

1. Publicação nº <i>INPE-2368-MD/019</i>	2. Versão	3. Data <i>Abril, 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa  <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR/DDP</i>	Programa <i>TRATEC</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>SENSORIAMENTO REMOTO OCEANOGRAFIA INTERPRETAÇÃO DE DADOS</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:551.46</i>			
8. Título  <i>INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES EM OCEANOGRAFIA</i>		<i>INPE-2368-MD/019</i>	10. Páginas: <i>67</i>
			11. Última página: <i>58</i>
9. Autoria <i>Keiko Tanaka Hector Manuel Inostroza Juan José V. Bentancurt</i>			12. Revisada por  <i>Sydneia Maluf</i>  <i>Sydneia Maluf</i>
Assinatura responsável <i>Keiko Tanaka</i>			13. Autorizada por  <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>
14. Resumo/Notas  <i>O presente trabalho desenvolvido com objetivos didáticos, apresenta a metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em Oceanografia. São discutidos os elementos de interpretação de imagem para os diferentes tipos de sensores: dados MSS/LANDSAT, IV (infravermelho termal) e VIS (visível) de satélites meteorológicos da série NOAA e geoestacionário. Ênfase é dada à metodologia de interpretação visual e automática destes dados nos estudos de poluição costeira, corrente do Brasil e ressurgência.</i>			
15. Observações <i>Material Didático, preparado para cursos de treinamento em Sensoriamento Remoto e Aplicações, sob coordenação do Programa de Transferência de Tecnologia.</i>			

#### ABSTRACT

*The present work, developed for teaching purposes presents the methodology of interpretation of Remote Sensing data and oceanographic applications. The elements of image interpretation for the different types of sensors are discussed. The sensors utilized are the MSS of LANDSAT and the IV and VIS of NOAA'S and geostationary satellites. Emphasis has been given to the methodology, by comparing the visual and automatic data interpretation in the studies of: Pollution, the Brazil Current System and upwelling along the Southeastern Brazil Coast.*

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>v</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>vii</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
<u>CAPÍTULO 2 - PRINCÍPIOS BÁSICOS DA INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM OS MEIOS LÍQUIDO E ATMOSFÉRICO</u> .....	5
2.1 - Interações de radiação em águas costeiras .....	5
2.2 - Reflectância na superfície da água pela luz direta do sol .	6
2.3 - Transmissão de luz na água .....	8
2.4 - Atenuação da água oceânica e costeira .....	10
2.5 - Radiância recebida pelo satélite LANDSAT .....	14
2.5.1 - Propriedades espectrais da água e de seus poluentes .....	19
2.5.2 - Efeitos e interações .....	23
<u>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO VISUAL</u> .....	25
3.1 - Metodologia para interpretação visual de imagens em corpos d'água .....	28
3.2 - Acompanhamento das propriedades de águas costeiras, estuárias e lagunares .....	28
3.3 - Processos de observação in situ .....	29
3.4 - Parâmetros a serem medidos .....	30
3.5 - Estimativas dos parâmetros de água com sensores .....	30
3.6 - Reconhecimento de padrões em águas costeiras através de dados do LANDSAT .....	31
3.6.1 - Fase 1 - Procedimento preliminar .....	32
3.6.2 - Fase 2 - Seleção das áreas de treinamento .....	36
3.6.3 - Fase 3 - Aplicação do sistema MAXVER .....	37
<u>CAPÍTULO 4 - UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS EM OCEANOGRAFIA COM SATÉLITES QUE OPERAM NO INFRAVERMELHO (IV) TERMAL</u> ..	41
4.1 - Especificações dos principais sensores dos satélites NOAA, TIROS-N e SMS-2 .....	41
4.1.1 - Satélite NOAA-5 .....	41
4.1.2 - Satélite TIROS-N .....	43

	<u>Pág.</u>
4.1.3 - Satélite NOAA-6 .....	44
4.1.4 - AVHRR - (Radiômetro avançado de resolução muito alta)....	44
4.1.5 - Satélite SMS-2 .....	46
4.2 - Principais correntes, frentes e ressurgências dos oceanos do mundo .....	46
4.2.1 - Estudo oceanográfico do Sistema da Corrente do Brasil (SCB), com aplicações de sensoriamento remoto .....	50
4.2.2 - Ressurgência em Cabo Frio .....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1.1 - Processos básicos de interações de um raio de luz com a camada de água .....	1
2.1 - Raio de sol incidente e refletido .....	5
2.2 - Raio solar refratado .....	6
2.3 - Feixe de luz incidente, refletido e refratado .....	7
2.4 - Transmitância espectral para 10 metros de diversos tipos de água .....	10
2.5 - Curvas de atenuação de vários tipos de água do mar, com a faixa de atuação dos canais 4 e 5 do MSS - LANDSAT, baseado em Polcyn and Rollin (1969) .....	14
2.6 - Interação da radiação solar com a atmosfera e com a água.	16
2.7 - Reflectância espectral medida em diversos tipos de efluentes industriais e esgotos domiciliares .....	21
2.8 - Radiância espectral calculada com os dados da Figura 2.7, e recebida pelo satélite a 900 km de altura .....	22
3.1 - Resolução temporal e espacial, requeridas para observação de características oceanográficas, atmosféricas e cobertura de terra .....	27
3.2 - Representação esquemática do IMAGE-100 .....	32
3.3 - Fluxograma do processamento preliminar do CCT no I-100, contido nos canais do MSS, nos quatro canais, para o estudo da qualidade da água .....	35
3.4 - Fluxograma da seleção das áreas de treinamento para o MAXVER, através de "clustering" ou grupamento .....	37
3.5 - Fluxograma para definição das classes na imagem, aplicando-se o sistema MAXVER .....	38
4.1 - Órbitas e sensores do satélite NOAA-5 .....	42
4.2 - Posição das correntes e áreas onde ocorrem as ressurgências em escala mundial .....	48
4.3 - Perfil de temperatura e salinidade, mostrando as condições e a ausência de ressurgência .....	53

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Variações de reflectância com a distância zenital, para uma superfície de água lisa .....	8
2.2 - Comprimentos de onda de máxima transmitância para águas oceânicas e puras .....	12
2.3 - Medida de coeficiente de atenuação de águas costeiras na região de 0,40 a 0,55 $\mu\text{m}$ .....	13
2.4 - Irradiância espectral do sol em $\text{Watts}/\text{M}^2/\mu\text{M}$ .....	18
4.1 - Instrumento AVHRR (TIROS-N E NOAA-6) .....	45

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Para estudar fenômenos oceanográficos através de sensoriamento remoto, tem-se que, em primeiro lugar, imaginar uma atmosfera contribuindo para o espalhamento da radiação e reduzindo a intensidade do raio solar que chega na superfície do oceano. Os processos básicos que ocorrem na superfície do oceano são mostrados na Figura 1.1. A radiação solar é refletida e espalhada na superfície. Uma componente da radiação solar difusa é superposta à radiação solar direta, sendo, parte desta, refratada, absorvida e espalhada para o oceano. Uma fração da radiação espalhada penetra novamente na superfície, sofrendo reflexão.

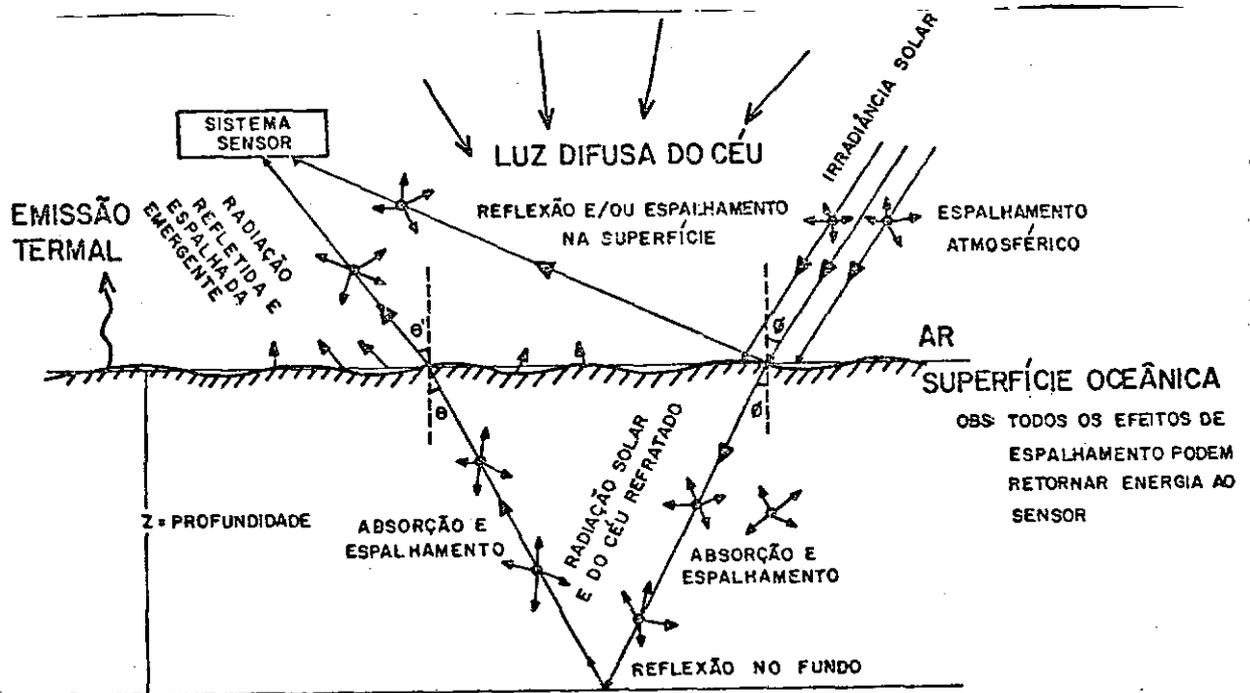


Fig. 1.1 - Processos básicos de interações de um raio solar com a camada de água.

Os olhos, um exemplo de sensor normal, são surpreendentemente limitados. Eles podem responder às excitações luminosas apenas em uma porção muito estreita do espectro eletromagnético, entre 4000 e 7000 ângstroms. Com o passar dos anos, aumenta-se esta reduzida capacidade de percepção à distância, desenvolvendo-se uma grande variedade de instrumentos especializados. Atualmente, as técnicas de sensoriamento remoto têm permitido a obtenção de um volume bastante grande de informações, outrora inacessíveis por processos comuns. Por exemplo, câmeras multiespectrais, que operam na faixa de 0,30  $\mu\text{m}$ , a 14,0  $\mu\text{m}$ , são usados na detecção de certas características do meio líquido, indicando a circulação superficial, circulação estuarina, etc.; radiômetros para o infravermelho, que operam na faixa de 8,0 a 14,0  $\mu\text{m}$ , são capazes de detectar gradientes térmicos na superfície do mar.

Todos os objetos da natureza têm sua distribuição característica de radiação refletida, emitida e absorvida. Estas características espectrais, quando bem exploradas, podem ser usadas para obter informações sobre sua forma, tamanho, ou outras propriedades físicas e químicas. Com base nestas características espectrais, pode-se selecionar apropriadamente os sensores sensíveis nestas faixas, para fazer as medidas desejadas.

A aplicação prática dos sensores remotos na pesquisa de recursos naturais é otimizada com a instalação desses sensores em aeronaves ou satélites artificiais, pois, uma vasta quantidade de dados poderão ser adquiridos por uma grande variedade de usuários.

Na interpretação destes dados, principalmente de fenômenos que ocorrem no mar, é indispensável considerar previamente a qualidade de um instrumento sensor, as variações temporais e espaciais do fenômeno, bem como suas características espectrais.

Além disso, se houver laboratórios para análise; pode-se avaliar a qualidade da água mais diretamente relacionada com as propriedades físico-químico-biológicas das águas (oxigênio dissolvido, nitrogênio solúvel, teor de clorofila "a"); poder-se-á ainda fazer análise sedimentológica e levantamento das curvas de reflectância espectral.

Pode-se observar que, caso se disponha apenas de dados de sensores remotos e de nenhum apoio de verdade terrestre, ainda assim poder-se-ã ter estimativa da qualidade da água, bem como certas estimativas da dinâmica do oceano.

De um modo geral, os sensores remotos fornecerã:

- a) dados instantãneos e sinãticos de uma situaãõ que, dependendo da frequãncia de repetiãõ de sobrevão, daria informaãões sobre a dinãmica do corpo d'ãgua; embora haja limitaãões com relaãõã cobertura de nuvens;
- b) resoluãõ geomãtrica dos sensores remotos que sempre ã maior do que qualquer coleta de amostras, fornecendo um volume de informaãões muito mais denso, por unidade de ãrea;
- c) rapidez na obtenãõ dos dados de certos sensores remotos que ã fundamental tambãem para sua aplicaãõ.

## CAPÍTULO 2

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

#### 2.1 - INTERAÇÕES DE RADIAÇÃO EM ÁGUAS COSTEIRAS

As interações básicas de um raio de luz (raio solar) ao atravessar um meio líquido é sujeito a vários efeitos, tais como:

- a) Reflexão na superfície da água, quando o raio solar atinge a água e a deixa. (Figura 2.1).
- b) Refração na superfície da água, quando o raio solar penetra a água e a deixa. (Figura 2.2).
- c) Absorção do raio solar pela água e outros materiais no oceano.
- d) Espalhamento e mudança de direção do percurso da luz por partículas presentes na água.
- e) Reflexão na base do raio solar do oceano.

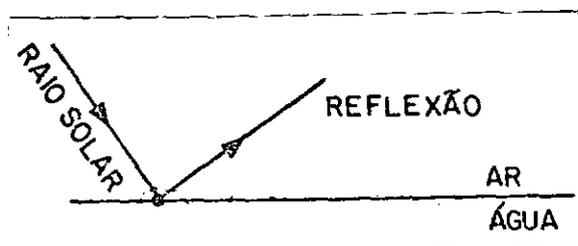


Fig. 2.1 - Raio de sol incidente e refletido.

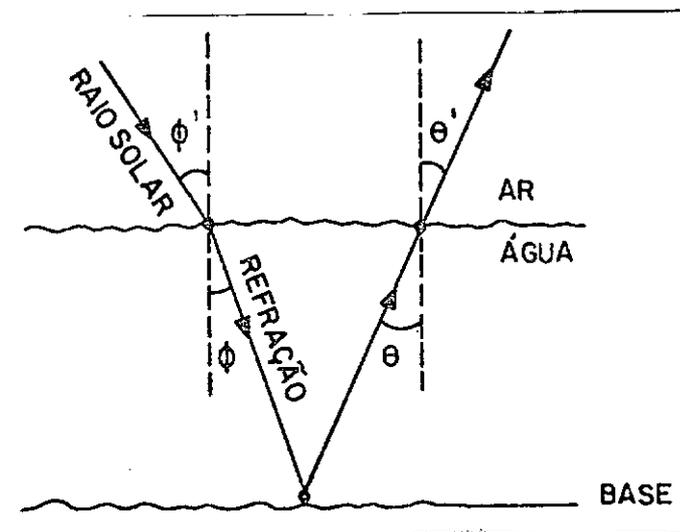


Fig. 2.2 - Raio solar refratado.

## 2.2 - REFLECTÂNCIA NA SUPERFÍCIE DA ÁGUA PELA LUZ DIRETA DO SOL

*Reflectance. The ratio of the reflected radiant flux to the incident radiant flux. (Jerlov, 1968)*

Segundo Williams, (1970), a quantidade de luz refletida pela superfície oceânica e que afeta a reflectância é função de três parâmetros, que são: a natureza da superfície oceânica, que pode ser lisa ou rugosa; o ângulo de elevação solar, e a quantidade relativa da luz do céu. Existe também o quarto parâmetro que é a luz espalhada pelas partículas existentes no oceano e que voltam para a atmosfera (Figura 2.3).

O efeito da altitude ao sol sobre a reflectância, por uma superfície lisa, é dada pela equação de Fresnel:

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

onde:

$\rho$  é a reflectância.

$i$  é o ângulo em relação ao normal, produzido pela luz incidente.

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

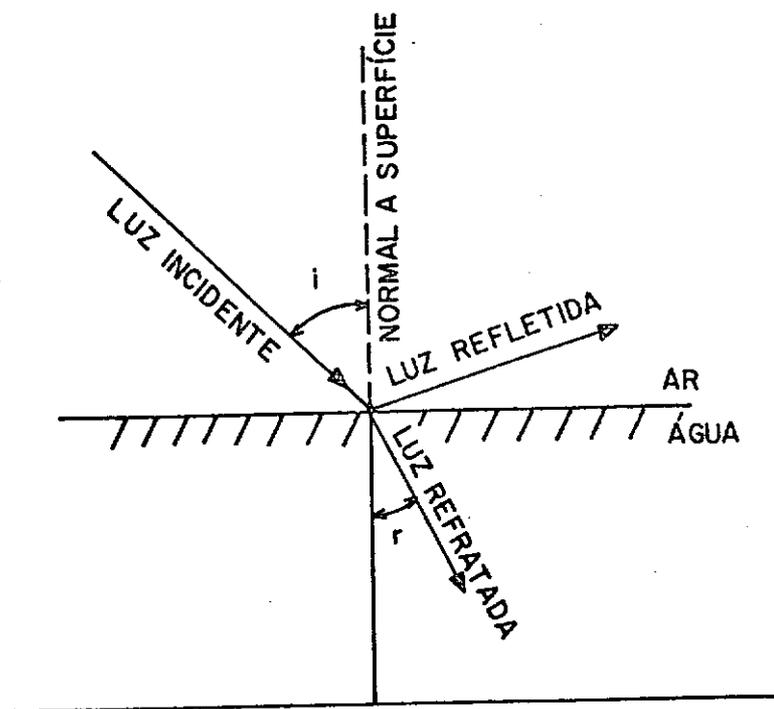


Fig. 2.3 - Feixe de luz incidente, refletido e refratado.

A Tabela 2.1 mostra a reflectância calculada em diferentes ângulos para a radiação direta do sol, a uma superfície lisa.

TABELA 2.1

VARIAÇÕES DE REFLECTÂNCIA COM A DISTÂNCIA  
ZENITAL, PARA UMA SUPERFÍCIE DE ÁGUA LISA

DISTÂNCIA DO ZENITE	REFLECTÂNCIA
0 <sup>o</sup>	2,0%
10 <sup>o</sup>	2,0%
20 <sup>o</sup>	2,0%
30 <sup>o</sup>	2,1%
40 <sup>o</sup>	2,4%
50 <sup>o</sup>	3,5%
60 <sup>o</sup>	5,9%
70 <sup>o</sup>	13,2%
80 <sup>o</sup>	34,7%
90 <sup>o</sup>	100,0%

FONTE: Williams (1970), p. 34.

A radiação que não é refletida diretamente na superfície do mar, penetra no oceano, e pode ser: transmitida ou atenuada; absorvida e refletida de volta para a superfície.

2.3 - TRANSMISSÃO DE LUZ NA ÁGUA

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

A água absorve a luz seletivamente de uma maneira complexa, em função do comprimento de onda, ou cor da luz. Água destilada e água oceânica clara têm maior transmitância na região do azul-verde do espectro. Exatamente na janela do azul-verde, a absorção d'água é suficiente para reduzir a intensidade da luz em aproximadamente, 4% (quatro por cento) em todo o percurso. Outras cores são mais levemente absorvidas e quase eliminadas completamente após uns poucos metros de percurso na água.

Além disso, partículas em suspensão e contaminantes na água servem para reduzir a transmissão de luz. O pico de transmissão da água desvia em direção ao verde, ou em direção à região do amarelo-verde. Este desvio é facilmente observado na mudança da água clara oceânica para áreas costeiras menos claras.

Specht et alii (1973) transformaram os dados de atenuação em transmitância de quatro tipos de água, para uma camada de 10 metros de profundidade (Figura 2.4). Nesta Figura, observa-se que, à medida que se aproxima da costa, a transmitância de luz na água diminui em todos os comprimentos de onda. Esta diminuição pode ser provocada pelo aumento do espalhamento não-seletivo (espalhamento Mie), devido à maior concentração das partículas em suspensão.

Portanto, a água do mar, através dos seus mecanismos de absorção e espalhamento, atua como um filtro óptico para a energia radiante visível, atenuando fortemente os comprimentos de onda do vermelho e do azul; estes últimos dependendo do tipo de água. O máximo de transmissão da água oceânica clara coincide com a da água destilada, e ocorre nas proximidades do comprimento de onda de 480 nm. As águas de baía têm uma atenuação maior, e o seu máximo de transmissão é deslocado para 550 nm ou mais, devido, principalmente, à maior presença de produtos dissolvidos da decomposição de materiais orgânicos, e de partículas em suspensão.

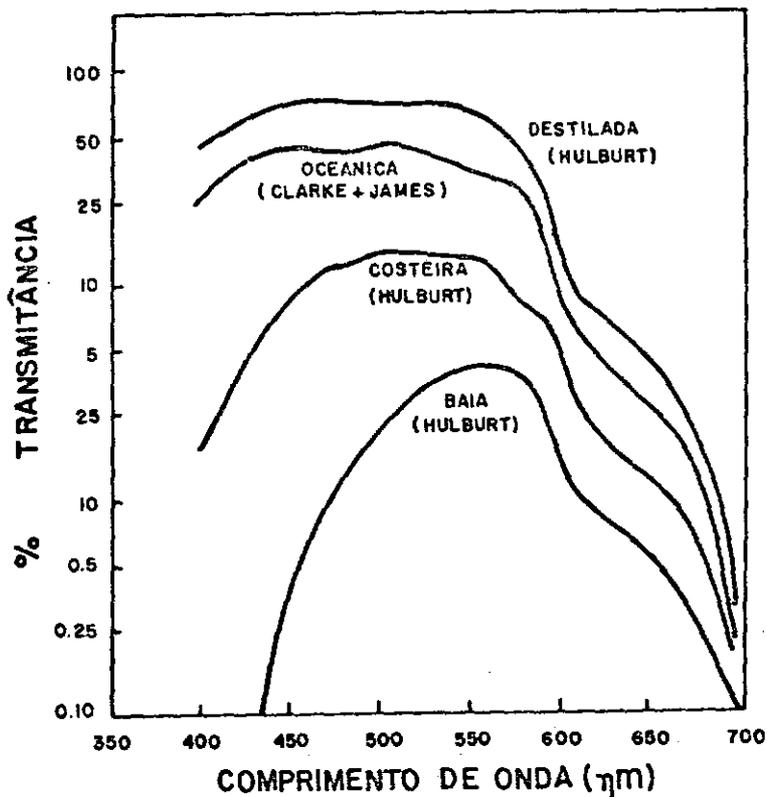


Fig. 2.4 - Transmitância espectral para 10 metros de diversos tipos de água.

FONTE: Specht et alii (1973), p.24

#### 2.4 - ATENUAÇÃO DA ÁGUA OCEÂNICA E COSTEIRA

Como foi dito anteriormente, existe uma janela de transmissão da água do mar na região do azul-verde, com o máximo variando de 480  $\mu$  para a água destilada, até 550  $\mu$ , ou próximos dele, para águas com maior presença de partículas em suspensão. Além da mudança de cor da água, partículas em suspensão desviam os comprimentos de onda de máxima transmitância em direção a comprimentos de onda maiores.

A relação entre transmitância, densidade e coeficiente de atenuação pode ser derivada. O coeficiente de atenuação, ou coeficiente de extinção  $\alpha$ , é definido, na equação, de acordo com a lei de Beer:

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

onde  $I_z$  é a intensidade de um feixe de luz, paralelo ao comprimento de onda  $\lambda$ , após penetrar uma distância  $z$ ;  $I_0$  é a intensidade na superfície e  $z$  é a espessura da camada d'água.

A transmitância é definida como:

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

e a densidade como:

$$D = \log_{10} \frac{I_0}{I_z} = \log_{10} \frac{1}{T}$$

Entretanto, a relação entre densidade e coeficiente de atenuação é:

$$D = 4343\alpha z, \text{ onde } z, \text{ de novo, é a espessura da camada em cm.}$$

A Tabela 2.2 apresenta os comprimentos de onda de máxima transmitância para várias águas oceânicas e água pura.

TABELA 2.2

COMPRIMENTOS DE ONDA DE MÁXIMA TRANSMITÂNCIA  
PARA ÁGUAS OCEÂNICAS E PURAS

VÁRIOS TIPOS DE ÁGUA	COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA TRANSMITÂNCIA ( $\mu$ )	TRANSMITÂNCIA (%)	COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO TOTAL ( $\alpha$ ) ( $m^{-1}$ )
Água Pura	0,470	98,5	0,015
Água oceânica mais clara	0,470	98,1	0,0192
Água oceânica média	0,475	89,0	0,1053
Água costeira mais clara	0,500	88,6	0,1210
Água costeira média	0,550	72,4	0,3230
Água oceânica perto da costa média	0,600	68,8	0,3857

FONTE: Polcyn and Rollin (1969), p. 9.

A Figura 2.5 compara os coeficientes de atenuação espectral para várias águas costeiras e água pura, com medidas tomadas em nove localizações geográficas diferentes, as quais estão indicadas na Tabela 2.3 e Figura 2.5. Os coeficientes de atenuação mínima (máxima de transmitância da água do mar) das águas costeiras e oceânica média, desviam em direção a comprimentos de ondas mais longos. A curva da "costeira máxima" tem o seu mínimo em 0,549  $\mu$ . Os coeficientes de atenuação média para água oceânica são 4 a 5 vezes maiores do que os da água pura. Como mostrado na Figura 2.5, no intervalo de 0,46 a 0,60  $\mu$ , os coeficientes de atenuação mínima, média e máxima são respectivamente, 16,24 e 30 vezes maiores que os da água pura. As curvas de coeficiente de atenuação versus comprimentos de ondas das águas costeira mínima e costeira média ficam entre as curvas da costeira máxima e oceânica. A diferença na transmitância da água costeira é devida ao número de partículas em suspensão na água. As águas de Baías e interiores geralmente tem coeficientes de atenuação maiores do que as costeiras, conforme mostrados na Tabela 2.3.

TABELA 2.3

MEDIDA DE COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO DE ÁGUAS COSTEIRAS

NA REGIÃO DE 0,40 A 0,55  $\mu\text{m}$

POSIÇÃO	PROFUNDIDADE (m)	INTERVALO ESPECTRAL ( $\mu$ )	PICO DE RESPOSTA ( $\mu$ )	COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO ( $\alpha$ ) ( $\text{m}^{-1}$ )
A. "Woods Hole Harbor" Lat. 41°31'N, Long. 70°40'W	20	0,4995-0,6000	0,54	0,30
B. "Off Grey Head" 41°10'N, 70°57'W	30	0,4995-0,6000	0,54	0,16
C. "Vineyard Sound" 41°30'N, 70°36'W	24	0,4995-0,6000	0,54	0,20
D. "Buzzards Bay" 41°33'N, 70°42.4'W	16	0,4995-0,6000	0,54	0,25
E. "Off George Bank" 40°48'N, 68°40'W	60	0,4995-0,6000	0,54	0,13
F. "Gulf of Maine" 42°68'N, 69°64'W	165	0,49-0,62	0,54	0,105
G. "Gulf of Maine" 42°08'N, 61°04'W	165	0,346-0,526	0,436	0,112
H. "Gulf of Panama"			0,440	0,453
I. Água costeira entre Madeira e Gibraltar			0,465	0,129

FONTE: Polcyn and Rollin (1969), p. 11

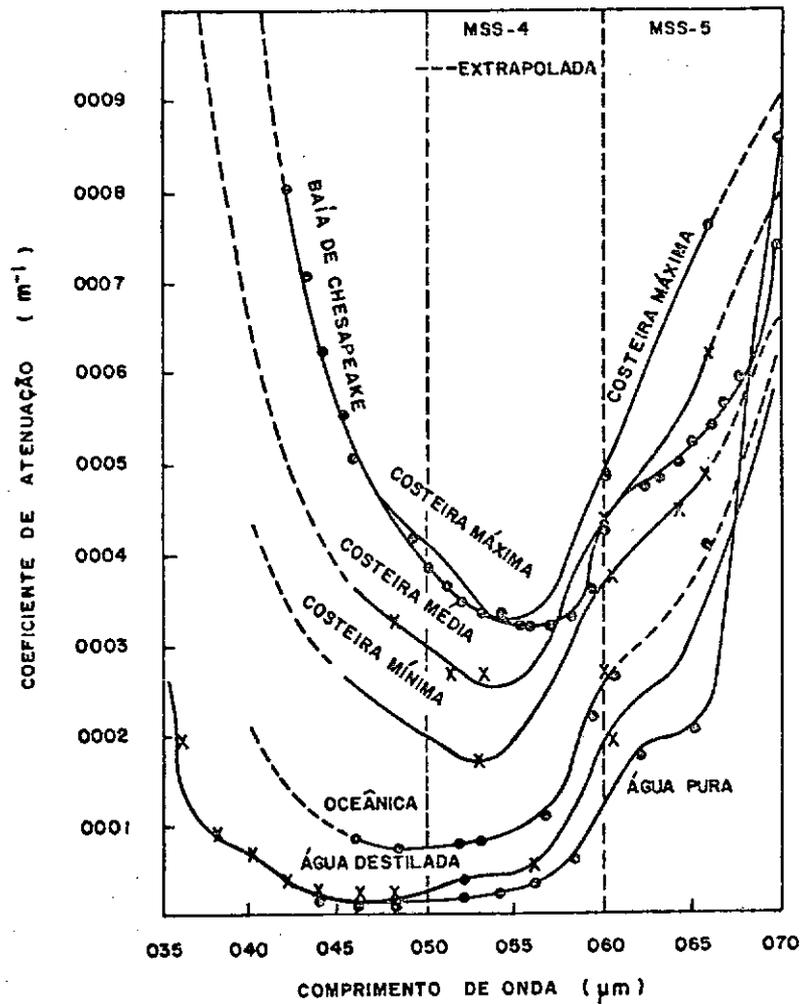


Fig. 2.5 - Curvas de atenuação de vários tipos de água do mar, com a faixa de atuação dos canais 4 e 5 do MSS - LANDSAT, baseada em Polcyn and Rollin (1969), p.10.

## 2.5 - RADIÂNCIA RECEBIDA PELO SATÉLITE LANDSAT

Num dia sem nuvens, a irradiância do sol ( $H_s$ ) atinge a superfície da água, após passar pela atmosfera com uma transparência  $\tau$ . A radiância resultante, num ângulo zenital  $\theta$  (Scherz e Domelen, 1975), é:

$$L_S^* = \frac{H_S \tau}{\cos \theta}$$

O símbolo (\*) indica a energia emergindo da interface, ou incidindo sobre ela, e (\*\*) indica a energia que chega ao espaço e atinge o satélite (Figura 2.6).

A radiância  $G^*$  refletida pela interface ar-água abandona a superfície com um ângulo igual ao incidente e, pela geometria e a hora local do imageamento, geralmente não é registrada pelos detectores. No caso de fotografias com câmeras, como o ângulo de visada é muito maior que o do MSS dos LANDSAT:  $11^\circ 56'$  (NASA, 1975), a radiância  $G^*$  pode ser registrada no filme ofuscando a informação proveniente do interior do corpo da água.

Além da radiação direta do Sol, a água recebe a radiação espalhada pelos componentes do ar, denominada luz do céu, ou ("skylight"). Entretanto, o que interessa é a radiância do céu incidente desde o zênite ( $L_C^*$ ), que se reflete pela interface e atinge o satélite ( $S_C^*$ ).

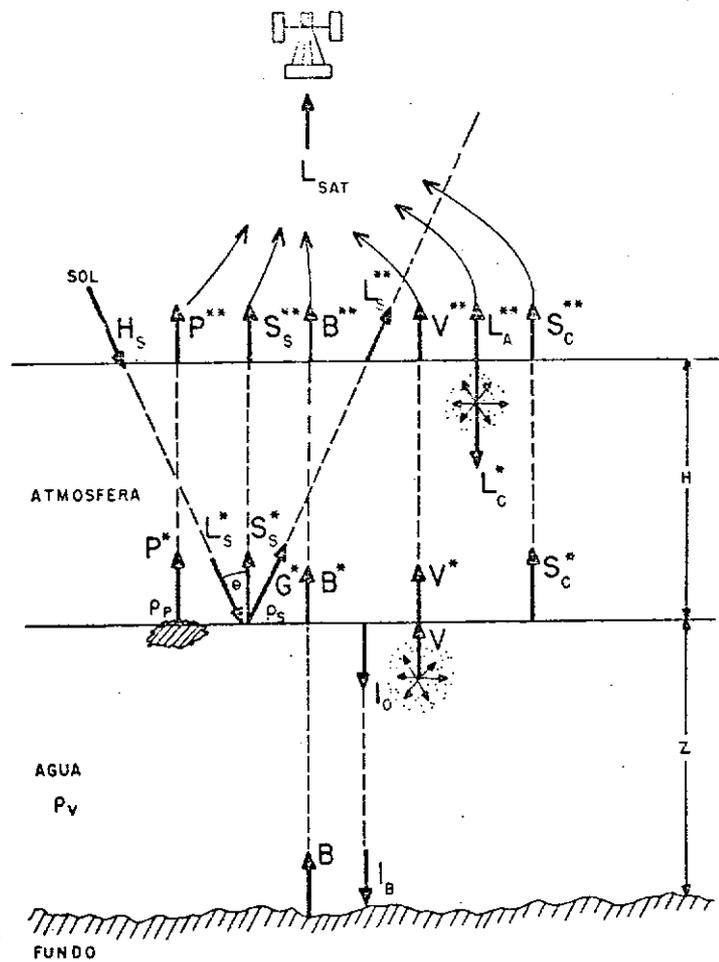


Fig. 2.6 - Interação da radiação solar com a atmosfera e com a água.

Baseado em: Schertz and Domelen (1975), p. 457.

- $L_{sat}$  - 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 borrrifo 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;
- $I_0$  - energia radiante que consegue penetrar na água;
- $I_B$  - energia radiante que atinge o fundo;
- $\rho_V$  - reflectância por volume da água;
- $\rho_S$  - reflectância da espuma e borrrifo do mar;
- $\rho_p$  - reflectância dos materiais flutuantes;
- \* - indica emergência da água;
- \*\* - indica emergência da atmosfera.

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

$$H_C^* = L_C^* \pi,$$

sendo a irradiância total incidente igual a:

$$H_0^* = H_S^* + H_C^*$$

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

$$I_0 = H_0^* (0,98 - \rho_S)$$

A irradiância espectral do sol  $H_S$  encontra-se na Tabela 2.4, que contém os dados de Johnson (1954). Nela pode-se ver que a energia incidente do sol é aproximadamente igual à de um corpo negro 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, ela muda muito ao longo do tempo. Observa-se também que as reflectân

cias do borrifo do mar, da interface e do volume de água são espectralmente variáveis. Finalmente, haverá uma somatória de efeitos consideráveis para cada comprimento de onda.

TABELA 2.4

IRRADIÂNCIA ESPECTRAL 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		M	0,640		1,66	S
0,425	1,89	0,525	1,92		S	0,650		1,62	S
0,430	1,78	0,530	1,95		S	0,660		1,59	
0,435	1,82	0,535	1,97			0,670		1,55	5
0,440	2,03	0,540	1,98		4	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

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

Vários autores têm feito medições da reflectância espectral total da água, cuja fórmula é:

$$\rho_A = \rho_S \rho_V$$

sendo que  $\rho_A$  pode ser definida também como:

$$\rho_A = \frac{S_S^* + V^* + S_C^*}{L_S^* + L_C^*}$$

Wezernak et alii (1976b) compilaram todas estas medições feitas de barco e aeronave, aplicaram um modelo de transferência da radiação na atmosfera, e calcularam a radiância total que recebe o satélite a 900 km de altura. Esta radiância total é produto da soma da radiação inerente da água com a do retroespalhamento da atmosfera (Figura 2.6), onde:

$$L_{\text{sat}} = (V^{**} + S_S^{**} + S_C^{**}) + L_A^{**}$$

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 alguns gráficos (Figuras 2.7 e 2.8, 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, leva-se em consideração que os arredores do alvo têm reflectância nula, a superfície refletora é de resposta lambertina, e o ângulo de 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  $\mu\text{m}$ , a contribuição dos efeitos atmosféricos é tão forte que pode im pedir a discriminação dos poluentes.

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

A contribuição mais importante da radiância recebida pelo satélite deve-se a própria reflectância total da água:  $\rho_A$  (Figura 2.6). Nesta reflectância total, na Baía de Guanabara,  $\rho_S$  é bem menor em relação a  $\rho_V$ , devido ao fato de existir pouca espuma gerada pela agitação superficial. Em mar aberto e em certas condições de agitação intensa, a contribuição de  $\rho_S$  pode ser importante e deve ser levada em conta (Scherz and 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, pois trata-se de área tropical e industrializada. A alta umidade, a presença de grande quantidade de aerossóis naturais e artificiais, e o pó e a fumaça decorrentes de atividades rurais fazem com que a  $L_A$  varie muito ao longo do ano e de um dia. No inverno há menor índice de umidade atmosférica, além da presença de névoa durante algumas horas da manhã, com grandes possibilidades de acumulação de poluentes industriais. No verão, a poluição do ar pode ser menor, mas a umidade do ar é sempre mais alta.

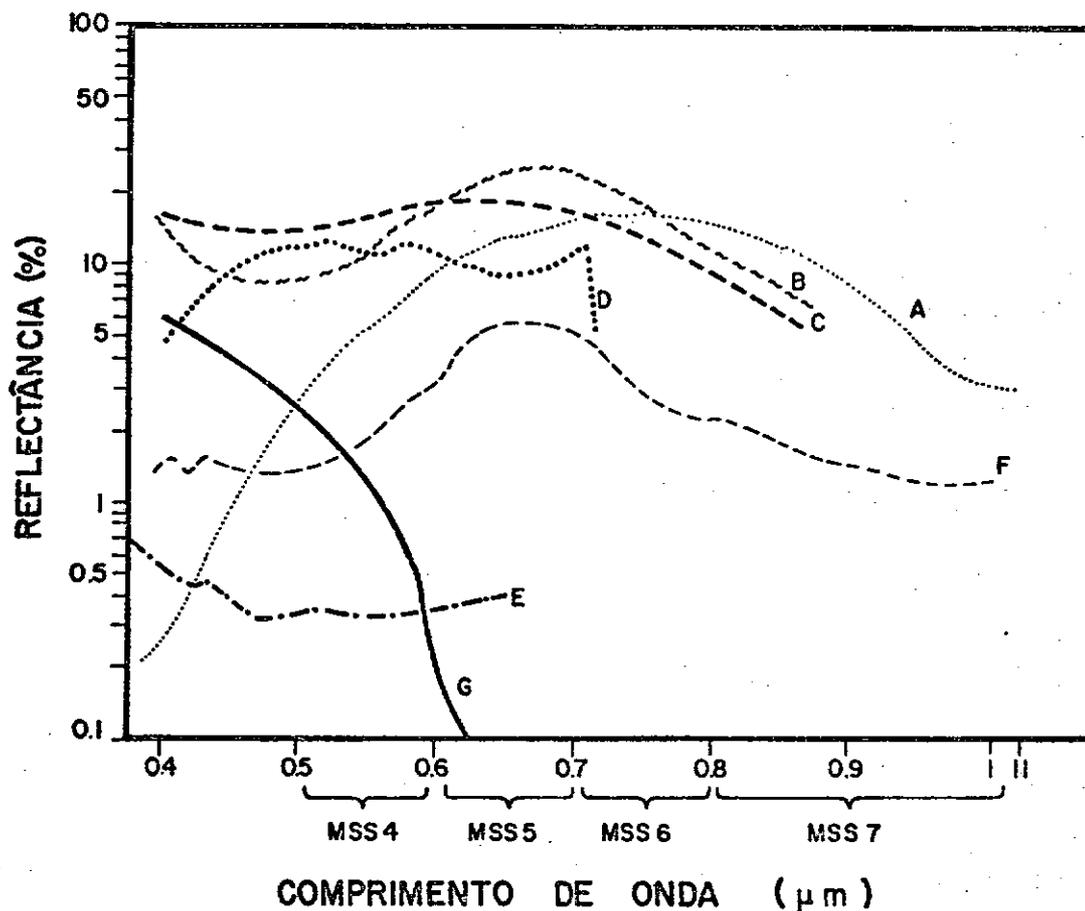


Fig. 2.7 - Reflectância espectral medida em diversos tipos de efluentes industriais e esgotos domiciliares.

FONTE: Wezernak et alii (1976b), p. 185 e 190.

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

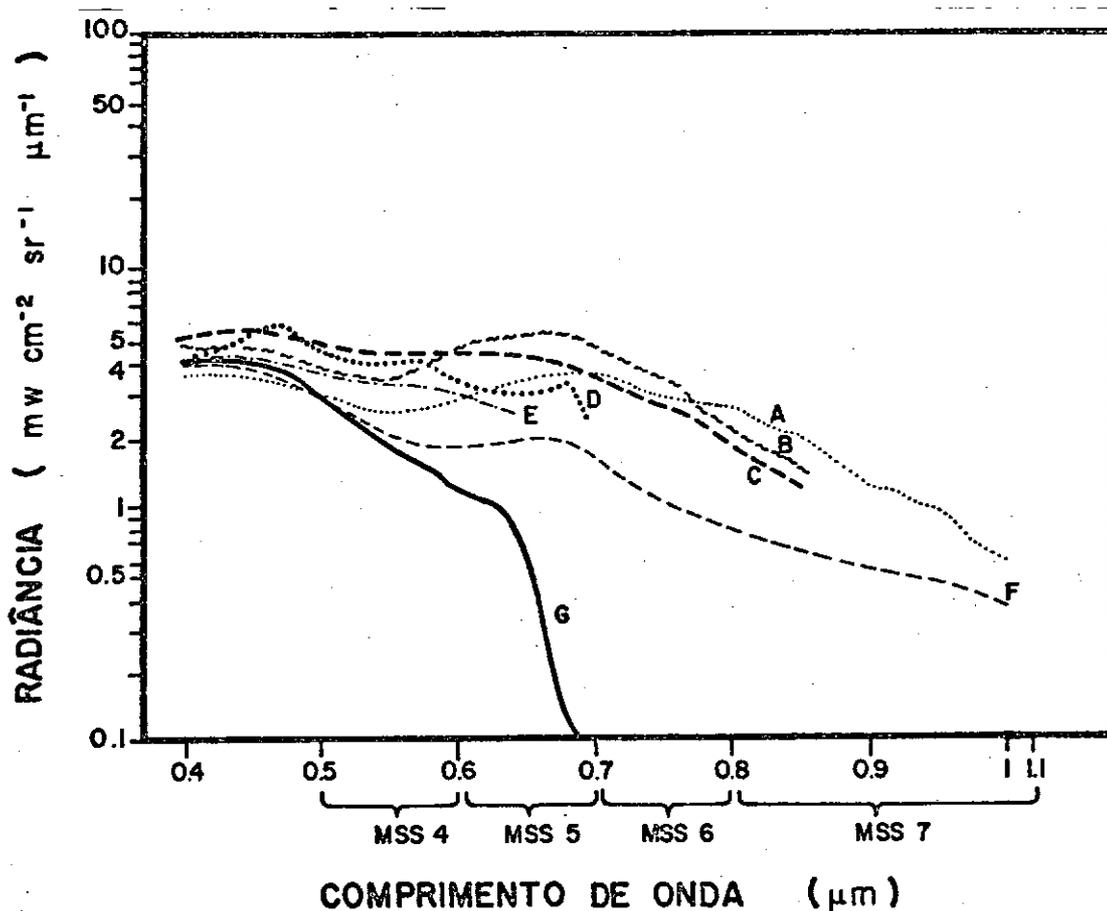


Fig. 2.8 - Radiância espectral calculada com os dados da Figura 2.7, e recebida pelo satélite a 900 km de altura.

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

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

Nas Figuras 2.7 e 2.8 estão expressos os valores medidos para reflectância e calculados para a radiância recebida pelo satélite em águas oceânicas claras com sólidos em suspensão e águas poluídas. Pode-se observar que as radiâncias das águas poluídas têm sempre respostas mais altas que as do oceano, nas quatro faixas em que atua o MSS, inclusive, na faixa MSS 7, em que a água pura absorve praticamente toda a radiação; estas águas apresentam valores mais altos que os 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 desejado, onde o teor em poluentes é grande (Wezernak, 1976a). Também existem poluentes como a matéria orgânica de esgoto domiciliar que, ao chegar ao corpo de água receptor com salinidade maior, tendem a separar as partes mais leves e permitir a floculação de certas frações e, em alguns casos, precipitar boa parte delas. Alguns poluentes industriais solúveis, ou pesados, embora muito nocivos, são de difícil percepção por não transmitirem cor à água, ou por precipitá-la instantaneamente.

O resultado de todas estas interações é que as curvas de reflectância espectral de diferentes tipos de água mostram diferentes formas, o que se observou na Figura 2.7, em diferentes tipos de águas poluídas. O tanino dá uma curva achatada devido à grande absorção em todos os comprimentos de onda, o esgoto de fábrica de papel tende aos vermelhos e infravermelhos devido à presença de sulfato de lignina avermelhados escuros, o óleo apresenta os valores mais baixos de reflectância e a curva é bem achatada.

#### 2.5.2 - EFEITOS E INTERAÇÕES

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

- a) Na Seção 2.5.1 já se explicou que o sinal proveniente da água e recebido pelo sensor do satélite é composto fundamentalmente da somatória da radiância refletida, proveniente do céu, na quela direção ( $S_c$ ), da radiância proveniente do retroespalhamento da radiação solar com a atmosfera ( $L_A$ ), da radiância proveniente do material flutuante na água, e da radiância emergente do interior do corpo de água, produto do retroespalhamento da radiação solar que penetrou na água ( $V$ ). Esta última radiância diz respeito à qualidade da água; portanto deve-se tentar

eliminar os outros efeitos (todos os mencionados são aditivos, segundo Kriegler et alii, 1969).

- b) Um outro efeito importante pode ser denominado ruído eletrônico, que se compõem de diversos sinais: ruído dos próprios sensores e do circuito da espaçonave (efeito predominantemente aditivo), mudança nos ganhos dos amplificadores ou dos próprios detectores (efeito multiplicativo). Durante a calibração dos dados de vídeo, pode-se adicionar efeitos aditivos ou multiplicativos, pois os dados de calibração não são corretos. Stevenson (1975) expressa sua desconfiança de que os dados de calibração não sejam válidos; em seu trabalho eles não se mostram eficientes para eliminar o "strapping" (fatiado). Ele usa um método estatístico no lugar dos dados de calibração fornecidos pela NASA.
- c) 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) O valor da transmissividade da radiação (Jurica, 1973) é importante, uma vez que varia muito devido à presença ou ausência de alta quantidade de aerossóis, à névoa, à variação da elevação solar, à variação da quantidade de umidade, etc. Estes efeitos podem variar de hora em hora e de local a local (efeito multiplicativo).

### CAPÍTULO 3

#### METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO VISUAL

Neste capítulo apresenta-se o conceito do processo de extração de informações, através da análise de sua resposta nos quatro canais do MSS do satélite LANDSAT. Esse processo consiste basicamente em inspecionar e identificar diferentes padrões tonais e texturais, em cada canal, e compará-los com diferentes canais, em diferentes épocas.

As imagens do LANDSAT são produzidas pelos quatro canais multiespectrais do radiômetro (MSS). Cada canal é sensível a uma faixa do espectro, a saber:

canal 4 → 0,5 - 0,6 μm	} visível
canal 5 → 0,6 - 0,7 μm	
canal 6 → 0,7 - 0,8 μm	} infravermelho próximo
canal 7 → 0,8 - 1,1 μm	

O satélite passa no mesmo local a cada 18 dias, a uma altitude de 920 km. O MSS varre uma faixa no terreno de 185 km de largura.

Pode-se fazer análise visual de imagens do MSS ou analisá-las diretamente sobre os dados armazenados em fitas magnéticas, em forma digital, usando-se computadores.

A resolução espacial dos dados do LANDSAT corresponde, no solo, a uma área de 79 m x 79 m e, na imagem, a um "pixel" ("picture element"), que é o elemento de resolução no solo para o MSS - LANDSAT.

Para a interpretação visual das imagens LANDSAT, devem-se considerar alguns aspectos, tais como:

- 1) *Aspecto espectral* - Permite a coleta de informações em 4 faixas distintas do espectro eletromagnético. Por exemplo, na Fi

gura 2.7 as curvas de reflectância espectral de diferentes tipos de águas mostram diferentes formas. O esgoto domiciliar (D) apresenta alta reflectância nos canais 4 e 5 do MSS. A água clara do oceano, por sua vez, apresenta baixa reflectância no canal 4, e nenhuma no canal 7.

- 2) *Aspecto temporal* - Devido ao caráter dinâmico das águas oceânicas e à repetitividade de imageamento feito pelo LANDSAT, as variações temporais apresentadas pelos padrões de tonalidade e textura do alvo permitem a análise das modificações no tempo. Desta forma, o aspecto temporal das imagens torna-se um fator de grande importância para a interpretação visual.
- 3) *Aspecto espacial* - O aspecto espacial relaciona-se com a forma e distribuição dos alvos que compõem a cena imageada. Cada alvo geralmente apresenta forma e distribuição características, que facilitam sua identificação na imagem. A resolução espacial do MSS do LANDSAT é 80 m e, neste intervalo, é adequada para o monitoramento de zonas costeiras, mas não para a detecção de mudanças de pequena escala.
- 4) *Seleção de canais* - A escolha do canal ou dos canais a serem utilizados na análise visual de imagens LANDSAT é um passo muito importante no acompanhamento de fenômenos oceanográficos. O conhecimento prévio das características do alvo em cada canal auxilia na escolha dos canais adequados ao objetivo do intérprete. Para estudos da qualidade dos corpos de água, os canais 4 e 5 são os mais recomendados. O canal 4 permite uma maior penetração de luz na água, e favorece os estudos de sedimentação, batimetria, etc. O canal 6 também é sensível às variações de teor de sedimentos em suspensão nos corpos de água, principalmente quando existem substâncias de cor vermelha, decorrentes das descargas de rios. Apesar de não fornecer informações sobre a condição interna dos corpos de água, o canal 7 geralmente é útil na definição dos limites entre terra e água, devido à alta absorvância da água nessa faixa do espectro.
- 5) *Seleção de escala* - A escolha da escala na imagem dependerá do detalhe exigido. Por exemplo, estudos que envolvem alvos meno

res devem ser feitos em escalas maiores. Outro fator que também deve ser considerado na seleção de escala é a extensão da área de estudo.

A Figura 3.1 mostra um gráfico da resolução temporal versus resolução espacial, requeridas para observação de característica oceanográfica, atmosférica e cobertura de terra.

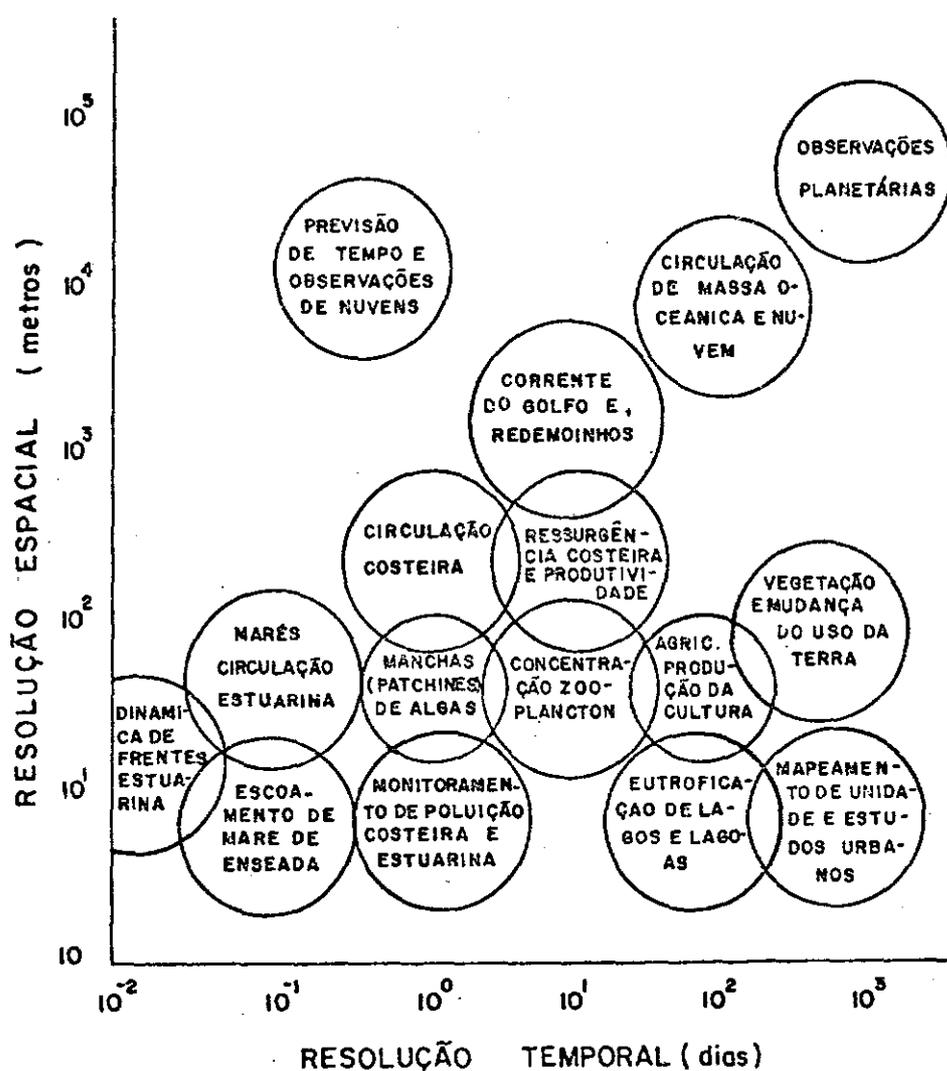


Fig. 3.1 - Resolução temporal e espacial, requeridas para observação de característica oceanográficas, atmosféricas e cobertura de terra.

FONTE: Klemas and Bartlett (1980) p. 559.

### 3.1 - METODOLOGIA PARA INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS EM CORPOS D'ÁGUA

Qualquer que seja o tema a ser mapeado através da análise visual de imagens LANDSAT, um passo fundamental no processo é a obtenção de uma base para a montagem dos "overlays" (transparências).

IMAGENS	MSS-4	MSS-5	MSS-6	MSS-7
	↓	↓	↓	↓
"OVERLAY"	0-4	0-5	0-6	0-7
	↓	↓	↓	↓
BANDA ESPECTRAL (μm)	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-1,1
	↓	↓	↓	↓
COR	Verde	Laranja	Vermelho	Infravermelho próximo

O primeiro passo na interpretação visual de imagens consiste na identificação do maior número possível de unidades homogêneas, em termos de tonalidade. A seguir, deve-se fazer uma análise conjunta dos canais de onde se extraíram as informações.

Ainda como parte do processo de interpretação visual de imagens, deve-se destacar a importância do estabelecimento de relações entre o comportamento de corpos d'água nas imagens e seu aspecto na superfície ou subsuperfície, visando a descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos, do significado das funções e relações dos fenômenos observados na imagem. Essas relações são complementadas por informações bibliográficas e combinação de informações de satélites com processos de observação in situ, por regimes de correntes, marés, ventos e, até mesmo, por modelos matemáticos, para que se possa entender as inter-relações físicas.

### 3.2 - ACOMPANHAMENTO DAS PROPRIEDADES DE ÁGUAS COSTEIRAS; ESTUARINAS E LAGUNARES

O satélite LANDSAT não foi projetado para levantamento de informação da água. Os quatro canais espectrais foram selecionados pa

ra aplicação e levantamento de recursos terrestres. Contudo, há uma quantidade surpreendente de informações de águas na imagem do LANDSAT.

Em águas estuarinas, costeiras e lagunares, onde a quantidade de sedimento é relativamente alta, o sedimento pode ser usado como traçador para correntes superficiais. Os padrões de distribuição de sedimento são também indicativos de frentes, redemoinhos e regiões de ressurgência. Herz (1977), Tanaka e Almeida (1980) têm utilizado imagens LANDSAT para estimar a direção e a dispersão de sedimentos.

Satélites, como o LANDSAT, aviões e navios têm sido utilizados com êxito para estudar circulação e frentes costeiras e estuarinas. Frentes (regiões de descontinuidade térmica, de sedimentos, etc) são as maiores características hidrográficas na maioria das águas costeiras e estuarinas.

As massas d'água separadas por uma frente frequentemente diferem em turbidez e propriedades espectrais, as quais podem ser observadas por sensores remotos. Os satélites e aviões equipados com sensores são capazes de fornecer uma visão sinótica de frentes, em tempo real, sobre grandes áreas costeiras (Klemas and Bartlett, 1980). Além disso, é possível fazer o acompanhamento das variações temporais de fenômenos oceanográficos.

### 3.3 - PROCESSOS DE OBSERVAÇÃO IN SITU

Os processos de observação in situ consistem na coleta de amostras de água em diferentes níveis, durante períodos prolongados, abrangendo todas as possíveis variações nas condições ambientais, tanto horizontal como verticalmente. Um processo normal de coleta num ponto do corpo d'água requer da ordem de 15 minutos a meia hora, dependendo do grau de amostragem e dos parâmetros que se pretende estimar. Este ponto é importante, visto que uma equipe de coleta só poderá amostrar cerca de 4 pontos, 1 hora antes e 1 hora depois da passagem do satélite.

### 3.4 - PARÂMETROS A SEREM MEDIDOS

Na coleta de amostras, alguns parâmetros podem ser medidos para serem correlacionados com as imagens do satélite, tais como: profundidade de dois discos de Secchi-branco e cinza - (Bentancurt, 1981), teor de sedimentos em suspensão, teor de clorofia "a", teor dos nutrientes essenciais para os organismos, observações sobre quantidade de sólidos ou líquidos flutuantes, rugosidade de superfície e profundidade da água.

Levando-se em conta todos os fatores apontados para a escolha do método analítico, devem-se considerar as seguintes características:

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

Além dos parâmetros de qualidade da água já mencionados, podem-se coletar outras informações complementares para estudar a dinâmica dos corpos d'água, tais como: altura e correntes da maré, e ventos, pelo menos dois dias antes da passagem do satélite. Mesmo assim, serão importantes os dados de chuvas, a vazão dos rios e os esgotos na área da bacia do corpo de água em estudo. A resolução temporal necessária para uma análise exaustiva deve ser horária.

### 3.5 - ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DA ÁGUA COM SENSORES

Caso se pretenda obter, através de abordagem empírica (ou estatística), estimativas semiquantitativas dos parâmetros de qualidade d'água, com os dados de vídeo de sensores remotos, os dados men

cionados anteriormente são suficientes para a consecução das altas correlações entre os parâmetros de qualidade d'água e os dos dados da imagem dos sensores do LANDSAT.

Os coeficientes de correlação podem ser calculados por meio da análise de regressão linear ou não-linear, ou até por meio da regressão multivariada. Depois de realizados vários levantamentos das diferentes condições ambientais encontradas no corpo d'água, pode-se ter um modelo empírico para prever a qualidade d'água através do uso de sensores remotos, sem necessidade de coletar muitas amostras.

Por outro lado, se o que se pretende com a análise das imagens de satélite é obter estimativas da radiância emergente do alvo, e com ela inferir a qualidade da água, serão necessárias, além dos dados mencionados, medidas de radiância de retroespalhamento do alvo, da radiância do céu, da irradiância do sol, e da transmissividade espectral da atmosfera.

### 3.6 - RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM ÁREAS COSTEIRAS ATRAVÉS DE DADOS DO LANDSAT

Geralmente o termo reconhecimento de padrões, como usado na literatura técnica, refere-se ao desenvolvimento de técnicas e equipamentos para o reconhecimento automático de padrões em imagens. Nesta seção, dá-se mais ênfase às aplicações dos programas desenvolvidos e implementados no sistema I-100, sem entrar em detalhes matemáticos e em algoritmos de classificação.

A diferença entre interpretação visual e reconhecimento de padrões é que a primeira requer muita atenção humana e o reconhecimento de padrões exige a classificação automática feita pelo computador. A similaridade entre eles é o fato de ambos exigirem a seleção de determinadas características (elementos) inerentes ao alvo, para realizar sua classificação.

A primeira investigação sobre o reconhecimento de padrões envolve o problema da extração de características, isto é, operações sobre padrões que determinam suas características importantes. A segunda investigação envolve o esquema da tomada de decisão, que classifica os padrões com base na comparação entre suas características e as de um conjunto de referências de padrões.

O desenvolvimento do método de reconhecimento de padrões de imagens orbitais, através do sistema IMAGE-100, tem como objetivo principal a elaboração de programas adequados à classificação, a partir dos dados orbitais de padrões contidos nos registros das fitas CCT, para classificar as águas fluviais, lagunares e costeiras.

Os procedimentos preliminares são:

### 3.6.1 - FASE 1 - PROCEDIMENTO PRELIMINAR

- a) Os dados digitalizados, gravados em fita magnética (CCT), são transferidos para o sistema IMAGE-100, obtendo-se visualmente um primeiro controle de qualidade da imagem numa área de vídeo de 512 linhas x 512 pontos, do televisor a cores incorporado ao analisador (Figura 3.2).

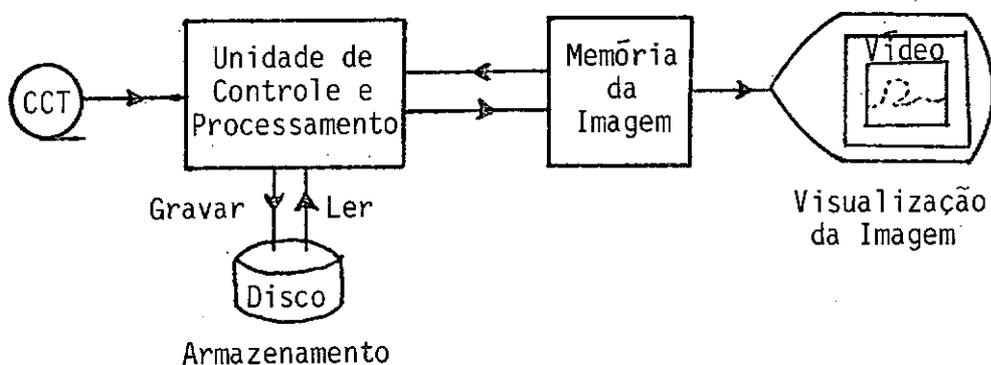


Fig. 3.2 - Representação esquemática do IMAGE-100.

- b) Na projeção da imagem de vídeo, posiciona-se um cursor sobre a área de interesse na cena, e identificam-se as coordenadas dos pontos das extremidades do quadro abrangido pela imagem, tomando-se como referência o número de linhas e de pontos. Este passo permite que o analista amplie o espaço selecionado e circunscrito pelo cursor, alcançando maior detalhamento das feições através da variação da escala.
- c) Algumas imagens apresentam "stripping", ou fatiado, devido à varredura simultânea do satélite por 6 detetores, ou a eventuais ruídos associados ao sinal gravado nas estações terrestres de rastreamento. A sua correção pode ser feita através de programas de correção radiométrica. Resumindo, este programa trabalha da seguinte maneira: primeiro, adquire histogramas de nível de cinza da imagem em cada canal do MSS; para cada uma delas, faz-se a equalização dos histogramas dos sensores, de forma não-linear, gerando uma tabela de correção que se aplicará a toda imagem.
- d) Com base no princípio de que as superfícies d'água absorvem quase que totalmente os comprimentos de onda de energia eletromagnética no canal 7 do MSS (correspondente ao infravermelho próximo), explica-se que, na imagem, as áreas dos corpos d'água aparecem com altas densidades, devido ao baixo nível de sinal registrado pelo sensor. Os alvos terrestres que possuem características espectrais com alta reflexão nessa faixa, sensibilizam os elementos sensores desse canal no satélite, com sinal bastante intenso, distinguindo os contornos entre os dois meios por contrastes muito diferenciados e grande discriminação. Aplica-se o programa "SINGLE CELL" (célula única) para definir os limites entre a terra e a água.
- e) Geralmente, a assinatura definida pela célula única não é suficiente para definir o limite terra/água, devido a classes, como sombras e áreas úmidas, possuem assinaturas espectrais se

melhante às da água. Para isso, deverá ser utilizada uma interpretação visual como auxiliar no vídeo do I-100, eliminando-se estas áreas, através de cursor, como operação de subtração do sintetizador de temas "theme synthesizer function".

- f) Aplicação do programa LIMPAR para eliminar os pontos da imagem que não pertencem à área de estudo, ou seja, à área terrestre.
- g) A operação final dessa sequência de processamento preliminar comprime o sinal da fita CCT, originalmente com intervalo dinâmico da escala de 255 níveis de cinza, para 64 níveis. Essa operação é necessária devido ao fato de o *sistema de dois canais* admitir que a imagem possui apenas 64 níveis para cada canal.

- *Sistema de dois canais* é um sistema de classificação que utiliza uma matriz de 64 x 64 elementos; estes elementos representam o espaço de atributos (representação da célula de resolução), onde estão distribuídas as classes do MSS-4 e MSS-5.

A Figura 3.3 apresenta o fluxograma do procedimento preliminar do CCT no I-100, contido nas cenas do MSS, nos quatro canais, para o estudo da qualidade da água, descrito no itens anteriores.

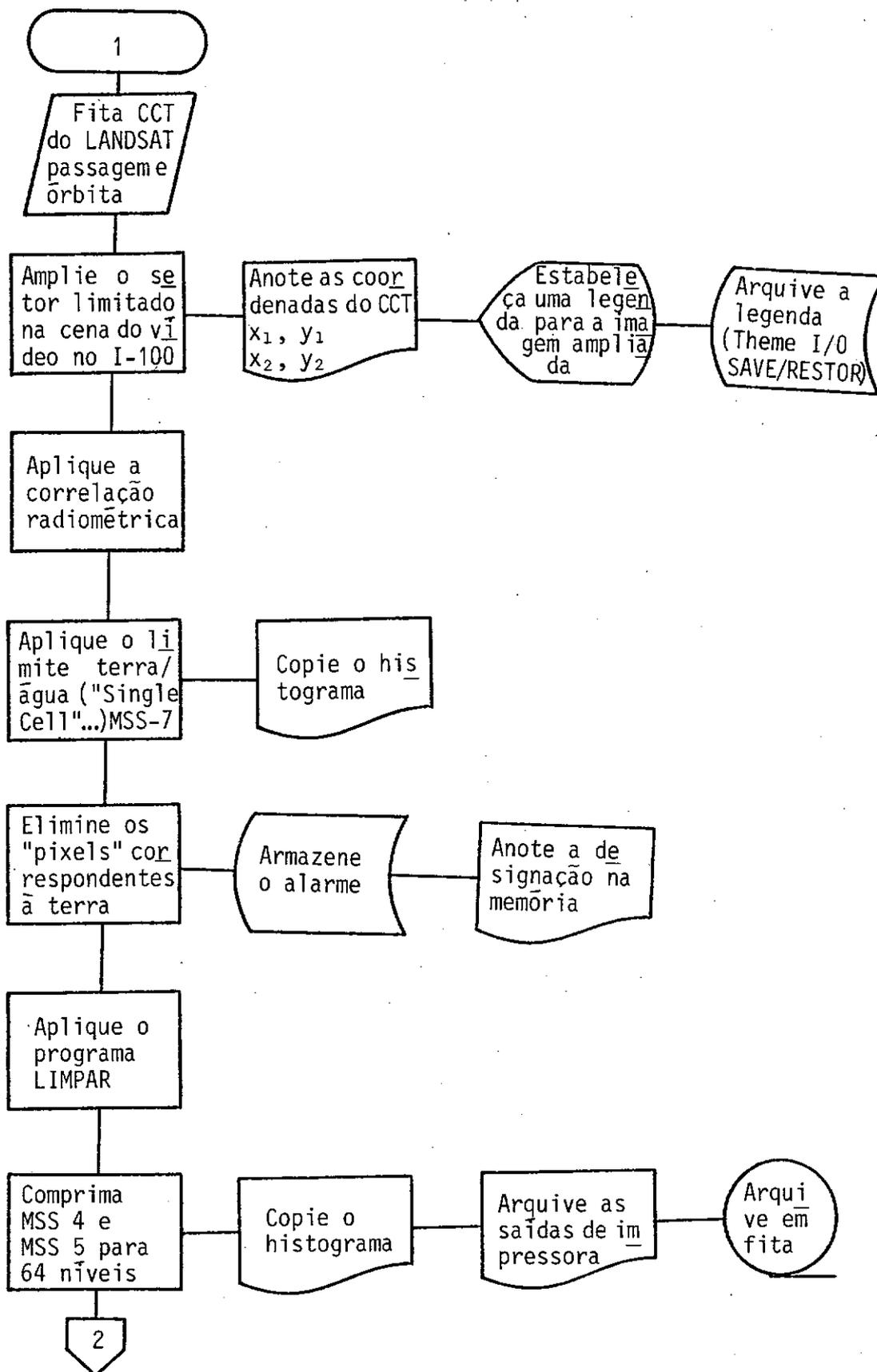


Fig. 3.3 - Fluxograma do processamento preliminar do CCT no I-100, com tido nas cenas do MSS, nos quatro canais, para o estudo da qualidade da água.

### 3.6.2 - FASE 2 - SELEÇÃO DAS ÁREAS DE TREINAMENTO

Os algoritmos de reconhecimento de padrões requerem que os exemplos de dados típicos de cada classe de interesse sejam fornecidos aos programas de computador. Estes dados, denominados amostras de treinamento, ou áreas de treinamentos, são usados como parâmetros de certos conjuntos para os algoritmos de reconhecimento de padrões; conseqüentemente, eles "treinam" o computador para reconhecer as classes. A Figura 3.4 mostra o fluxograma da seleção das áreas de treinamento para o MAXVER, através de "clustering" ou grupamento.

Os procedimentos para a seleção das áreas de treinamento são:

- a) Nesta fase, aplica-se o programa IMAHST, do sistema de dois canais, que fornece um histograma bidimensional de toda área de estudo. Em seguida, ele gera um arquivo (COUNT-HST), que contém as frequências de ocorrência de cada célula no espaço de atributos de 64 x 64 níveis. Para obter uma saída desta fase, utiliza-se o programa (HSTOPR) - "print-out", onde as frequências serão representadas por caracteres alfanuméricos
  
- b) Analizando-se o "print-out", tem-se a distribuição das células no espaço de atributos. Através do programa "cluster-synthesis", os "pixels" correspondentes a cada cela poderão ser evidenciados no vídeo. A área de treinamento será escolhida nas regiões em que haja uma concentração dos "pixels" correspondentes às celas de resolução, cuja concentração corresponde a uma somatória das celas de resolução.

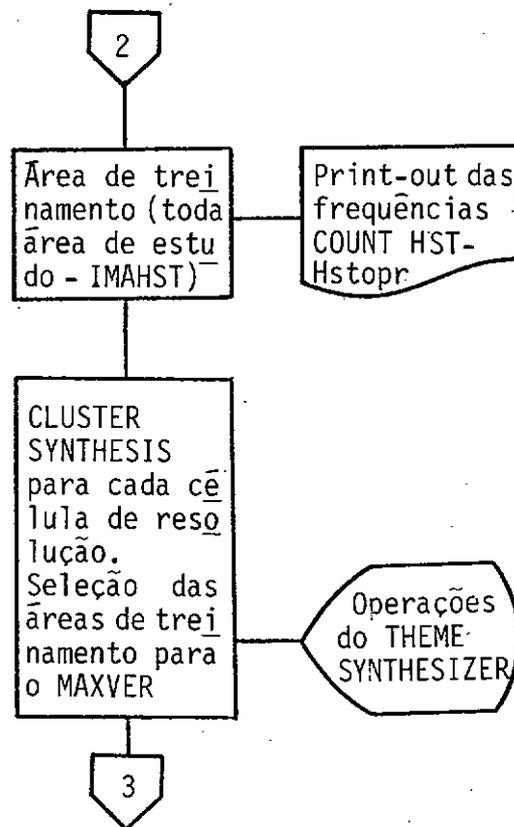


Fig. 3.4 - Fluxograma da seleção das áreas de treinamento para o MAXVER, através de "clustering" ou agrupamento.

### 3.6.3 - FASE 3 - APLICAÇÃO DO SISTEMA MAXVER

Sistema MAXVER é um critério de classificação paramétrica, supervisionada, que classifica os elementos de resolução de imagem por máxima similaridade; os detalhes dos algoritmos utilizados estão no Manual de MAXVER (Velasco et alii, 1980). A Figura 3.5 mostra o fluxograma das classes na imagem, aplicando-se o sistema MAXVER.

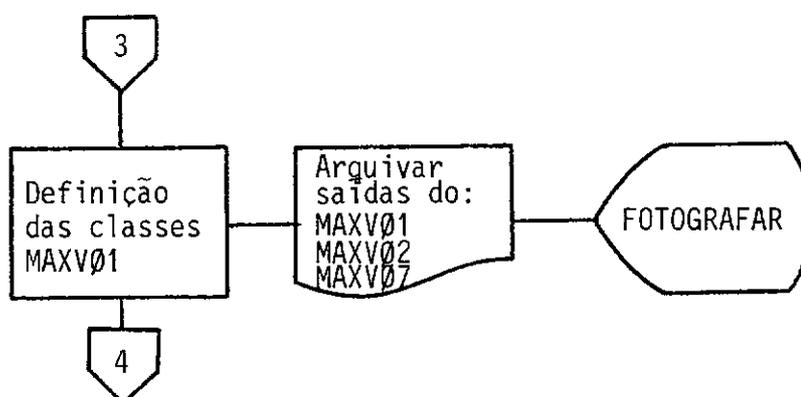


Fig. 3.5 - Fluxograma para definição das classes na imagem, aplicando-se o sistema MAXVER.

Após a definição da área de treinamento, os passos seguintes são:

1) Saída MAXV01

Determinar os parâmetros das classes, como: número de pontos considerados em cada classe e em cada canal, média e matriz de covariância.

O sistema MAXVER fornece ainda uma lista de informações definidas pelo usuário, como por exemplo:

canais utilizados: 2 (MSS 4 e MSS 5)

número de dimensões: 2

número de classes: 8 (número máximo de classe que o sistema admite por vez)

número de amostras: 10 (o número de amostras é indefinido, ficando a critério do usuário).

2) Saída MAXV02

São fornecidos ao usuário meios de saber se as classes estão ou não separadas. Um deles é uma "matriz de classificação", que

dã uma previsão dos resultados da classificação; nesta matriz, cada lil corresponde a uma classe. A primeira coluna dã a porcentagem dos pontos da classe que não serão classificados. As outras colunas correspondem às porcentagens (estimadas) dos pontos da classe que serão classificados. A matriz permite, também, distinguir as classes que estão superpostas e as que estão separadas. No caso de classes cujas distribuições se sobrepõem, isto pode ser devido à imprecisão na aquisição das amostras, ou ao fato de as classes serem muito semelhantes. No primeiro caso, pode-se tentar aumentar a separação entre as classes, mudando-se as amostras que as constituem.

### 3) MAXVØ7

As áreas de treinamento são arquivadas em disco ou fita, para uso posteriores.

Uma vez estabelecido o padrão espectral de cada área de treinamento, o restante da imagem é percorrido automaticamente pelo mecanismo de varredura do sistema IMAGE-100, célula por célula, comparando os valores digitalizados com o correspondente no espaço espectral selecionado previamente. Todos os elementos de resolução ("pixels"), que se identificarem com os níveis de cinza de uma célula do grupamento que define uma classe, serão incorporados a esta classe, que é assinalada no vídeo por uma cor correspondente à do tema incluso na escala da cor adotada.

### 4) Fotografia

O sistema IMAGE-100 conta com uma aparelhagem de geração de fotografias, através de um tubo de raios catódicos coloridos, que reproduz a imagem guardada na memória (sistema DICOMED). Por este sistema são geradas as imagens coloridas já classificadas.

## CAPÍTULO 4

### UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS EM OCEANOGRAFIA COM SATÉLITES QUE OPERAM NO INFRAVERMELHO (IV) TERMAL

A disponibilidade dos satélites ambientais operacionais tem facilitado aos cientistas investigar a atmosfera e examinar cuidadosamente a superfície do oceano, sobre uma escala global. Os satélites de órbita polar obtêm dados que cobrem a terra de pólo a pólo, duas vezes por dia; satélites geostacionários são mantidos em uma posição fixa, acima do equador, e monitoram continuamente o ambiente de uma porção do globo, dia e noite.

#### 4.1 - ESPECIFICAÇÕES DOS PRINCIPAIS SENSORES DOS SATÉLITES NOAA, TIROS-N E SMS-2

##### 4.1.1 - SATÉLITE NOAA-5

O satélite NOAA-5, o quinto da série NOAA, foi um satélite meteorológico que circundava a terra num plano quase perpendicular ao equador; portanto, em órbita quase polar, síncrona com o sol, à distância de aproximadamente 1450 km da superfície da terra. Por ser síncrono com o sol, ele detectava informações sempre na mesma hora local, através de uma passagem diurna e outra noturna, espaçada de 12 horas. A órbita do satélite cruzava o equador de norte para o sul, (modo descendente) às 06:00 horas e, às 18:00 horas, de sul para o norte (modo ascendente) (Figura 4.1a).

Os principais sensores a bordo do satélite incluíam (Figura 4.1b) (NOAA, 1977; Oliveira, 1977):

- SR - "Scanning Radiometer" (Radiômetro de Varredura) sensor de dois canais (0,5 a 1,0  $\mu\text{m}$ , sensível à radiação visível, e 10,5 a 12,5  $\mu\text{m}$ , sensível à radiação IV). A resolução dos dados do canal visível foi de 4 km e do infravermelho termal, 8 km.

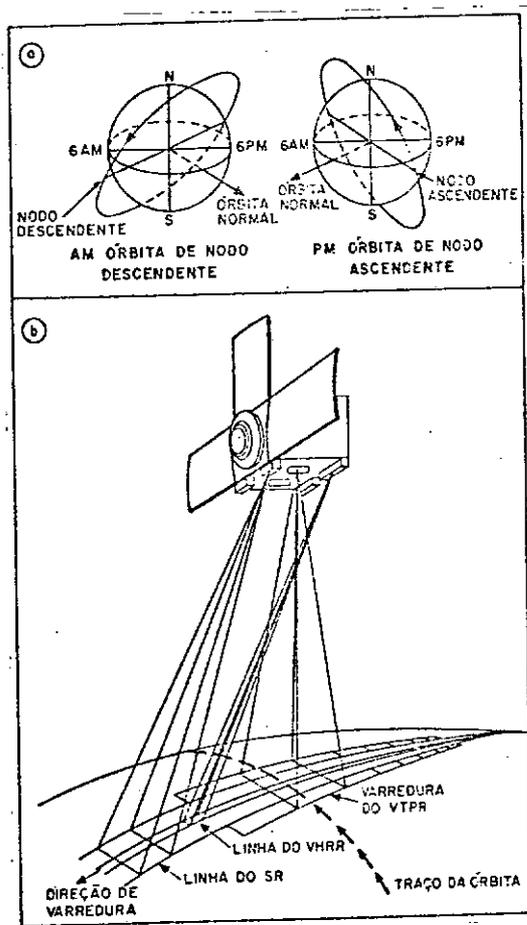


Fig. 4.1 - Órbitas e sensores do satélite NOAA-5  
a - Órbita esquemática  
b - Esquema dos principais sensores

FONTE: SCHWALB (1972), p. 4; Oliveira (1977) p.8

O satélite e seu sistema de energia elétrica foram projetados para operar em órbita circular, quase polar, síncrona com o sol, a uma altitude de 833 km. Esta órbita pode ter uma passagem em torno das 7:30 h, podendo variar  $\pm 2$  h local, para o modo descendente, e  $\pm 2$  h local, para o modo ascendente, por volta das 13:30 h. Haverá permanentemente dois satélites em órbita, que fornecerão duas passagens em cada intervalo de seis horas. Atualmente, encontram-se operacionais o protótipo TIROS-N, que passa em torno das 15 h local, em órbita ascendente (S  $\rightarrow$  N), e o NOAA-6, que passa por volta das 07:30 h local, em órbita descendente.

- VHRR - "Very High Resolution Radiometer" (Radiômetro de Resolução Muito Alta) - Sensor que detectava energia no espectro visível (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) e na região do infravermelho termal (10,5 a 12,5  $\mu\text{m}$ ). Ambos os canais possuíam um campo de visada (IFOV) de 0,6 miliradianos, que correspondem, no solo, a uma resolução de 0,9 km.
- VTPR - "Vertical Temperature Profile Radiometer" (Radiômetro de Perfil Vertical de Temperatura) - Possuía 8 canais espectrais, sendo 6 na banda de absorção do  $\text{CO}_2$ , em 15  $\mu\text{m}$ ; um na janela, em 11,8  $\mu\text{m}$ ; e outro na região de vapor d'água, em 18,7  $\mu\text{m}$ .
- SPM - "Solar Proton Monitor" (Monitor de Prótons Solares) - Mede o fluxo de partículas energéticas (prótons, elétrons e partículas alfa).

A Figura 4.1 ilustra esquematicamente o princípio de funcionamento utilizado pelo radiômetro, mostrando o campo de visada dos sensores, para realizar, por varredura, o imageamento da terra.

A resolução geométrica no solo, conforme a figura citada, decresce à proporção que aumenta a distância ao ponto subsatélite. Cada imagem fica então comprimida nas áreas próximas dos horizontes de varredura.

Apesar do satélite estar desativado, os dados arquivados podem ser utilizados do Departamento de Meteorologia do CNPq/INPE.

#### 4.1.2 - SATÉLITE TIROS-N

O satélite TIROS-N é protótipo de 3ª geração desta série de satélites de plataformas espaciais civis dos E.U.A., inauguradas pelo TIROS VIII em 1963, e é usado para monitoramento do meio ambiente.

Os principais instrumentos e sistemas a bordo são:

- > - Radiômetro Avançado de Resolução Muito Alta (AVHRR) - Mapeamento noturno e diurno de nuvens, de temperatura da superfície do mar e outras aplicações.
- Sondador Vertical Operacional - TIROS (TOVS) - Dados para o cálculo de perfis de temperatura, conteúdo de vapor d'água da atmosfera, e conteúdo total de ozônio.
- Monitor de Ambiente Espacial (SEM) - Mede raios-X solar e partículas energéticas.
- Sistema ARGOS de coleta de Dados (DCS) - Localização das plataformas em bóias flutuantes livres e em balões, e aquisição de dados de plataformas em qualquer parte do mundo.

#### 4.1.3 - SATÉLITE NOAA-6

O NOAA-A, que é o segundo satélite da série TIROS, foi lançado com sucesso às 15:27 HMG, no dia 27 de junho de 1979. Após o lançamento, o satélite denominou-se NOAA-6. Foi colocado em órbita quase circular, aproximadamente, a 818 km da superfície da Terra. Tem movimento ascendente de sul para o norte, no período noturno da órbita, cruzando o equador por volta das 19:30 h local, com uma taxa de atraso anual de 6 minutos.

#### 4.1.4 - AVHRR - (RADIÔMETRO AVANÇADO DE RESOLUÇÃO MUITO ALTA)

O AVHRR do TIROS-N e do NOAA-6 dos dois satélites lançados são sensíveis a quatro canais de regiões espectrais. Uma mudança futura no projeto adicionará mais um canal, o canal 5 na região de 12  $\mu\text{m}$ .

A Tabela 4.1, mostra os dados dos canais do instrumento AVHRR (TIROS-N e NOAA-6).

TABELA 4.1

INSTRUMENTO AVHRR (TIROS-N E NOAA-6)

	CANAL 1 VISÍVEL	CANAL 2 INF. PRÓXIMO	CANAL 3 IV. TERMAL	CANAL 4 IV. TERMAL	CANAL 5 IV. TERMAL
LARGURA ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )	NOAA-6 0,58-0,68 TIROS-N 0,55-0,90	0,725-1,0	3,55-3,93	10,5-11,5	11,5-12,5
TIPO DE DETETOR	SILÍCIO*	SILÍCIO	In.Sb**	Hg.Cd.Te***	Hg.Cd.Te
RESOLUÇÃO	1,3 mn 1,1 km	1,3 mn 1,1 km	1,3 mn 1,1 km	1,3 mn 1,1 km	1,3 mn 1,1 km
VELOCIDADE DE VARREDURA	360 LINHAS POR MINUTO				

\* - Silício

\*\* - Antimoneto de Índio

\*\*\* - Telureto de Cádmiio e Mercúrio

FONTE: Carvalho et alii (1979), p. II.8

Os canais 1 e 2 são usados para discernir nuvens, separação terra/água, extensão das coberturas de neve e gelo, indicação do começo da fusão do gelo e da neve, e sedimentos em suspensão. Os dados do canal 4 são usados para medir a distribuição de nuvens diurnas e noturnas e determinar a temperatura da superfície irradiadora. Os canais 3 e 4 são usados para determinar a temperatura da superfície do mar, tornando possível remover a ambiguidade introduzida por nuvens que, eventualmente, ocupem uma porção do campo de visada. O canal 5, a ser acrescentado ao AVHRR/2, melhorará ainda mais as medidas de temperatura da superfície do mar em áreas tropicais.

Atualmente, o CNPq/INPE recebe diariamente dados do canal 1 e 4. Eventualmente, poderão ser recebidos dados de outros canais, dependendo da necessidade do usuário.

#### 4.1.5 - SATÉLITE SMS-2

O satélite SMS-2 é geoestacionário, ou seja, é síncrono com a terra, e adquire, simultaneamente, dados no canal visível e no infravermelho termal (VISSR - Spin - Scan Radiometer). A imagem no canal visível (0,55 a 0,75  $\mu\text{m}$ ) tem uma resolução no nadir de 0,9 km e no infravermelho termal (10,5 a 12,6  $\mu\text{m}$ ) pode ser obtida durante dia e noite, numa resolução de 8,9 km. Uma imagem completa cobre quase a terça parte da superfície da terra.

Os satélites geoestacionários apresentam a grande vantagem de poderem repetir imagens hemisféricas a cada 30 minutos. No entanto, são necessários vários satélites para cobrir o globo de forma mais ou menos satisfatória. Atualmente, existe uma rede mundial de satélites, sendo 3 deles americanos, 1 japonês (GMS) e 1 francês (METEOSAT).

#### 4.2 - PRINCIPAIS CORRENTES, FRENTES E RESSURGÊNCIAS DOS OCEANOS DO MUN DO

Antes do uso dos sensores no infravermelho termal a bordo de satélites, informações sobre as características termais das grandes áreas oceânicas eram obtidas através de registros e informações ao longo da rota de navios de cargas, ligados aos centros populacionais. A mais notável foi o mapeamento da corrente do Golfo no Atlântico Norte (Gulf Stream), em 1777, por Benjamin Franklin (NOAA, 1978). Mais tarde, por volta de 1800, realizaram-se poucas viagens científicas, tais como "Challenger", "Tuscurora" e "Blake", que exploraram as águas mais longínquas. Infelizmente, viagens científicas para estudar os oceanos

são longas e dispendiosas, e os dados coletados não podem ser facilmente aplicados para obter condições sinóticas sobre grandes áreas.

As posições geográficas da maioria das principais correntes oceânicas não são bem conhecidas. Associadas com essas principais correntes, existem regiões de fortes gradientes de temperaturas superficiais do mar que se identificam como "frentes oceânicas". As posições médias das correntes oceânicas e os principais sistemas frontais são apresentados na Figura 4.2a. Como se pode ver, as frentes oceânicas mais fortes são encontradas na costa leste dos Estados Unidos e do Japão.

Além das circulações horizontais nos oceanos, existem também as circulações verticais; um exemplo particular desta modalidade de circulação é a ressurgência, que é a ascensão de águas subsuperficiais para a superfície, produzindo grandes áreas de águas frias na superfície do mar. Essas áreas de águas ressurgidas exercem uma forte influência sobre a distribuição da vida no mar, através das interações ar/mar, e sobre o estado atmosférico costeiro. A Figura 4.2b mostra as áreas onde ocorrem as ressurgências em escala mundial.

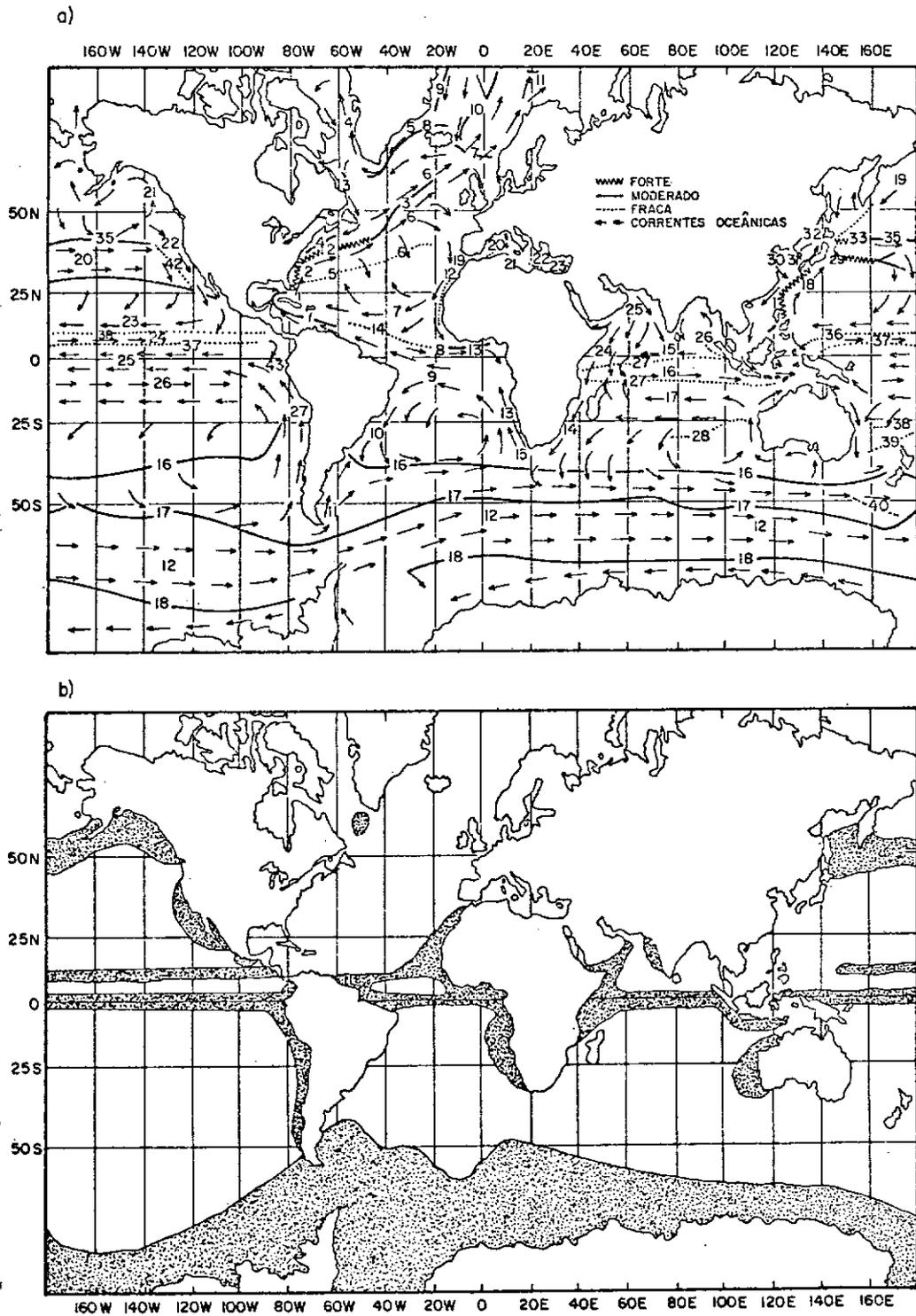


Fig. 4.2 - Posição das correntes e áreas onde ocorrem as ressurgências em escala mundial.

- a - Posição média das maiores correntes e frentes oceânicas.
- b - Áreas gerais de ressurgência.

FONTE: NOAA (1979), p. 2

Posição Média das Maiores Correntes  
Oceânicas Superficiais

1. Corrente da Flórida
2. Golfo "Stream"
3. Corrente do "Labrador"
4. Corrente do Oeste da Groelândia
5. Corrente Leste da Groelândia
6. Corrente do Atlântico Norte
7. Corrente Norte Equatorial
8. Contra-Corrente Equatorial
9. Corrente Sul Equatorial
10. Corrente do Brasil
11. Corrente das Malvinas
12. Corrente Circumpolar Antártica
13. Corrente da Benguela
14. Corrente das Agulhas
15. Corrente Norte Equatorial
16. Contra Corrente Equatorial
17. Corrente Sul Equatorial
18. Corrente "Kuroshio"
19. Corrente "Oyashio"
20. Corrente Pacífico Norte
21. Corrente da Alaska
22. Corrente da Califórnia
23. Corrente Norte Equatorial
24. Contra-Corrente Norte Equatorial
25. Corrente Sul Equatorial
26. Contra-Corrente Sul Equatorial
27. Corrente de Humbolt

Posição Média das Maiores Frentes  
Oceânicas

Frentes do Oceano Atlântico

1. Corrente "Loop" (Golfo do México)
2. Golfo "Stream"
3. Corrente do Atlântico Norte  
(Frente Polar Norte)
4. Frente de Declive
5. Frente do Mar Sargasso
6. Convergência Subtropical
7. Frente das Ilhas "Iceland-  
-Faeroe"
8. Frente do Estreito "Denmark"
9. Frente Polar leste da  
Groelândia
10. Frente do mar da Groelândia-  
Noruega
11. Frente da Ilha "Beat"
12. Ressurgência do Noroeste  
Africano
13. Frente do Golfo da Guiné

14. Corrente da Guiana
15. Ressurgência de Benguela
16. Convergência subtropical
17. Convergência Antártica (Frente  
Polar Sul)
18. Divergência Antártica

Frentes do Mar Mediterrâneo

19. Frente "Huelva"
20. Frente do Mar "alboran"
21. Frente "Maltese"
22. Frente do Mar "Ionian"
23. Frente da Bacia "Levantine"

Frentes do Mar da Índia

24. Ressurgência "Somali"
25. Ressurgência Arábica
26. Frente de Salinidade do Mar  
da Índia
27. Frente da Contra-Corrente Equa  
torial
28. Frente do oeste Australiano

Frentes do Oceano Pacífico

29. Frente do "Kuroshio"
30. Corrente quente do mar amarelo
31. Frente da costa Coreana
32. Corrente Tisushima
33. Frente "Oyashio"
34. Frente "Kuril"
35. Frente Subártica
36. Frente de Salinidade "Doldrun"  
do Norte
37. Frente de Salinidade "Doldrun"  
do Sul
38. Convergência Tropical
39. Convergência do meio "Tasman"
40. Frente Subártica Australiana
41. Frente Subtropical
42. Frente da Califórnia
43. Frente Equatorial do Pacífico  
Leste

#### 4.2.1 - ESTUDO OCEANOGRÁFICO DO SISTEMA DA CORRENTE DO BRASIL (SCB), COM APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO

##### 1) - Descrição da área de estudo

Nos últimos anos, o CNPq/INPE tem realizado trabalhos de talhados sobre o sistema da corrente do Brasil (SCB).

A corrente do Brasil é um ramal sul da corrente equatorial do Atlântico Sul, (Figura 4.2a), a qual se locomove até o oeste, entre as latitudes  $0^{\circ}$  e  $20^{\circ}$ S, no cabo de São Roque, e é desviada principalmente para o sul; esta corrente flui ao longo da costa da América do Sul, (Figura 4.2a), levando água de alta temperatura e alta salinidade. Perto da costa da Argentina, a corrente das Malvinas (Falkland) (Figura 4.2a), de baixa temperatura e baixa salinidade, estende-se até  $30^{\circ}$ S aproximadamente, onde se encontra a corrente do Brasil. Pode-se distinguir o encontro entre estas correntes frias e quentes pelas diferentes características físicas das águas e pelas imagens sem cobertura de nuvens, de satélites, na faixa do infravermelho termal.

##### 2) - O sistema da corrente do Brasil (SCB) com sensores remotos

Basicamente o SCB é o estudo da oceanografia entre a corrente do Brasil e a das Malvinas, visando a determinação da frente oceanográfica entre estas duas correntes. Esta frente se localiza na região do extremo oeste da Convergência Subtropical do Oceano Atlântico Sul. O objetivo mais importante deste item é apresentar uma discussão das características desta frente.

O SCB tem sido descrito na literatura oceanográfica internacional recente, utilizando imagens obtidas pelo Radiômetro de Resolução Muito Alta (VHRR) dos satélites NOAA-5, da série NOAA (Legeckis, (1978).

A descrição das utilizações dos dados de satélites para o estudo do SCB foi iniciada por Tseng (1974) e apresentado no seminário de Michigan em 1977 (Tseng et alii, 1977).

O trabalho de Tseng et alii (1977) será tomado como base para a apresentação dos resultados mais importantes dos estudos do SCB.

No CNPq/INPE, com a recepção de imagens dos satélites NOAA-5, NOAA-6, TIROS-N, e do satélite geostacionário SMS-2, foi possível obter grande volume de informação sobre o SCB. No início, fizeram-se interpretações visuais com as imagens para descrever o sistema. Nos últimos anos, com a incorporação do sistema IMAGE-100, foi possível obter descrições muito detalhadas sobre as características mais importantes deste sistema. A análise, mesmo no sistema IMAGE-100, consiste em utilizar um conjunto de programas de computador, que permite obter muitas informações sobre a imagem analisadas. Talvez a maior vantagem para a oceanografia seja a obtenção de impressos ("printouts") sobre temas específicos dos canais espectrais utilizados.

### 3) - O sistema da corrente do Brasil (SCB) segundo a oceanografia convencional

Um estudo mais detalhado do SCB, segundo a oceanografia Convencional, foi feito no Atlas de Estruturas Oceanográficas do Rio Grande do Sul-Atlas Oceanográfico - (Inostroza e Tseng, prelo), onde se apresentam as características sazonais do SCB, baseadas em cartas de distribuição de temperatura, salinidade, conteúdo de oxigênio e nutrientes. No MM DHN (Brasil, 1974), apresenta-se a ordem de grandeza da intensidade e direção das correntes, na região do SCB.

Os atlas oceanográficos são muito importantes, pois, na interpretação de imagens, as cartas neles contidas são utilizadas como referência ou verdade do mar. Além dessas utilizações, elas foram confeccionadas com objetivos específicos, tais como:

- obter cartas cartográficas detalhadas das estruturas das águas, para serem utilizadas na interpretação de dados oceanográficos orbitais, coletados por sensores remotos;

- obter cartas oceanográficas básicas para a confecção de cartas de pesca;
- fornecer informações oceanográficas na forma cartográfica, para uso oceanográfico geral.

#### 4) - Metodologia de interpretação

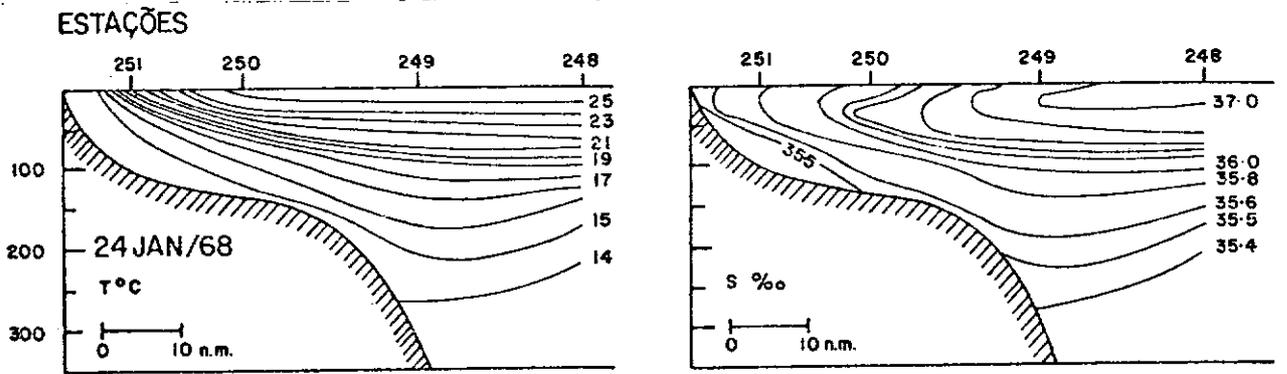
Apresenta-se, a seguir, um breve resumo da metodologia do trabalho de Tseng (1974):

- a primeira etapa consiste na obtenção das imagens através de transparência em branco e preto, ou através de fitas magnéticas digitais compatíveis com o computador, pelo sistema I-100;
- a segunda etapa consiste na análise destas imagens para obter detalhes importantes das estruturas superficiais das águas;
- a terceira etapa consiste na comparação entre as estruturas das imagens e as cartas oceanográficas, ou dados de comissões oceanográficas;
- finalmente, a última etapa consiste na interpretação final das imagens.

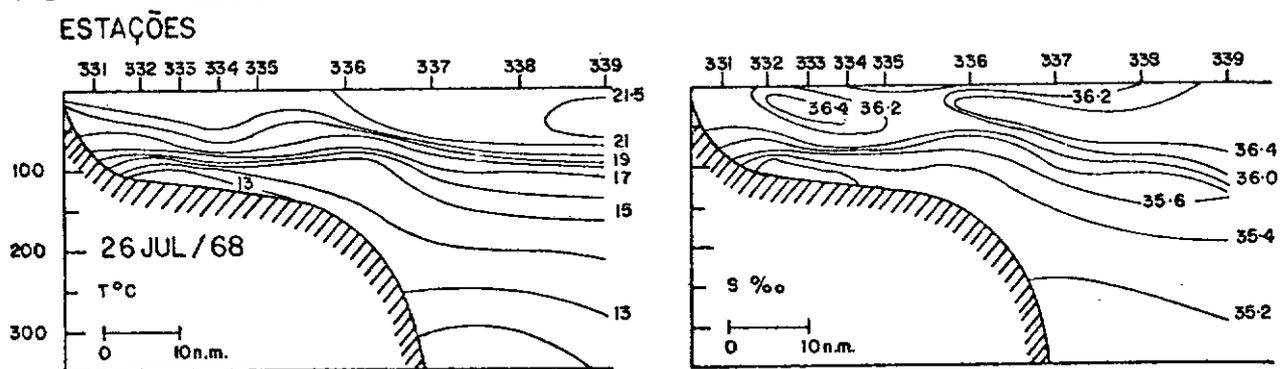
#### 4.2.2 - RESSURGÊNCIA EM CABO FRIO

Ressurgência é um processo de movimento vertical das águas no mar, através do qual a água de algumas centenas de metros de profundidade é trazida à superfície, ou logo abaixo da superfície. Esta água é mais fria do que a água superficial original e, consequentemente, produz uma região característica de água fria na área. Geralmente em Cabo Frio, costa sudeste do Brasil, a ressurgência é induzida quando sopram ventos fortes do primeiro quadrante, impulsionando as águas superficiais divergentes da costa, as quais causam ascensão das águas subsuperficiais.

Silva (1971) e Mascarenhas et alii (1971) descrevem a existência do fenômeno da ressurgência nesta parte da costa do Brasil, por métodos convencionais. A Figura 4.3 apresenta uma seção vertical do oeste de Cabo Frio, mostrando as condições e a ausência de ressurgência.



a) RESSURGÊNCIA



b) AUSÊNCIA DE RESSURGÊNCIA

Fig. 4.3 - Perfil de temperatura e salinidade, mostrando as condições e a ausência de ressurgência.

FONTE: (Mascarenhas et alii, 1971), p. 298.

Como se observou na Figura 4.2b, aparecem várias áreas de ocorrência da ressurgência em escala mundial; entretanto, a costa sudeste do Brasil, na região de Cabo Frio, não é demonstrada como local de ocorrência da ressurgência. Contudo, várias comissões oceanográficas foram realizadas nesta área comprovando a existência deste fenômeno, como por exemplo: a SEREMAR II (Almeida et alii, 1971), SEREMAR III (Tseng, 1972), SEREMAR IV (Inostroza et alii, 1976). Essas comissões tiveram por objetivo:

- a) através de sensoriamento remoto, identificar e localizar con  
trastes térmicos da superfície do mar, na região do infraverme  
lho termal, utilizando a aeronave "Bandeirante";
- b) localizar e definir uma possível ressurgência, e tentar corre  
lacionar a característica do contraste térmico com os modelos  
matemáticos (Tanaka, 1977);
- c) desenvolver métodos de correção para dados radiométricos cole  
tados pelo termômetro de radiação de precisão (PRT-5), a bai  
xas altitudes, e obter valores de temperaturas da superfície  
do mar, tão próximos da situação real quanto possível.

1) - Metodologia de interpretação

A metodologia utilizada para interpretação do fenômeno da ressurgência em imagens termais, recebidas pelos satélites, é seme  
lhante ã utilizada na interpretação do SCB. Como o fenômeno da ressur  
gência não é um sistema permanente mas sim, uma função dos ventos pre  
dominantes, é importante relacionar, além dos dados oceanográficos con  
vencionais, os dados meteorológicos, para fazer o acompanhamento da  
evolução da água ressurgida, delimitar a área alcançada e a direção  
que estas águas tomam, através de imagens orbitais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E.G.; MASCARENHAS JR., A.S.; IKEDA, Y. *Preliminary results and analysis of mission SEREMAR II*. São José dos Campos, INPE, 1971. (Report 14/ONU/INPE).
- BENTANCURT, J.J.V. *Processamento de dados multiespectrais obtidos por plataformas orbitais da série LANDSAT para estudos de qualidade da água na Baía de Guanabara*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, jul. 1981. (INPE-2181-TDL/058).
- BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrologia e Navegação (MM. DHN). *Atlas de carta piloto; Oceano Atlântico de Trinidad ao Rio do Prata*. Rio de Janeiro, 1974.
- CARVALHO, P.R.A.; RODRIGUES, V.; NOGUEIRA, J.L.M.; VIOLA, F.E.C.; GARRIDO, J.C.P.; OLIVEIRA, J.R.; ASSAD, P.C.X. *Curso intensivo de satélites meteorológicos técnicas associadas utilizadas na produção, processamento e interpretação das imagens*. São José dos Campos, INPE, nov. 1979. (INPE-1614-MD/002).
- HERZ, R. *Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos*. Tese de Doutorado. São Paulo, USP, 1977.
- INOSTROZA VILAGRA, H.M.; TSENG, Y.C. *Atlas de estruturas Oceanográficas do Rio Grande do Sul*. São José dos Campos, INPE. No prelo.
- INOSTROZA VILAGRA, H.V.; ALMEIDA, E.G.; MASCARENHAS JR., A.S.; *Expedição oceanográfica SEREMAR IV*. São José dos Campos, INPE, fev. 1976. (INPE-825-NTE/049).
- JERLOV, N.C. *Optical oceanography*. Amsterdam, Elsevier, 1968.
- JOHNSON, F.S. The solar constant. *Journal of Meteorology*, 11:431, 1954.
- JURICA, G.M. *Atmospheric effects on radiation measurements*. West Lafayette, Purdue University, The Laboratory for Application of Remote sensing, 1973. (LARS Information Note 011573).
- KLEMAS, V.; BARTLETT, D.S. Remote Sensing of Coastal Environment and Resources. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14., Ann Arbor, Mi, 1980. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1980, V. 1, p. 543-562.

- 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*. Ann Arbor, Mi, Williwaw Run Laboratories, 1969, v.1, p. 97-131.
- LEGECKIS, R. A survey of world wide sea surface temperature fronts detected by environmental satellites. *Journal of Geophysical Research*, C83(9): 4501-4522, Sept. 1978.
- MASCARENHAS JR., A.S.; MIRANDA, L.B.; ROCK, N.J. A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. In COSTLOW JR., J.D. *Fertility of the sea*. New York, Gordon and Breach Science, c1971. v. 1, p. 285-380.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). *Oceanic and related atmospheric phenomena as viewed from environmental satellites*. Washington, D.C., 1979.
- OLIVEIRA, J.R.; ELIAS, M. *Estação receptora de satélites meteorológicos com radiância de muita alta resolução; relatório final*. São José dos Campos, INPE, jun. 1977 (INPE - 1040-RAE/027).
- POLCYN, F.C.; ROLLIN, R.H. *Remote sensing Techniques for the Location and measurements of shallow water features*. Ann Arbor, The University of Michigan, 1969. (Report nº 8973-10-p).
- REEVES, R.G. *Manual of remote sensing*. Falls Church, Va, American Society of Photogrametry, 1975
- 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*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1975, v.1, p.447-460.
- SCHWALB, A. *Modified version of the improved Tiros Operational Satellite (ITOS-D-D)*. Washington, D.C., NOAA, 1972. (NOAA Technical Memorandum NESS 35).

- SIGNORI, S.R. On the circulation and the volume transported of the Brazil Current between the cape of São Tomé and Guanabara Bay. *Deep Sea Research*, 25(5): 481-490, May 1978.
- SILVA, P.C.M. Upwelling and its biological effects in southern Brazil. In: COSTLOW JR., J.D. *Fertility of the sea*. New York, Gordon and Breach Science, c1971. v. 2, p. 469-474.
- SPECHT, M.R., NEEDLER, D.; FRITZ, N.L. New color film for water penetration. *Photography. Photogrammetric Engineering*, 39(4): 359-369, abr. 1973.
- STEVENSON, M.R. *Use of the ERTS (MSS) and NOAA VHRR data in marine resource assesment; final report*. La Jolla, Ca., International Tropical Tuna Comission, 1975. Washington, DC, NESS, 1972. (NOAA Technical Memorandum NESS 35).
- TANAKA, K. Simulação da ressurgência comparada com dados oceanográficos e de sensores remotos em Cabo Frio. *Anais Hidrográficos*, 34:168-346, 1977
- TANAKA, K.; ALMEIDA, E.G. *Aplicação das imagens do satélite LANDSAT e dados oceanográficos na verificação de um modelo matemático de Ressurgência*. São José dos Campos, ago. 1980. (INPE-1349-NTE/131).
- TSENG, Y.C. *Preliminary results and analysis of the mission SEREMAR III*. São José dos Campos, INPE, 1972.
- TSENG, Y.C. Study of the surface boundary of Brazil and Falkland currents. In: COMMITTEE ON SPACE RESEARCH (COSPAR) *Seminar on Space Applications of Direct Interest to Developing Countries*. São José dos Campos, INPE, 1974, v. 2, p. 160-173.
- TSENG, Y.C.; INOSTROZA VILAGRA, H.M.; KUMAR, R. Study of the Brazil and Falkland currents using THIR images of Nimbus V and oceanogeophic data in 1972 to 1973. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 11., Ann Arbor, MI, 1977. *Proceedings.*, Ann Arbor, MI, ERIM, 1977, v. 2, p. 859-871.
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER; manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, jul. 1980. (INPE-1315-NTI/110).

- WEZWENAK, C.T.; TURNER, R.E., LIZENGA, D.R. *Spectral reflectance and radiance characteristics of water pollutants*. Washington, D.C., NASA, 1976b. (NASA CR-2665).
- WEZERNAK, C.T.; TANIS, F.J.; BAIZA, C.A. Trophic State analysis of inland lakes. *Remote sensing of Environment*, 5(2): 147-165, 1976a.
- WILLIAMS, J. *Optical properties of the sea*. Annapolis, United States Naval, Md, Institute, 1970.