquática do tipo de aguapé (*Eichhornia spp*), que é despejada pelos rios das proximidades e que, em contato com a água salgada, morre

lentamente, formando pequenas ilhotas semisubmersas. Devido à confluência de correntes de maré (Figura III.5), este tipo de vegetação forma, até a sua decomposição, as ilhotas mencionadas semisubmersas. Devido a este fato, a resposta na faixa do MSS 6 é fraca e, por estar submersa, não aparece no MSS 7.

A segunda característica é o aparecimento do fundo na mesma imagem mencionada, na faixa do estirâncio de lama da região Noroeste da baía. Em outras imagens de diferentes datas e com marés altas, não foi possível ver o fundo. A água estava tão rasa em 24/05/75, que foi possível observar o fundo até na faixa do MSS 7.

A terceira característica pode ser atribuída a óleo na superfície da água, nos canais que escoam os esgotos da refinaria Duque de Caxias e de indústrias próximas. Ela se apresenta como manchas de cor muito azulada, sendo as águas mais claras encontradas na imagem. Por observações feitas no local, constatou-se que estes canais estão comumente cobertos de dejetos flutuantes, provenientes das indústrias petroquímicas dos arredores. Não se pode dizer, com certeza, que se trata de óleo ou de seus derivadas pois, nesses canais, não se sabe até que ponto não há radiação proveniente dos fundos.

A quarta característica são os pontos amarelos ou azulados nas águas, a Este da Ilha do Governador, os quais são, sem dúvida, causados pela reflexão das estruturas metálicas dos barcos de grande porte, ancorados no local. Inclusive, é possível detectar os terminais de óleo e butadieno pelos barcos ancorados nos respectivos cais.

## 6.2 - DISCUSSÃO

### 6.2.1 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS REGRESSÕES

O que se pode deduzir, inicialmente, dos resultados conseguidos até o momento, é que existe a possibilidade de atingir altos graus de correlação entre os dados do MSS e certos parâmetros de quali

lidade da água, e que tais dados devem ser processados para atingir graus de correlação ainda mais altos. Tudo isto é válido com relação à Baía de Guanabara, pois a correlação empírica é de validade local. Noutros locais já se têm conseguido excelentes resultados, alguns dos quais serão vistos a seguir.

No Brasil, os resultados mais recentes são os atingidos por Saussen (no prelo), com análises de regressão entre os dados de disco de Secchi do reservatório da barragem de Três Marias e os dados do MSS do LANDSAT. Saussen (no prelo) obteve coeficientes de correlação de - 0,89 e de - 0,84 com os tons de cinza do MSS 4 e do MSS 5, respectivamente. Estes resultados podem ser considerados excelentes, inclusive porque somente 4 amostras foram coletadas no dia de sobrevôo (05/04/78); o restante delas foi coletado entre os dias 6 e 10 do mesmo período e no mesmo horário (9 h 30' a 12 h).

A principal diferença entre o reservatório anterior e a Baía de Guanabara é que o primeiro contém águas calmas e muito profundas, não havendo fortes correntes que lhe alterem a turbidez, de um dia para outro. Se, na Baía de Guanabara, se coletassem amostras simultâneas com o sobrevôo, obter-se-iam, certamente, resultados semelhantes aos conseguidos no mencionado reservatório.

Yarger e McCauley (1975), em reservatório de Kansas, coletaram amostras de água e mediram a profundidade do disco de Secchi simultaneamente com 18 sobrevôos do LANDSAT. Conseguiram regressões razoáveis com o Secchi, apesar da sua pequena variação de profundidade (de 0 a 1,2 m). Estes autores concluem que as razões entre canais se correlacionam com águas de alta turbidez como as mencionadas.

Bowker e Witte (1973), ao testar operações entre faixas do MSS para analisar a operação que melhor se ajusta com os dados de quantidade de sólidos em suspensão, encontram certos coeficientes altos de correlação. Usaram dados digitais do MSS de 5 sobrevôos com 17, 8, 7, 33 e 33 amostras, respectivamente; estas amostras foram colhidas

entre meia hora antes e meia hora depois da passagem do satélite pelo local. As três primeiras campanhas de coleta, durante as quais mediram-se: a profundidade da água, o teor de partículas em suspensão, o teor de clorofila "a", "b" e "c", o teor de carotenóides, e o teor de clorofila total, foram feitas de helicóptero. As duas últimas campanhas, durante as quais mediram-se: a profundidade da água, o teor de sedimentos, e a atenuação da luz, foram feitas de barco. Bowker e Witte (1973) encontraram, para a clorofila total, uma correlação máxima de 0,89, mas admitiram ser correlações pouco satisfatórias, devido às mudanças de sentido da reta de regressão. Os intervalos de variação do teor de clorofila oscilam de 0 a 280  $\mu\text{g}/\ell$  no local, valores estes semelhantes aos encontrados na Baía de Guanabara. Os sedimentos se correlacionam muito bem com o tom de cinza do MSS 4 ( $r = 0,93$ ) e com o processamento do tom de cinza do MSS 5 - MSS 7 ( $r = 0,95$ ); com dados coletados em outro período, conseguiram  $r = 0,93$  com o MSS 5 e  $r = 0,96$  com o MSS 5/MSS 4.

Pode-se concluir que, na Baía de Guanabara, apesar da utilização de dados de qualidade da água não simultâneos como o sobrevôo do satélite, conseguiram-se alguns resultados aceitáveis que permitem encorajar o prosseguimento das pesquisas na utilização de imageadores multiespectrais, para determinar a qualidade da água e para gerar dados mais precisos e com maior capacidade de previsão na sua distribuição espacial.

Outra abordagem que deve ser realizada é o estudo das covariâncias entre os parâmetros de qualidade da água. Com estes dados, poder-se-á saber se existe algum parâmetro sendo inferido através de outro, devido à sua alta correlação, e não devido à existência de alta correlação com os dados de sensores remotos. Neste trabalho não se abordou este tipo de cálculo, porque os dados disponíveis não foram considerados suficientemente confiáveis.

Como os valores de teor de clorofila "a" que se observaram na baía são bem variados (de 0 a 100  $\mu\text{g}/\ell$ ), estes gradientes tão diversos são detectados pelo MSS. Além disso, os variados gradientes

do disco de Secchi (de 0,3 a 15 m), muito correlacionados com a clorofila, são facilmente detectados pelos sensores do MSS. Acredita-se que, se nas condições em que foi feito este trabalho (com dados escassos e não-simultâneos), foram alcançados resultados positivos, espera-se que, com trabalhos especialmente planejados para o fim, se consigam melhores resultados.

Por último, os problemas apresentados pelos dados, que fizeram com que a passagem de 24/05/75 não atingisse valores de coeficientes de correlação aceitáveis, são:

- a) Não-simultaneidade com o sobrevôo do satélite. Como foi observado nas Figuras V.3 e V.4, a combinação de fatores ambientais (marés, ventos, cargas dos rios e vazão do esgoto) fazem com que se tenham, para cada instante, uma combinação de fatores dinâmicos no tempo e no espaço, traduzindo-se em cargas de poluentes e qualidade da água muito pouco estáveis. Se a coleta de amostras for feita em locais críticos, em que as correntes são fortes, serã muito difícil conseguir uma medição de parâmetros de qualidade da água semelhantes aos observados sinoticamente pelo satélite. De qualquer modo, fazendo-se um remanejamento da amostragem e de toda sua sistemática, pode-se ter maior simultaneidade com os dados do satélite.
- b) Outro fator que afeta as correlações e que deve ser levado em conta é a pequena variação dos parâmetros de qualidade nos pontos coletados, que resulta numa acumulação muito grande de dados em certas classes; este problema poderá, futuramente, ser corrigido (Seção 4.1.3). Este fato foi mais evidente no caso das medidas do disco de Secchi; entretanto, com a clorofila "a", obtiveram-se melhores resultados, em virtude dos dados terem maior dispersão na área imageada.
- c) O número de amostras úteis foi pequeno para dar cobertura completa a todos os tipos de água que se encontram na baía, visto o ambiente diversificado da mesma.

- d) O número de sobrevôos utilizados também foi escasso, sendo que, para chegar a conclusões mais valiosas, seria necessário contar com grande quantidade de dados no decorrer de todas as estações do ano. O número mínimo de sobrevôos necessários seria de 15 a 20 (Yarger e McCauley, 1975).
- e) Sendo a maré o principal fator ambiental de mistura que modifica os parâmetros de qualidade da água, considera-se que as amostras usadas estejam próximas das condições de maré no sobrevôo (Figuras V.3 e V.4). Apesar destes cuidados, acredita-se que certas amostras, coletadas em regiões muito dinâmicas, não representam valores de simultaneidade com o sobrevôo do satélite.

#### 6.2.2 - DISCUSSÃO SOBRE O USO DO PROCESSAMENTO DESENVOLVIDO POR MORIMOTO (1980)

O processamento desenvolvido e testado por Morimoto (1980) permite corrigir radiometricamente as imagens do LANDSAT, com melhor embasamento na física da radiação, utilizando, tanto quanto possível, dados reais. Entretanto, considerando-se que uma imagem utilizada neste trabalho não deu resultados satisfatórios, achou-se conveniente estudar um pouco mais o fundamento teórico e prático dos programas de computação LOWTRAN e ATA utilizados.

Quando da aplicação do programa LOWTRAN para a radiossondagem correspondente ao dia 24/05/75, percebeu-se, pelos resultados, que os valores de transmissividade calculados eram muito baixos (Tabela V.4). De qualquer modo, tentou-se obter - sem resultado - uma imagem corrigida, aplicando-se à imagem original o programa ATA. Inicialmente considerou-se que o erro poderia decorrer da defasagem de horário entre a radiossondagem (7 h) e a tomada da imagem (9 h). Para contornar este problema, tomaram-se os valores de temperatura, ao nível da estação meteorológica do aterro do Flamengo, nos mesmos horários; plotou-se e corrigiu-se a radiossondagem para os baixos níveis; e estimou-se uma nova temperatura. A nova radiossondagem corrigida foi considerada como dado de entrada no programa LOWTRAN; infelizmente, porém, as trans

missividades computadas foram semelhantes às calculadas originalmente. Considerou-se então que deveria existir algum problema na própria estrutura do programa LOWTRAN, que originasse o erro de cálculo.

Ao examinar o fundamento teórico do programa LOWTRAN, considerou-se que os problemas poderiam se originar das simplificações e dados que diveriram de ser utilizados para que o programa fosse viável em tempo de processamento. As simplificações usadas são:

- a) Não se considera o aumento de diâmetro das partículas devido à mudança da umidade do ar.
- b) Usaram-se os índices de refração de Volz (1972) para as partículas de diferente composição química.
- c) O coeficiente de atenuação dos aerossóis é ajustado para o valor de  $0,55 \mu\text{m}$  (Elterman, 1968).
- d) Usa-se a distribuição de tamanho de partículas de Deirmenjan a qual não muda com a altura.
- e) O número total de partículas não varia com a altura, e foi tomado um valor de  $10^7$  partículas/ $\text{m}^3$  de 23 km de altura (McClatchey et alii, 1972).
- f) Para calcular o coeficiente de extinção e de absorção das partículas, é dado um valor teórico de percentagem de tipo de aerossóis; cada um destes tipos tem um índice de refração que, com a distribuição por tamanhos, dará uma série de valores por comprimento de onda, constantes com a altura. No programa LOWTRAN, é utilizado um modelo de aerossóis denominado continental médio. No LOWTRAN 3B, são oferecidos modelos opcionais de aerossóis rurais (semelhantes ao continental do LOWTRAN 3), troposférico, marítimo e urbano. Segundo Selby et alii (1976), estes modelos não diferem muito entre si; recomendam o uso do urbano, rural e marítimo para cálculos em caminhos ópticos de poucos quilômetros, e o troposférico para cálculos de longos percursos, fora da camada limite.

- g) Os coeficientes de absorção molecular dos componentes gasosos foram estimados com medidas de laboratório, modificando os componentes em ambientes controlados.

Todas as aproximações descritas anteriormente fazem com que os cálculos de transmissividade dos aerossóis e das moléculas sofram erros significativos, sobretudo se, como neste caso, houver pretensão de calcular esta transmissividade em percursos de comprimento muito longo. Em primeiro lugar, o fato de não se considerar a relação existente entre o tamanho das partículas e a umidade e de estas partículas variarem em número com a altura faz com que, em certos casos, a transmissividade seja calculada de forma muito errada. Em segundo lugar, a densidade e o tipo de partículas são parâmetros extremamente variáveis na atmosfera. No LOWTRAN, a densidade considerada é alta, se for comparada com os dados de Friend (1966), o qual atribui  $10^4$  partículas/m<sup>3</sup> para 18 km de altura. Friedlander (1977) atribui aos lugares muito poluídos, ao nível do chão,  $10^9$  partículas/m<sup>3</sup>. Por último, cabe saber se os valores do coeficiente de atenuação das moléculas são válidos para os casos reais, ou seriam necessários dados mais precisos que os existentes em laboratórios. Nos casos de ambientes muito poluídos, não há certeza absoluta de que estes cálculos são corretos. Os próprios autores do programa (Selby e McClatchey, 1975) consideram o programa incerto, sobretudo nos casos em que os conteúdos de particulados sejam muito diferentes do modelo.

Para o trabalho no projeto POLUE, recomenda-se o seguinte:

- 1) Fazer uma revisão do programa LOWTRAN, corrigindo os problemas apontados, e ver se a versão 4 não fornece resultados mais precisos (Selby et alii, 1978).
- 2) Tentar adicionar aos dados do programa LOWTRAN os valores de densidade e tipo de aerossóis encontrados no Brasil, em diferentes ambientes.

- 3) Enquanto se processam os ajustes necessários no programa, usar como dados de entrada do programa ATA medidas de transmitância in situ, feitas na hora e local de sobrevôo.
- 4) Nos locais onde não se disponha de dados de radiossondagem próximos, seria melhor seguir o procedimento descrito no item anterior.

Acredita-se que o programa LOWTRAN possa ser modificado o suficiente, para que seja possível ter imagens corrigidas de boa qualidade em pouco tempo de processamento.

#### 6.2.3 - DISCUSSÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE IMAGEADORES A BORDO DE SATÉLITES PARA ESTUDOS DA QUALIDADE DA ÁGUA

Um aspecto importante para o estudo de ambientes hídricos é que os fenômenos que transcorrem mudam muito mais rapidamente que em áreas continentais; portanto, a repetitividade do imageamento é um condicionante importante para a utilização de sensores remotos. Os satélites da série LANDSAT foram desenvolvidos para estudar recursos terrestres, que não requerem uma periodicidade muito grande. Os 18 dias de intervalo com que atualmente cada área é recoberta são suficientes para a maioria dos casos. Para recursos hídricos, o ideal seria ter, como em certos satélites meteorológicos, uma periodicidade maior (várias vezes num dia), uma resolução espacial comparável ao MSS do LANDSAT, e uma resolução espectral como a do Coastal Zone Color Scanner do satélite NIMBUS-6. Desta maneira, poder-se-iam acompanhar manchas de poluentes, sedimentos e clorofila de maneira muito precisa. O problema é que não existem, no momento, satélites com sensores deste tipo. De qualquer modo, com o melhor satélite disponível (LANDSAT), e com as perspectivas de usar os dados do NIMBUS-G, podem-se acompanhar fenômenos de longa duração e, inclusive, caracterizar fenômenos típicos de dinâmica para certas situações do geossistema.

Não se pode pensar em utilizar sistemas do tipo LANDSAT para estudar fenômenos de duração menor que os 18 dias entre sobrevôos, pois será muito difícil encontrar uma imagem que manifeste o fenômeno, embora ele seja espectralmente visível. Fenômenos deste tipo seriam o crescimento acelerado ("bloom") de certas algas, como a maré vermelha, ou vazamentos acidentais de poluentes, como óleo. Também existe o fator de que o processamento da imagem, desde que é gravada em Cuiabá, é relativamente demorado. Pode-se esperar, atualmente, que o processo completo leve, no DPI no INPE, da ordem de 6 meses. Mesmo para os pedidos urgentes de dados de um determinado sobrevôo, existe um período de espera até que a fita com dados de telemetria para fazer as correções geométricas seja remetida pela NASA. Isto acontece pelo menos 15 dias a 1 mês após o sobrevôo. Com os satélites meteorológicos, têm-se imagens processadas algumas horas após o sobrevôo, pois foram concebidos para a previsão do tempo.

Com as imagens do MSS existentes e as que existirão no futuro, com o Thematic Mapper do LANDSAT, podem-se realizar os estudos mencionados, sendo esta uma das tarefas a ser desenvolvida no projeto POLUE.

Uma vantagem importante sobre quaisquer outros tipos de observação de corpos de água é a capacidade que os sensores remotos a bordo de espaçonaves possuem de detectar fenômenos não facilmente atingíveis pelo observador, em áreas remotas ou de difícil acesso. A capacidade sinótica da imagem é um fator importante que deve ser levado em conta para estudos de dinâmica de corpos de água.

Dentre os problemas de imageamento com satélites da série LANDSAT, cabe citar que não se pode determinar a época em que o satélite vai passar por uma determinada área; muitas vezes, quando passa, ela está coberta de nuvens. Também existem perdas de informação no posterior manuseio dos dados (ruído, problemas de equipamento, etc.). Para poder estimar este tipo de perdas — no caso da Baía de Guanabara — fez-se uma estatística preliminar das passagens que podem ser aproveitadas, desde que começou a série de satélites LANDSAT e das imagens disponíveis no DPI do INPE (Tabelas VI.11 e VI.12).

TABELA VI.11

NÚMERO DE IMAGENS DISPONÍVEIS ATÉ 8/78, SEGUNDO A PERCENTAGEM DA ÁREA  
COBERTA DE NUVENS E DA ÁREA NÃO-IMAGEADA

	ANO DE SOBREVÔO						TOTAL ACUMULADO
	1973	1974	1975	1976	1977	1978	
Imagens inteiras sem nuvens	2	1	3	3	4	2	15
Até 20% não-imageada sem nuvens	2	2	4	5	7	3	23
Até 20% não-imageada e até 20% com nuvens	2	2	6	7	10	3	30
Até 50% não-imageada e até 50% com nuvens	2	2	10	7	16	3	40

TABELA VI.12

NÚMERO DE IMAGENS DISPONÍVEIS ATÉ 8/78, SEGUNDO  
O MÊS DE SOBREVÔO

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1973	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	2
1974	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
1975	-	1	-	1	1	1	-	2	3	1	-	-	10
1976	-	-	1	-	-	2	2	1	1	-	-	-	7
1977	1	2	1	-	2	1	1	2	2	1	1	-	16
1978	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	3
TOTAL	4	3	2	1	3	4	4	7	7	2	1	1	40

As tabelas mostram que há, no total, 15 imagens de toda a baía totalmente livres de nuvens, e de qualidade aceitável. Deve-se esclarecer que a Baía de Guanagara encontra-se situada na área de sobreposição entre duas órbitas, que se deslocam ao longo do ano, no sentido Este-Oeste. A órbita 122 sofre problemas de corte da imagem da baía pelo deslocamento da órbita, enquanto a 136 sempre aparece com imagem completa da baía. Continuando com o cômputo de imagens, chega-se a um total de 40 imagens que têm mais de 50% da área sem nuvens e mais de 50% imageada. Os anos que tiveram maior número de imagens (1975 e 1977) tiveram melhores condições meteorológicas, e todo o sistema de recepção e processamento não sofreu problemas.

Com as imagens existentes, acredita-se que se possa ter, após uma exaustiva análise, um panorama amplo da dinâmica deste corpo de água a um nível de maior detalhamento espacial que o publicado pela DHN (1974). Devido aos problemas de nebulosidade, pode-se perceber (Tabela VI.12) que os meses de junho, julho, agosto e setembro são os que apresentam maior número de imagens em todos os anos; há meses, como dezembro, em que não se possui nenhuma imagem. Observando-se a localização das nuvens nas imagens, nota-se que, havendo recobrimento parcial da região, a maior ocorrência de nuvens é na região Noroeste e na parte Oeste da baía. Acredita-se que isto se deva a condições micrometeorológicas que favorecem a formação de maior nebulosidade em certos locais.

Pelas considerações teóricas e pela experiência com trabalhos anteriores, os parâmetros de qualidade da água, que deveriam se correlacionar com os dados do MSS, deveriam ser a medida de profundidade do disco de Secchi e/ou o teor de sólidos em suspensão. O segundo parâmetro não foi coletado pela FEEMA, razão pela qual não foi possível a sua análise. Quanto ao disco de Secchi, pode-se dizer que os seus resultados não foram tão satisfatórios quanto se esperava, de onde se deduz que suas medidas não foram feitas com o necessário cuidado e que o horário de medida não foi o mencionado nas fichas de campo. Visto que

os operadores são diferentes, introduziram-se erros pela sua diferente acuidade visual. No Capítulo VI mencionam-se os métodos para eliminar este tipo de erros.

Além do LANDSAT, haverá, em futuro próximo, outros sensores e plataformas portadoras disponíveis para serem utilizadas em estudos de qualidade da água. São eles:

- a) LANDSAT D, a ser ativado em 1981, com ciclo de cobertura de 16 dias. Terá, além do MSS, o denominado "Thematic Mapper", que operará em 7 faixas do espectro, com uma resolução geométrica de 30 m. As faixas espectrais de cada canal de informação ( $\mu\text{m}$ ) serão:

1	0,45 - 0,52
2	0,52 - 0,60
3	0,63 - 0,69
4	0,73 - 0,90
5	1,55 - 1,75
6	2,08 - 2,35
7	10,40 - 12,50

Este último sistema sensor, apesar da pouca resolução espectral de suas faixas, será útil na detecção de poluentes na Baía de Guanabara. Com os dados da faixa 7, poder-se-á ter informação sobre a temperatura superficial da água, permitindo visualizar a dinâmica das águas na baía. Com as faixas 2 e 3, poder-se-á fazer as mesmas estimativas de teores de clorofila e sólidos em suspensão que com o MSS, com a vantagem de que se terá uma maior resolução espacial (30 m).

b) O satélite SEASAT, lançado em 1978 e pouco tempo depois desativado, só dispunha de sensores nas faixas das microondas que permitiam observar o estado de agitação das águas, pelo seu aspecto rugoso. Havia apenas dois imageadores, a saber, um no visível e outro no termal de baixa resolução, para o posicionamento das imagens de microondas.

d) O INPE poderá, em 1981, utilizar uma aeronave Bandeirantes equipada com câmeras fotográficas métricas, câmeras Hasselblad e um imageador de 12 canais, tendo este último sistema as seguintes faixas de atuação ( $\mu\text{m}$ ):

1	0,38 - 0,42
2	0,42 - 0,45
3	0,45 - 0,50
4	0,50 - 0,55
5	0,55 - 0,60
6	0,60 - 0,65
7	0,65 - 0,69
8	0,70 - 0,79
9	0,80 - 0,89
10	0,92 - 1,10
11	8,00 - 14,00

Com este sensor, poder-se-á pesquisar muito mais precisamente as respostas espectrais dos diferentes poluentes, do óleo e da vegetação flutuante, em diferentes condições ambientais.

d) Por último, o sistema sensor que está atualmente operando e que tem mais aplicações em trabalhos sobre qualidade da água no mar é o Coastal Zone Color Scanner (CZCS). Este sistema está operando a bordo do satélite NIMBUS G desde o ano de 1978. O período

do de aquisição de imagem é de 6 dias, com resolução espacial de 0,5 milhas marítimas (aproximadamente 800 m). As faixas do espectro são estreitas, para permitir uma boa discriminação da clorofila e da cor da água e estão concentradas em 0,043, 0,520, 0,550 e 0,670  $\mu\text{m}$ . Para a utilização destes dados seria necessária a correção radiométrica dos efeitos atmosféricos, que já foi estudada e desenvolvida por Gordon (1978) e Sorensen (1979a e b), com experimentos e medidas em mares europeus. A disponibilidade destes dados para o Brasil restringe a compra dos dados gravados em fitas disponíveis na NOAA (EUA). Embora a resolução espacial seja pequena, estas informações seriam de suma importância para a detecção de contaminação das águas costeiras brasileiras, nas proximidades dos estuários de situação mais crítica.

### 6.3 - RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Existem várias recomendações que se podem extrair da experiência deste trabalho, sendo conveniente tratá-las em detalhe.

As medidas do disco de Secchi devem ser feitas de maneira diferente, para que sejam padronizadas e, inclusive, para poder extrair delas certas constantes ópticas da água, como o coeficiente de extinção. Dependendo de como são feitas as medidas, estas sofrem várias interferências, descritas a seguir.

A medida é feita por observação visual, e a acuidade visual do observador, apesar de ser melhor do que muitos aparelhos, varia de indivíduo para indivíduo. Isto, levando-se em consideração que, em nenhum caso, a medida foi feita diretamente voltada para o Sol, já que desta maneira ter-se-á a reflexão especular interferindo na medida. De qualquer modo, haverá reflexão da luz dificultando a observação. Dependendo do ângulo de elevação solar e da existência ou não de nuvens, a irradiância do Sol e do céu variarão. Esta variação se manifestará numa maior ou menor penetração da luz na água; por conseguinte, para o mesmo tipo de água, as medidas de disco de Secchi serão também variáveis.

Apesar dos defeitos mencionados, a medida do disco de Secchi é considerada muito valiosa, sobretudo por tratar-se de uma medida simples, que não implica a operação de aparelhos de medida e que não necessita de pessoal muito especializado na sua aplicação. Ela deve ser aperfeiçoada com a finalidade de servir para o sensoriamento remoto; em outros casos, ela é suficiente tal como é feita tradicionalmente.

Para aperfeiçoar a operação, deve-se aferir a medida com avaliação do coeficiente de extinção em locais controlados, ou medi-la com dois discos, um cinza e outro branco, utilizando-se uma caixa com fundo de vidro para evitar a reflexão especular.

Preisendorfer (1976), citando a técnica de Duntley (1952) com relação aos dois discos, fundamenta que a medida de profundidade óptica, usando dois discos de reflectância conhecida, permite calcular o coeficiente de extinção mais o coeficiente de atenuação sem as interferências mencionadas, já que serão utilizadas medidas relativas. O dado utilizado para o cálculo é a diferença de profundidade dos dois discos quando eles desaparecem na água ( $d$ ); portanto:

$$\alpha + K = \frac{1}{d} \ln \left[ \frac{R' - R_{\infty}}{R - R_{\infty}} \right] \quad (\text{VI.1})$$

onde:

$\alpha$  = coeficiente de atenuação por volume dum feixe de luz colimado

$K$  = coeficiente de extinção de irradiância difusa

$R'$  = reflectância do disco de cinza

$R$  = reflectância do disco branco

$R_{\infty}$  = reflectância da interface  $\approx 0,02$

Utilizando-se a caixa com fundo de vidro, elimina-se  $R_{\infty}$ , ficando a fórmula como:

$$\alpha + K = \frac{1}{d} \ln \frac{R'}{R} \quad (\text{VI.2})$$

Outros fatores que podem ser aperfeiçoados nas campanhas de coleta de amostras são o posicionamento das mesmas e o horário de coleta. Para que os dados possam ser utilizados no sensoriamento remoto, devem existir equipes de coleta disponíveis em cada dia de sobrevôo do satélite, prontos para sair numa hora determinada, se não existir cobertura de nuvens. A operação de coleta de amostras deve ser realizada entre 1 hora antes e 1 hora depois da passagem, em pontos próximos entre si, que possuam valores mínimos e máximos de parâmetro de qualidade da água a medir. A disponibilidade de barcos e meios de locomoção terrestres devem ser tais que permitam o acesso rápido aos pontos de coleta. A operação deve ser simplificada ao máximo, para permitir colher maior número de amostras no curto intervalo de tempo disponível. Os barcos devem ser mais rápidos e maiores que os atualmente utilizados na Guanabara pela FEEMA, permitindo que as missões de coleta não se suspendam por outros fatores, como ondas fortes ou correntes.

Acompanhando-se a coleta de amostras com o pessoal e equipamentos existentes no FEEMA, no intervalo de tempo disponível (2 h), percebeu-se que é possível coletar apenas 4 ou 5 amostras, tendo-se em conta seu afastamento, localização do ponto, fundeio da embarcação e operação da coleta propriamente dita. Um outro problema é a localização dos pontos feita a critério do operador pela interseção visual de pontos notáveis no litoral, o que acarreta atrasos e imprecisão na localização. Dever-se-ia, sempre que possível, ter os pontos de coletas sinalizados com bóias fixas e bem visíveis à distância.

O tempo de coleta necessário para obter dados mais confiáveis deve ser da ordem de 1 a 2 anos, abrangendo muitos sobrevôos, de modo a completar todas as condições ambientais das quatro estações do ano, sempre que as condições ambientais do período de coleta estiver dentro da média climática e sanitária dos últimos 5 anos.

Os parâmetros de qualidade da água que deveriam ser pesquisados regularmente nas campanhas de coleta são: profundidade dos dois discos de Secchi, teor de sólidos em suspensão, teor de clorofila "a", fósforo, e teor de compostos nitrogenados.

Outro fator importante que deve ser considerado, se há expectativa de utilizar sensores remotos para detecção da qualidade da água, é o acompanhamento de todas as campanhas de coleta de amostras com medidas radiométricas na hora do sobrevôo. Estas medidas consistiriam, segundo Roger e Peacock (1973), na medida da radiância do céu, da radiância do Sol, da radiância do alvo e da irradiância total. Como se sabe, a irradiância solar que chega às camadas superiores da atmosfera, para cada dia e latitude, pode ser calculada por meio dos dados anteriores de transmissividade do ar. Utilizando-se transmissividade e os dados mencionados por Rober e Peacock (1973), é simples calcular a radiância que será detectada pelos sensores do satélite e a radiância de corrente do retroespalhamento da atmosfera. Este tipo de dados pode servir para corrigir os dados de vídeo do MSS pelo programa ATA, sem haver necessidade de calcular a transmitância com o programa LOWTRAN.

Além disso, seria muito importante coletar dados precisos das condições atmosféricas ao nível do chão, como: umidade, temperatura, visibilidade horizontal e, se fosse possível, estimativas de densidade de aerossóis e vento. Nas condições do Rio de Janeiro, com ambiente tropical, litoral metropolitano, os baixos níveis da atmosfera contribuem muito para a transmissividade do ar e, sobretudo, os componentes particulados que se encontram em grande quantidade e variam muito em densidade com o tempo.

Finalmente, para completar uma pesquisa desta natureza, devem ser conseguidos ou coletados dados ambientais completos de todos os componentes do geossistema. Os dados mínimos necessários seriam: pluviometria de todas as estações existentes na bacia durante o período de pesquisas; vazão dos rios (pelo menos dos principais) com alguma estimativa de carga de sedimentos; vazão dos esgotos despejados na baía; altura da maré medida na barra e no fundo da baía; e direção e

velocidade do vento. O intervalo de medida deve ser horário para todos os dados, mas a pluviometria pode ser diária. Com estes dados, poder-se-á analisar muito melhor a validade dos resultados dos sensores remotos, e ter idéia da existência de certas situações ambientais típicas de maneira sinótica, e não somente restrita ao ponto.

Alguns dos processamentos mostraram ser efetivos para a obtenção de regressões mais precisas, se comparadas com as regressões que usam os dados de vídeo originais do MSS (LANDSAT). Os processos ATA, MC e C demonstraram ser os melhores; por este motivo, conclui-se que estes processos devem ser utilizados com maior frequência, antes de classificar uma imagem.

Existem outros algoritmos não testados neste trabalho que devem ser experimentados, pois certos autores encontraram bons resultados ou os recomendaram com certa base teórica. Citam-se, como algoritmos mais promissores, os sugeridos por Saitoh et alii (1978), que utilizam razões entre tons de cinza de águas do mesmo tipo, em diferentes datas de sobrevôo do LANDSAT, dividido pela razão de águas transparentes dos mesmos dias.

$$G_{21} = \frac{R_{i2}}{R_{i1}} \bigg/ \frac{W_{c2}}{W_{c1}}$$

sendo:

$R_i$  = nível de cinza, num dado "pixel", da água a estudar;

$W_c$  = nível de cinza, num dado "pixel", da água transparente e profunda do oceano. Os subíndices 1 e 2 referem-se aos sinais provenientes de duas datas diferentes de sobrevôo.

Também deveria ser testado o algoritmo proposto por Scarpace et alii (1979), que é o seguinte:

$$G = R_i^j - W_i^j \left[ \frac{A_i^{cd} - W_i^{cd}}{A_i^j - A_i^j} \right]$$

onde:

R = nível de cinza da água a ser estudada;

W = nível de cinza da água de lago profundo e claro;

A = nível de cinza de pista de concreto de aeroporto;

i = "pixel";

j = dia de sobrevôo;

cd = o dia em que o ar tinha a máxima transmitância.

Por serem recentes estes algoritmos, não foram testados neste trabalho.

Outra abordagem estatística deveria ser testada. Deve-se testar a análise de regressão múltipla, utilizando-se os tons de cinza de várias faixas do MSS ou várias operações entre as faixas (Boland, 1976). Desta maneira, poder-se-ia ter um algoritmo, um índice de eutroficação das águas de extrema utilidade para monitoramento de corpos de água. Não se testaram estes processamentos devido à premência do tempo e à carência de dados de campo apropriados que permitissem cálculos eficientes.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 7.1 - CONCLUSÕES

Apesar da falta de dados apropriados de qualidade da água, foi possível detectar e cartografar diferentes teores de clorofila "a" na Baía de Guanabara, com um erro médio estimado razoável. Conseguiu-se destacar as águas na baía, nas quais os teores de clorofila "a" aproximaram-se dos das águas oceânicas não-poluídas; destacaram-se também outras áreas onde a poluição estava presente de maneira marcante.

Satisfazendo o objetivo principal do trabalho, ou seja, o de escolher o melhor processamento dos níveis digitais de cinza do MSS do LANDSAT, observou-se que os processamentos são necessários para conseguir um melhor ajuste entre os dados de campo e os dos sensores do satélite. Alguns deles se mostraram mais efetivos que outros na correção dos dados de vídeo. Destacam-se, entre eles, o processo de correção radiométrica ATA como extremamente promissor para uma correção radiométrica dos dados de vídeo, com firme embasamento na física das radiações, e não em processamentos estatísticos de correção. Demonstrou-se, também, que as razões de contraste (C e CN) e a normalização (N) são bons processamentos.

Como já se observou, as abordagens empíricas são de validade local para determinadas condições ambientais. Se os dados de vídeo dos imageadores multiespectrais estiverem padronizados, isto é, contiverem poucos efeitos, haverá possibilidade de comparar dados de diferentes datas e transmitir informações de uma parte da imagem para outra. Neste caso têm-se as baías de Sepetiba, Ilha Grande e Guanabara, as quais podem ser classificadas pelos mesmos métodos usados para a de Guanabara. Se, por estudos prévios, se tiver conhecimento de que, num determinado lugar, as condições ambientais são semelhantes às de outro local, as regressões poderão ser extrapoladas de um lugar para outro,

dentro da mesma imagem. Para ter certeza de que a extrapolação é correta, deve-se fazer, simultaneamente com a passagem do satélite, pelo menos uma campanha de medidas radiométricas com coleta e análise de amostras.

Quanto ao grau de ajuste para as duas datas de sobrevôo utilizadas, as regressões apresentam grandes diferenças. Os dados de vídeo do sobrevôo de 24/02/75 ajustaram-se melhor aos parâmetros de disco de Secchi e clorofila "a", do que qualquer outra regressão feita com o sobrevôo de 24/05/75. A explicação deste problema encontra-se na técnica de coleta de amostras que, neste trabalho, não pode ser controlada. Campanhas de coleta sistemática, com o objetivo de servir de dados para calibração de sensores remotos, deverão ser mais rigorosas e controladas.

Uma outra conclusão importante é que o erro médio das estimativas nas regressões mais ajustadas foi, em alguns casos, comparável com o que se consegue pelos métodos tradicionais de coleta de amostras in situ.

O trabalho indica e discute o caminho a ser seguido para estudar e observar, mais eficientemente, a dinâmica da qualidade da água dos geossistemas costeiros com sensores remotos. A partir destes conhecimentos, poder-se-á conseguir o controle e a redução dos atuais índices de poluição que atingem valores condenáveis e, muitas vezes, de calamidade.

Nas imagens estudadas, também foram observadas evidências de vegetação flutuante, baixos fundos, embarcações de grande porte, e, talvez, óleo. Estas observações devem ser estudadas com mais profundidade em trabalhos futuros.

## 7.2 - RECOMENDAÇÕES

A sistemática de trabalho de campo necessária para obter as regressões entre parâmetros de qualidade da água e dados de vídeo do MSS deve ser reformulada dentro das normas descritas na Seção 6.1.2. Em síntese, estas normas afirmam que: as medidas de parâmetros de qualidade da água devem ser simultâneas com o sobrevôo do satélite; a campanha de coleta deve ser simplificada para obter o máximo de dados úteis no tempo disponível; devem existir equipes de coleta disponíveis a cada dia de sobrevôo para não perder nenhuma imagem útil; o planejamento da coleta deve ser feito de modo que se possa receber valores bem variados dos parâmetros de qualidade; e devem-se fazer simultaneamente medidas radiométricas do alvo e da atmosfera. Ao mesmo tempo, para analisar cada caso, devem ser coletados dados ambientais do geossistema de maneira sinótica.

Com relação ao programa de correção radiométrica desenvolvido por Morimoto (1980), deve-se fazer a ressalva de que, enquanto o programa LOWTRAN não for testado e revisado em condições controladas, para as condições atmosféricas brasileiras, e não existir uma densidade maior de estações de radiossondagem, dever-se-iam obter os dados de transmissividade do ar medindo-a diretamente no local de interesse e no dia de sobrevôo. Estes dados medidos podem ser confrontados com as previsões de transmissividade feitas pelo programa LOWTRAN e conseguir, assim, um aprimoramento de tão importante ferramenta na radiometria aplicada a sensores remotos.

Por último, deve-se mencionar a possibilidade de utilizar outros sensores, além do atual MSS do LANDSAT, para estudar a qualidade da água. O mais promissor é o sistema sensor do satélite NIMBUS G, denominado Coastal Zone Color Scanner (CZCS), com resolução espacial de 800 m e várias faixas de observação de interesse, para o estudo de qualidade da água. O LANDSAT D vai ser lançado em 1981 com um novo imageador (Thematic Mapper), com resolução espacial de 30 m e 7 faixas do espectro em observação, desde o azul até o infravermelho afastado. Por último

timo, têm-se os sensores a bordo da futura aeronave do INPE, com um ima  
geador de 11 faixas da DAEDALUS, e com as câmaras fotogrâficas conven  
cionais.

Além dos algoritmos utilizados neste trabalho, devem ser testados e desenvolvidos por Saitoh et alii (1979) e Scarpace et alii (1979), os quais seguem a mesma metodologia deste trabalho e utilizam, também, análises de regressão múltiplas.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria sido levado a cabo sem o apoio e colaboração de diversas pessoas e instituições.

Em primeiro lugar, agradecemos ao INPE e ao Departamento de Sensoriamento Remoto, nas pessoas que os dirigem: Dr. Nelson de Jesus Parada e Sr. Renê Antônio Novaes.

Ao Dr. Renato Herz e Dr. Luiz B. Molion a orientação e inúmeras sugestões, assim como o incentivo transmitido ao trabalho.

Ao Sr. Antônio Lorenzetti as muitas sugestões e idéias, assim como esclarecimentos que enriqueceram o trabalho.

Aos Engenheiros Vítor Monteiro Barbosa Coelho e Maria Regina Monteiro de Barros da Fonseca, diretor e assistente do diretor do Departamento de Controle da Poluição da FEEMA, respectivamente, que nos apoiaram e forneceram dados valiosos para a realização deste trabalho.

À Diretoria de Hidrografia e Navegação, Secretaria de Rios e Lagoas e Departamento de Proteção ao Vão, os dados fornecidos.

Ao pessoal do Sistema I-100 e, em especial, ao Sr. José Carlos Moreira, a ajuda prestada.

Finalmente queremos agradecer a paciência da Sra. Maria Bernadete Caetano de Souza, que colaborou com o empréstimo de sua máquina de escrever.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHERN, F.J.; GODENOUGH, D.G.; JAIN, S.C.; RAO, V.R.; ROCHON, G. Use of clear lakes as standards reflectors for atmospheric measurements. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 11., Ann Arbor, Mi, 1977. Proceedings. v. 1, p. 731-735.
- ALFOLDI, T.T. *Remote sensing of turbidity phenomena in Lake St. Clair*. Ottawa, Canada Centre for Remote Sensing, 1974.
- ALLEN, H.E.; MANCY, K.H. Design of measurement systems water analysis. In: CIACCIO, L.L., ed. *Water and water pollution Handbook*, New York, N.Y., Marcel Dekker, 1972. v. 3, cap. 19, p. 971-1020.
- ALMEIDA, C.E. de. *Terminal hidroviário integrado de Niterói. Estudo dos problemas de agitação e assoreamento*. São Paulo, s.d., 1974.
- AMADOR, E.; BARBOSA, M.I.; NONNO, A.M. O caráter bimodal das praias do interior da Baía de Guanabara. *Anais da Academia brasileira de Ciências*, 47(2):251-275, mar. 1975.
- AMADOR, E. DA SILVA. Assoreamento da Baía de Guanabara. Taxa de sedimentação. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52(4):723-742, dez. 1980.
- AUSTIN, R.W. The remote sensing of spectral radiance from below the ocean surface. In: JERLOV, N.G.; NIELSEN, E.S. *Optical aspects of oceanography*. London, Academic, 1974. cap. 14, p. 317-344.
- BARKER, J.L. LANDSAT data as it has been applied for land use and water quality data by the Virginian State Water Control Board. II Monitoring water quality from LANDSAT. In: *NASA Earth Resources Survey: symposium held in Houston, Tx, June 9-12 1975*. Proceedings. v. 1A, p. 383-418. (NASA TM X 58168).
- BARTOLUCCI, L.A.; ROBINSON, B.F.; SILVA, LEROY F. Field measurements of the spectral response of natural waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(5):595-598, May 1977.

- BETZ, H.T. *The remote measurement of Rhodamina B concentration when used as fluorescent traces in hydrologic studies.* Washington, D.C., Geological Survey, 1968. (Interagency Report NASA-101).
- BOLAND, D.H.P. The LANDSAT-1 multispectral scanner as a tool in the classification of inland lakes. In: NASA *Earth Resource Survey: symposium held in Houston, Tx, June 9-12 1975.* Proceedings. v. 1A, p. 419-442. (TM X 58168).
- . *Trophic classification of lakes using LANDSAT-1 (ERTS-1) multispectral scanner data.* Washington, D.C., NASA, 1976. (NASA EPA-600/3-76-037).
- BOWKER, D.E.; WITTE, W.G. Evaluation of ERTS MSS digital data for monitoring water in the lower Chesapeake bay area. In: CONFERENCE ON EARTH RESOURCES OBSERVATION AND INFORMATION ANALYSIS SYSTEM, 2., Tullahoma, Tn, 1973. Proceedings. v. 4, p. 591-600.
- BRESSANIN, G.; ERICKSON, J. *Data preprocessing systems for earth resources surveys.* Frascati, ESRO, 1973. v. 1. (ESRO CR-295).
- BROOKS, D.J. LANDSAT measures of water quality. *Photogrammetric Engineering*, 41(10):1269-1272, Oct. 1975.
- CAVALCANTI, L.A. *Correção radiométrica dos dados enviados pelo sistema MSS do satélite ERTS.* São José dos Campos, INPE, dez. 1975. (INPE-786-NIT/039).
- CLARKE, G.E.; EWING, G.C.; LORENZEN, C.J. Spectra of backscattered light from the sea obtained from aircraft as a measure of chlorophyll concentration. *Science*, 167(3921):1119-1121, Feb. 1970.
- CLARKE, G.L.; JAMES, H.R. Laboratory analysis of the selective absorption of light by sea water. *Optical Society of America Journal*, 29(2):43-53, Feb. 1939.
- COELHO, V.M.B.; CUNHA, R.L. da O acidente do Tarik na Baía de Guanabara. Apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 8., Rio de Janeiro, 14-19 dez. 1975.

COELHO, V.M.B.; FONSECA, M.R.M.B. Aplicações de modelos matemáticos de qualidade da água e econômicos para a Baía de Guanabara. Brasil. Apresentado no *Simpósio sobre Ambiente, Saúde e Desenvolvimento nas Américas*, México, D.F., 29 Jul. -2 agos. 1974. (IES pub. 82).

———. Modelos bidimensionais de qualidade de água e econômicos para a Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Apresentado no *Congresso Interamericano de Engenharia Espacial*, 15., Buenos Aires, 20-25 jun., 1976.

CRANE, R.B. Preprocessing techniques to reduce atmospheric and sensor variability in multispectral scanner data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. 7., Ann Arbor, Mi, 1971. Proceedings, v. 3, p. 1345-1355.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). *Cartas de Correntes de maré. Baía de Guanabara*. Rio de Janeiro, 1974. (DG 10-6-1).

DEIRMENJIAN, D. *Electromagnetic Scattering on Spherical Polydispersions*. New York, N.Y. American Elsevier, 1969.

DUNM, D.S.; CRUD, N. *Os manguezais do recôncavo da Baía de Guanabara: relatório preliminar*. Rio de Janeiro, FEEMA, 1977.

DPV - Direção de Proteção ao Voo do Ministério da Aeronáutica.

DUNTLEY, S.Q.; PREISENDORFER, R.W. *The visibility of submerged objects: final report*, Boston, Ma, MIT, 1952.

DUXBURY, A.C. Currents at the Columbia River Mount. *Photogrametric Engineering*, 33(3):305-310, Mar. 1967.

ELTERMAN, L. *UV, visible and IR attenuation for altitude to 50 km, 1968*. Hanscom Field, Bedford, Ma, Air Force Cambridge Research Laboratories, 1968. (AFCRL 68-0153).

———. *Vertical - Attenuation model with with eight surfaces meteorological ranges 2 to 13 kilometers*. Hanscom Field, Bedford, Ma., Air Force Cambridge Research Laboratories, 1970. (AFCRL 70-0200).

- ENCIBRA-ENGINEERING SCIENCE. *Anteprojeto do sistema de lançamento submarino de esgotos para o Rio de Janeiro: relatório final*. Rio de Janeiro, SURSAM (DES), 1969.
- EZEQUIEL, M.; FOX, K.A. *Methods of correlation and regression analysis. Linear and curvilinear*. 3 ed. New York, N.Y., John Wiley, 1963.
- FEEMA. *Atlas de elementos ambientais*. Rio de Janeiro, 1977.
- FRIEND, J.P. Properties of the stratospheric aerosol. *Tellus*, 18(2): 466-473, Feb. 1966.
- FRIEDLANDER, S.K. *Smoke, dust and haze. Fundamentals of aerosol behavior*. New York, N. Y., John Wiley, 1977.
- GORDON, H.R. Removal of atmospheric effects from satellite imagery of the oceans. *Applied optics*, 17(1):1631-1636, May 1978.
- HANSON, K. *O sensoriamento remoto do oceano. Remote sensing of the ocean*. Rio de Janeiro, DHN, 1973.
- HERZ, R. *Circulação das águas da superfície da Lagoa dos Patos. Contribuição metodológica ao estudo de processos lagunares e costeiros do Rio Grande do Sul através da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto*. Tese de Doutorado em Geografia. São Paulo, USP, 1977.
- HERZ, R.; TANAKA, K.; BENTANCURT, J.J.V. Interpretação automática de imagens LNADSAT para o estudo sistemático dos padrões de dispersão de efluentes sólidos na Baía de Guanabara e águas costeiras adjacentes. Apresentado no *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1. São José dos Campos, 25-29 nov. 1978.
- HORNE, R.A. Effect of structure and physical characteristics of water on water chemistry. In: CIACCIO, L.L, ed. *Water and water pollution handbook*. New York, N. Y., Marcel Dekker, 1972. v. 3, cap. 17, p. 915-947.
- HULBERT, E.O. Optics of distilled and natural water. *Optical Society of American Journal*, 35(11):698-705, Nov. 1945.

- HYDROSCIENCE. *Economic evaluation of alternative water quality improvement programs for Guanabara bay.* Convênio World Health Organization/Governo do Estado de Rio de Janeiro, Environmental Control Programme in the State of Rio de Janeiro, 1979.
- . *Water quality model of Guanabara bay.* Convênio World Health Organization/Governo do Estado de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Environmental Control Programme in the State of Rio de Janeiro, 1977.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) *Geografia do Brasil. Região Sudeste.* Rio de Janeiro, 1977.
- JERLOV, N.C. *Optical oceanography.* Amsterdam, Elsevier, 1968.
- JOHNSON, F.S. The Solar constant. *Journal of Meteorology*, 11:431, Mar. 1954.
- JOHNSON, R.W. Quantitative sediment mapping from remotely sensed multispectral data. In: CONFERENCE ON EARTH RESOURCES OBSERVATION AND INFORMATION ANALYSIS SYSTEMS, 2., Tullahoma, Tn, 1973. Proceedings. v. 4, p. 565-576.
- . Application of aircraft multispectral scanners to quantitative analysis and mapping of water quality parameters in the James River, Virginia. Presented at *Meeting of COSPAR Latest results of earth surveys*, 19., Philadelphia, Pa., 14-19 jun. 1976. (paper nº 6, 5).
- JURICA, G.M. *Atmospheric effects on radiation measurements.* West Lafayette, In, Purdue University, The Laboratory for Application of Remote sensing, 1973. (LARS Information Note 011573)
- KELLER, M. Tidal currents surveys by photogrametric methods. *Photogrametric Engineering*, 29(5):824-832, May 1963.
- KHORRAM, S. Remote sensing analysis of water quality in the San Francisco bay delta. Presented at *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 13., Ann Arbor, Mi, 1979.
- KLEMAS, V.; DAVIS, G.; LACKIE, J.; WHELAN, W.; TORNATORE, G. Satellite aircraft and drogue currents and pollutants. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, GE-15(2):97-108, Apr. 1977a.

- KLEMAS, V.; OTLEY, M.; PHILPOT, W.; WETHE, C.; ROGERS, R. Correlation of coastal water turbidity and current circulation with ERTS-1 and SKYLAB imagery. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., Ann Arbor, Mi, 1974. Proceedings. v. 2, p. 1289-1317.
- KLEMAS, V.; POLIS, D.F. Remote sensing of estuarine fronts and their effects on pollutants. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, 43(5):599-612, May, 1977b.
- . A study of density fronts and their effects on coastal pollutants. *Remote Sensing of Environment*, 6(2):95-126, Feb. 1977c.
- KRIEGLER, F.J.; MALILA, W.A.; NALEPKA, R.F.; RICHARDSON, W. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 6., Ann Arbor, Mi, 1969. Proceedings. v. 1, p. 97-131.
- LIU, C.C.; MENESES, P.R.; MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; DE OLIVEIRA, J.A. *Geologia do Estado do Rio de Janeiro baseada em imagens MSS do LANDSAT 1*. São José dos Campos, INPE, Out. 1976. (INPE-947- PE/040).
- LNEC. *Estudo hidráulico do aterro do Flamengo*. Lisboa, 1963.
- MASCARENHAS, A.S.; Jr.; TANAKA, K. Use of ERTS-1 images in coastal studies in Guanabara bay and adjacent waters. In: SEMINAR ON SPACE APPLICATIONS OF DIRECT INTEREST TO DEVELOPING COUNTRIES OF COSPAR, São José dos Campos, 17 June. 1 July 1974. Proceedings. v. 2, p. 174-186.
- McCLATCHEY, L.A.; FENN, R.W.; SELBY, J.E.A.; VOLZ, F.E.; GARING, J.S. *Optical properties of the atmosphere*. 3 ed. Hanscom Field, Bedford, Ma, Air Force Cambridge Research Laboratories, 24 Aug. 1972. (AFCL-72-0497).
- McCLUNEY, W.R. Radiometry of water turbidity measurements. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 47(2):253-267, Feb. 1975.

- McCLUNEY, W.R. Remote measurements of water color. *Remote sensing of Environment*, 5(1):3-33, 1976.
- MEIRELLES, D.S. *Aplicação de técnica de sensores remotos na hidrografia com ênfase à batimetria*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1673-TDL/013).
- MORIMOTO, T. *Estudos dos efeitos atmosféricos sobre as radiações percebidas pelos sensores a bordo de plataformas orbitais (ERTS-LANDSAT)*. Tese de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1689-TDL-021).
- NASA. Remote measurement of pollution. Washington, D.C., 1975. (NASA SP-285).
- NASA. *LANDSAT Data Users Handbook*. Greenbelt, Maryland 20771, 1976.
- PIONKE, H.B.; BLANCHARD, B.J. The remote sensing of suspended solids concentration of small impoundments. *Water, air and soil pollution*, 4(1):19-32, Jan. 1975.
- PREISENDORFER, R.W. *Hydrologic optics*, Honolulu, He., NOAA, 1976.
- PROCHNIK, W. *Plano diretor de Niterói*. Rio de Janeiro, 1976.
- REEVES, R.G. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, Va. 22046, American Society of Photogrametry, 1975.
- RITCHIE, J.C.; MCHENRY, J.R.; SCHIEBE, F.R.; WILSON, R.B. The relationship of reflected solar radiation and the concentration on sediment in the surface water of reservoirs. In: CONFERENCE ON EARTH RESOURCES OBSERVATION AND INFORMATION ANALYSIS SYSTEMS, 2., Tullahoma, Tn, 1973. Proceedings. v. 3, p. 57-71.
- ROGER, R.; PEACOCK, K. A technique for correcting ERTS data for solar and atmospheric effects. In: NASA SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM ERTS-1, Symposium held at New Corrolton, Ma, March 5-9, 1973. Proceedings. v. 1B, p. 1115-1122. (NASA SP-327).
- ROGERS, R.H. Application of LANDSAT to the surveillance and control of eutrofication in Saginaw bay. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, Mi, 1975. Proceedings. v. 1, p. 437-446.

- SAUSEN, T.M. *Projeto Três Marias. Estudo metodológico do comportamento de reservatórios artificiais, com relação a dispersão de sedimentos em suspensão, através de imagens LANDSAT.* Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE. No prelo.
- SAITOH, S.; IISAKA, J.; ASAOKA, O. Marine pollution analysis in Tokyo bay by LANDSAT 1 and 2. Presented at *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 13., Ann Arbor, Mi, Apr. 1979.
- SCARPACE, F.L.; HOLMQUIST, K.W.; FISHER, L.T. LANDSAT analysis of lake quality. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, 45(5):623-633, May 1979.
- SCHENG, P.Y.; LICK, W. The transport and resuspension of sediments in a shallow lake. *Journal of Geophysical Research*, 84(C4):1809-1826, Apr. 1979.
- SCHERZ, J.P.; Van DOMELEN, J.F. Water quality indicators obtainable from aircraft and LANDSAT images and their use in classifying lakes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, Mi, 1975. Proceedings. v. 1, p. 447-460.
- SELBY, J.E.A.; KNEIZYS, F.X.; CHETWYND, Jr., J.H.; McCLATCHEY, R.A. Atmospheric transmittance/radiance: Computer code LOWTRAN 4. Hanscom Field, Bedford, Ms., Air Force Cambridge Research Laboratories, 1978. (AFGL-TR-78-0053).
- SELBY, J.E.A.; McCLATCHEY, R.A. Atmospheric transmittance from 0,25 to 28,5  $\mu\text{m}$ : Computer code LOWTRAN 3. Hanscom Field, Bedford, Ma., Air Force Cambridge Research Laboratories, 1975. (AFCRL-TR-0255).
- SELBY, J.E.A.; SHETTLE, E.P.; McCLATCHEY, R.A. Atmospheric transmittance from 0,25 to 28,5  $\mu\text{m}$ : Supplement LOWTRAN 3B (1976). Hanscom Field, Bedford, Ma., Air Force Cambridge Research Laboratories. 1976. (AFGL-TR-0258).

- SMEDES, H.W.; SPENCER, M.M; THOMSOM, F.J. Preprocessing of multispectral data and simulation of ERTS data channels to make computer terrain maps of a Yellowstone National Park test site. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 7., Ann Arbor, Mi, 1971. Proceedings. v. 3, p. 2073-2094.
- SMITH, R.C.; BAKER, K.S. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnology and Oceanography*, 23(2):247-259, Mar., 1978.
- SORENSEN, B.H. *The North Sea ocean color scanner experiment 1977*. Varese, Commission of the European Communities, Joint research centre, 1979a.
- . *Recomendation of the International workshop of atmospheric correction of satellite observation of sea water color*. Frascati, Commission of the European Communities, Joint research centre, 1979b.
- STEVENSON, M.R. *Use of the ERTS(MSS) and NOAA VHRR data in marine resource assessment: final report*. La Jolla, Ca, International Tropical Tuna commission, 1975.
- SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RIOS E LAGOAS (SERLA). Boletim Pluviométrico Nº 1, Rio de Janeiro, RJ. SERLA. 1979.
- TREXLER, P.L. LANDSAT 1 data as it has been applied for land use and water quality data by the Virginia State Water Control Board: I - State project. In: NASA - *Earth Resources Survey*. Symposium held in Houston, Tx, June 9-12, 1975. Proceedings. v. 1A, p. 371-382. (NASA TM X 58186).
- TURNER, R.E. Signature variation due to the atmospheric effects. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, Mi, 1975. Proceedings. v. 2, p. 671-682.
- VERGER, F. *Teledetection du littoral oceanique de la France*. Mountrouge, Ecole Normale Supérieure, 1977. (Collection de L'Ecole Normale Supérieure de Jeunes Filles, 11).

- VINCENT, R.K. An ERTS multispectral scanner experiments for mapping iron compounds. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, Mi, 1972. Proceedings. v. 2, p. 1239-1247.
- VOLZ, F.E. Infrared refractive index of atmospheric aerosol substances. *Applied Optics*, 11(4):755-759, Apr. 1972.
- WEINER, M.M. Atmospheric turbulence in optical surveillance systems. *Applied Optics*, 6(11):1894-1991, Nov. 1967.
- WEZWERNAK, C.T.; TANIS, F.J.; BAIZA, C.A. Trophic state analysis of inland lakes. *Remote Sensing of Environment*, 5(2):147-165, 1976a.
- WEZWERNAK, C.T.; TURNER, R.E.; LYZENGA, D.R. *Spectral reflectance and radiance characteristics of water pollutants*. Washington, D.C., NASA, 1976b. (NASA CR-2665).
- YARGER, H.L.; McCAULEY, J.R. Quantitative water quality with LANDSAT and SKYLAB. In: NASA - *Earth Resource Survey*. Symposium held in Houston, Tx, June 9-12, 1975. Proceedings. v. 1A, p. 347-370 (TM X 58168).
- YENTSCH, C.S. The influence of phytoplankton pigments on the colour of sea water. *Deep-Sea Research*, 7(1):1-9, Jan. 1960.
- YESKE, L.; SCARPACE, F.; GREEN, T. Measurement of lake currents. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, 41(5):637-646, 1975.

## APÊNDICE A

### GLOSSÁRIO

- ACS - LANDSAT Attitude Control Subsystem.
- AMS - LANDSAT Attitude Measurement Sensor.
- ATA - Processamento de correção radiométrica de imagens LANDSAT, com base em Física de Radiação, desenvolvido por Moritomo (1980).
- bit - Um caráter único de um número binário.
- byte - Termo genérico que indica uma porção mensurável de dígitos binários.
- C - Prê-processamento de contraste dos dados de vídeo do MSS, em que se divide o valor digital de uma faixa pelo valor digital de um alvo claro, cuja refletividade varia com o tempo (areia, concreto, etc).
- CCT - Computer Compatible Tape.
- CEMIG - Centrais Elétricas de Minas Gerais.
- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio da água.
- DCS - Data Collection System do LANDSAT.
- DICOMED - Marca registrada de sistema de geração de fotografias monocromáticas ou coloridas, a partir de sinais digitais do I-100.
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha.
- DPI - Departamento de Produção de Imagens do INPE.
- D/S - Prê-processamento dos dados de vídeo do MSS, em que se subtrai o valor digital entre duas faixas e se divide pela soma das mesmas faixas.
- DSR - Departamento de Sensoriamento Remoto do INPE.

- ERTS - Earth Resources Technology Satellite.
- FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro.
- FRALIT - French Atlantic Ocean.
- HDT - High Density Tape.
- IAT - Image Annotation Tape.
- ICT - Image Coordinates Tape.
- IES - Instituto de Engenharia Sanitário (atualmente FEEMA).
- LANDSAT - Nome atual dos satélites da série ERTS.
- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal.
- LOWTRAN - Programa de computação para calcular a transmissividade do ar, desenvolvido pela Força Aérea dos EUA.
- MC - Pré-processamento de modulação de contraste semelhante ao C, com a diferença de que se faz a razão entre a subtração entre os dois alvos a contrastar sobre a soma dos mesmos alvos.
- MNFS - Palavra digital de sincronização de um conjunto de "bytes".
- MPP - Pré-processador dos dados do MSS no DPI.
- MSS - Multispectral Scanner Subsystem do LANDSAT.
- N - Pré-processamento normalizador dos dados de vídeo do MSS, em que se divide o valor digital de uma faixa pela somatória dos valores digitais de todas as faixas.
- NASA - National Aeronautic and Space Administration (EUA).
- NC - Pré-processamento de subtração dos dados de vídeo do MSS numa determinada faixa pelo tom de cinza da área mais escura da imagem (água transparente e profunda do oceano).
- NIMBUS - Série de satélites, atualmente no nº 7, destinados a observações globais de parâmetros atmosféricos e oceanográficos.

- OCS = CZOS - Coastal Zone Color Scanner. Radiômetros exploradores para a detecção da cor da água.
- OD - Oxigênio dissolvido na água.
- PCM - Pulse Code Modulation.
- "Pixels" - Unidade mínima de resolução geométrica.
- R - Pré-processamento dos dados de vídeo do MSS com operações de razões entre faixas.
- "Record" - Conjunto de um ou mais campos de informação, tratados como uma unidade.
- SEASAT - Série de satélites para observação sinótica dos estado de rugosidade da superfície do oceano, e outros parâmetros atmosféricos e oceanográficos.
- SKYLAB - Laboratório orbital lançado em várias oportunidades pelos EUA, para estudos em Ciência Espacial, Ciência da Atmosfera, sensores remotos, etc.
- SURSAN - Superintendência de Saneamento Básico do Estado de Guanabara.
- VTR - Video Tape Recorder.
- WBUTR - Wideband Video Tape Recorder.