5. Distribuição 2. Versão 3. Data 1. Publicação nº Abril, 1982 🔲 Interna 🖾 Externa INPE-2368-MD/019 Programa 4. Origem 🗌 Restrita DSR/DDP TRATEC 6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) SENSORIAMENTO REMOTO OCEANOGRAFIA INTERPRETAÇÃO DE DADOS 7. C.D.U.: 528,711.7:551.46 8. Titulo INPE-2368-MD/019 10. Paginas: 67 11. Oltima paqina: 58 INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES EM OCEANOGRAFIA 12. Revisada por dues highly 9. Autoria Keiko Tanaka Hector Manuel Inostroza Juan Jose V. Bentancurt <u>Sydnea</u> <u>M</u>aluf 13. Autorizada por Nelson de Jesus Parada Diretor Assinatura responsável 14. Resumo/Notas O presente trabalho desenvolvido com objetivos didáti cos, apresenta a metodologia de interpretação de dados de sensoria mento remoto e aplicações em Oceanografia. São discutidos os elemen tos de interpretação de imagem para os diferentes tipos de sensores: dados MSS/LANDSAT, IV (infravermelho termal) e VIS (visivel) de sa télites meteorológicos da série NOAA e geoestacionário. Enfase é da da à metodologia de interpretação visual e automática destes dados nos estudos de poluição costeira, corrente do Brasil e ressurgência. 15. Observações Material Didático, preparado para cursos de treinamento em Sensoriamento Remoto e Aplicações, sob coordenação do Programa de Transferência de Tecnologia.

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.

SUMARIO

Pag.	P	ã	g	•
------	---	---	---	---

LISTA DE FIGURAS	υ
LISTA DE TABELAS	vii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - PRINCÍPIOS BÁSICOS DA INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM	
OS MEIOS LÍQUIDO E ATMOSFÉRICO	5
2.1 - Interações de radiação em águas costeiras	5
2.2 - Reflectância na superficie 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
CAPITULO 3 - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO VISUAL	25
3.1 - Metodologia para interpretação visual de imagens em corpos d'água	28
3.2 - Acompanhamento das propriedades de águas costeiras, estuari nas 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 da dos do LANDSAT	31
3.6.1 - Fase 1 - Procedimento preliminar	32
3.6.2 - Fase 2 - Seleção das āreas de treinamento	36
3.6.3 Fase 3 - Aplicação do sistema MAXVER	37
CAPÍTULO 4 - UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS EM OCEANOGRAFIA COM	
SATELITES QUE OPERAM NO INFRAVERMELHO (IV) TERMAL	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

Pāg.

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 BIBLIOGRÂFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

1.1	-	Processos básicos de interações de um raio de luz com a ca mada 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 efluen tes 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, con tido 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

- v -

LISTA DE TABELAS

.

2.1	-	Variações de reflectância com a distância zenital, para uma superficie 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 um	13
2.4	-	Irradiância espectral do sol em Watts/ $M^2/\mu M$	18
4.1	-	Instrumento AVHKK (IIKUS-N Ł NOAA-6)	45

<u>Pāg</u>.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

Para estudar fenômenos oceanográficos através de senso riamento 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 ra diação solar é refletida e espalhada na superfície. Uma componente da radiação solar difusa é superposta à radiação solar direta, sendo, par te desta, refratada, absorvida e espalhada para o oceano. Uma fração da radiação espalhada penetra novamente na superfície, sofrendo refl<u>e</u> xão.



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

Os olhos, um exemplo de sensor normal, são surpreendente mente limitados. Eles podem responder as 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 capaci dade de percepção a 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 informa ções, outrora inacessíveis por processos comuns. Por exemplo, câmeras multiespectrais, que operam na faixa de 0,30 μ m, a 14,0 μ m, são usados na detecção de certas características do meio líquido, indicando a cir culação superficial, circulação estuarina, etc.; radiômetros para o in fravermelho, que operam na faixa de 8,0 a 14,0 μ m, são capazes de detec tar gradientes térmicos na superfície do mar.

Todos os objetos da natureza têm sua distribuição caract<u>e</u> ristica de radiação refletida, emitida e absorvida. Estas caracterist<u>i</u> cas espectrais, quando bem exploradas, podem ser usadas para obter i<u>n</u> formações sobre sua forma, tamanho, ou outras propriedades fisicas e qu<u>i</u> micas. Com base nestas caracteristicas espectrais, pode-se selecionar apropriadamente os sensores sensiveis nestas faixas, para fazer as med<u>i</u> das desejadas.

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

Na interpretação destes dados, principalmente de fenôm<u>e</u> nos que ocorrem no mar, é indispensável considerar previamente a qual<u>i</u> dade de um instrumento sensor, as variações temporais e espaciais do f<u>e</u> nômeno, bem como suas características espectrais.

Além disso, se houver laboratórios para análise; pode-se avaliar a qualidade da água mais diretamente relacionada com as propri<u>e</u> dades físico-químico-biológicas das águas (oxigênio dissolvido, nitrogê nio solúvel, teor de clorofila "a"); poder-se-á ainda fazer análise s<u>e</u> dimentológica 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-a ter estimativa da qualidade da agua, bem como certas estimativa vas da dinâmica do oceano.

De um modo geral, os sensores remotos fornecerão:

- a) dados instantâneos e sinóticos de uma situação que, dependendo da frequência de repetição de sobrevôo, daria informações sobre a dinâmica do corpo d'água; embora haja limitações com relação à cobertura de nuvens;
- b) resolução geométrica dos sensores remotos que sempre é maior do que qualquer coleta de amostras, fornecendo um volume de infor ções muito mais denso, por unidade de área;
- c) rapidez na obtenção dos dados de certos sensores remotos que é fundamental também para sua aplicação.

CAPITULO 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 lux refletida pela superficie oceânia e que afeta a reflectância é função de três pa râmetros, que são: a natureza da superficie oceânica, que pode ser $l\underline{i}$ sa ou rugosa; o ângulo de elevação solar, e a quantidade relativa da luz do céu. Existe também o quarto parâmetro que á a luz espalhada p<u>e</u> las partículas existentes no oceano e que voltam para a atmosfera (F<u>i</u> gura 2.3). O efeito da altitude ao sol sobre a reflectância, por uma superfície lisa, é dada pela equação de Fresnel:

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

onde:

 ρ ē 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 diferen tes 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

2,0%	
2,0%	
2,0%	
2,1%	
2,4%	
3,5%	
5 , 9%	
13,2%	
34,7%	
100,0%	
	2,0% 2,0% 2,1% 2,4% 3,5% 5,9% 13,2% 34,7% 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; absor vida e refletida de volta para a superfície.

2.3 - TRANSMISSÃO DE LUZ NA ÁGUA

Mesmo a agua mais pura e mais clara tem aspecto de névoa. A visibilidade dentro da agua 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 visivel", no mar, são deste modo dependentes das propriedades de transmissão de luz na agua. Esta situação é significantemente diferente no ar, onde a visibi lidade é bem maior. A água absorve a luz seletivamente de uma maneira compl<u>e</u> xa, 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 suf<u>i</u> ciente para reduzir a intensidade da luz em aproximadamente, 4% (quatro por cento) em todo o percurso. Outras cores são mais levemente absorv<u>i</u> das e quase eliminadas completamente após uns poucos metros de percurso na água.

Além disso, partículas em suspensão e contaminantes na agua servem para reduzir a transmissão de luz. O pico de transmissão da agua desvia em direção ao verde, ou em direção à região do amarelo - ver de. Este desvio é facilmente observado na mudança da água clara coceân<u>i</u> ca 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 diminue em todos os comprimentos de onda. Esta diminuição pode ser provocada pelo aumen to do espalhamento não-seletivo (espalhamento Mie), devido à maior con centração 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 ra diante visível, atenuando fortemente os comprimentos de onda do vermelho e do azul; estes últimos dependendo do tipo de água. O máximo de trans missão da água oceânica clara coincide com a da água destilada, e ocor re 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, ã maior presença de produtos dis solvidos da decomposição de materiais orgânicos, e de partículas em sus pensão.





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

2.4 - ATENUAÇÃO DA ÁGUA OCEÂNICA E COSTEIRA

Como foi dito anteriormente, existe uma janela de trans missão 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 on da 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 atenuação, ou coeficiente de extinção α , é definido, na equação, de acordo com a lei de Beer:

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

onde I_z \tilde{e} a intensidade de um feixe de luz, paralelo ao comprimento de onda λ , após penetrar uma distância z; I_o \tilde{e} a intensidade na superf<u>í</u>cie e z \tilde{e} a espessura da camada d'água.

A transmitância é definida como:

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

e a densidade como:

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

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

 $D = 4343\alpha z$, onde z, de novo, \tilde{e} 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

VĀRIOS TIPOS DE ĀGUA	COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA TRANSMITANCIA (µ)	TRANSMITĀNCIA (%)	COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO TOTAL (α) (m^{-1})
Água Pura	0,470	98,5	0,015
Agua oceânica mais clara	0,470	-98,1	0,0192
Agua oceânica média	0,475	89,0	0,1053
Agua costeira mais clara	0,500	88,6	0,1210
Agua 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 espec tral para vārias āguas costeiras e āgua 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 minima (māxima de transmitância da aqua do mar) das aguas costeiras e oceânica média, desviam em direção a comprimentos de ondas mais longos. A curva da "costeira maxima" tem o seu mínimo em 0,549 µ. Os coeficientes de ate nuação média para água oceânica são 4 a 5 vezes maiores do que os da aqua pura. Como mostrado na Figura 2.5, no intervalo de 0,46 a 0,60 μ , os coeficientes de atenuação minima, média e máxima são respectivamen te, 16,24 e 30 vezes maiores que os da agua pura. As curvas de coefi ciente de atenuação versos comprimentos de ondas das aguas costeira mínima e costeira média ficam entre as curvas da costeira máxima e oceâ nica. A diferença na transmitância da água costeira é devida ao número de partículas em suspensão na água. As águas de Baias e interiores ge ralmente tem coeficientes de atenuação maiores do que as costeiras, con forme mostrados na Tabela 2.3.

TABELA 2.3

MEDIDA DE COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO DE ÃGUAS COSTEIRAS

NA REGIÃO DE 0,40 A 0,55 µm

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, basea do em Polcyn and Rollin (1969), p.10.

2.5 - RADIÂNCIA RECEBIDA PELO SATELITE LANDSAT

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

$$L_{S}^{\star} = \frac{H_{S \tau}}{\cos \theta}$$

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-agua abandona a superficie com um ângulo igual ao incidente e, pela geometria e a ho ra 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° 56' (NASA, 1975), a radiância G* pode ser registrada no filme ofuscando a informação proveniente do in terior 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 inciden te desde o zênite (L_c^*), que se reflete pela interface e atinge o sat<u>é</u> lite (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;
- LA radiância de retroespalhamento do ar;
- L^{*} radiância do sol incidente na agua;
- L^{*} radiância do ceu incidente na agua;
- θ angulo zenital do sol;
- Ht irradiância da agua devido a radiância do sol;
- H^{*} irradiância da agua devido à luz do ceu;
- p* radiância de objetos flutuantes;
- V* radiância emergente retroespalhada pela agua, devido ao espalhamento da luz dentro da agua pelas particu las suspensas;

- S^{*}s radiância da espuma e borrifo do mar;
- Sč radiância refletida pela superfície do mar;
- ρ reflectância especular para a interface ăgua-ar; em ăgua calma e medida na vertical, é igual a 0,02;
- B* radiância emergente do fundo;
- G* reflexo especular do sol;
- Io energia radiante que consegue penetrar na agua;
- I_B energia radiante que atinge o fundo;
- p_v reflectância por volume da agua;
- ρ_{c} reflectância da espuma e borrifo do mar;
- ρ_n reflectância dos materiais flutuantes;
- * indica emergência da água;
- ** indica emergência da atmosfera.

Segundo Scherz and Domelen (1975) a irradiância do ceu e:

 $H_{C}^{\star} = L_{C}^{\star} \pi,$

sendo a irradiância total incidente igual a:

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

A energia luminosa que passa a interface e penetra na agua e:

$$I_0 = H_0(0,98 - \rho_s)$$

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 ener gia incidente do sol é aproximadamente igual à de um corpo negro a 6000° 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 agua são espectral mente variáveis. Finalmente, havera uma somatória de efeitos consider $\overline{\underline{a}}$ veis para cada comprimento de onda.

	TAB	ELA	2.	4
--	-----	-----	----	---

(µ m)	Hs	(µm)	Hs		(µm)	Hs	
(µm) 0,400 0,405 0,410 0,415 0,420 0,425 0,430 0,435 0,440 0,445 0,450	H _s 1,54 1,88 1,94 1,92 1,92 1,92 1,89 1,78 1,82 2,03 2,15 2,20	(µm) 0,500 0,505 0,510 0,515 0,520 0,525 0,530 0,535 0,540 0,545 0,550	H _s 1,98 1,97 1,96 1,89 1,87 1,92 1,95 1,97 1,98 1,98 1,95	M S S	(µm) 0,600 0,610 0,620 0,630 0,640 0,650 0,660 0,670 0,680 0,690 0,700	H _s 1,81 1,77 1,74 1,70 1,66 1,62 1,59 1,55 1,51 1,48 1,44	M S S 5 ↓
0,455 0,460 0,465 0,470	2,19 2,16 2,15 2,17	0,555 0,560 0,565 0,570	1,92 1,90 1,89 1,87		0,710 0,720 0,730 0,740	1,41 1,37 1,34 1,30	M S S
0,475 0,480 0,485 0,490 0,495	2,20 2,16 2,03 1,99 2,04	0,575 0,580 0,585 0,590 0,595	1,87 1,87 1,85 1,84 1,83	•	0,750 0,800 0,850 0,900 0,950 1,000	1,27 1,13 1,00 0,90 0,80 0,73	6 M S S
				-	1,100	0,61	7

IRRADIÂNCIA ESPECTRAL DO SOL EM WATTS/M2/µM

FONTE: Johnson (1954), p. 431

2.5.1 - PROPRIEDADES ESPECTRAIS DA ÁGUA E DE SEUS POLUENTES

Vários autores têm feito medições da reflectância espe<u>c</u> tral total da água, cuja fórmula ē:

$$\rho_A = \rho_s \rho_v$$
,

sendo que $\rho_{\textbf{A}}$ 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 r<u>a</u> diação na atmosfera, e calcularam a radiância total que recebe o sat<u>é</u> lite a 900 km de altura. Esta radiância total é produto da soma da r<u>a</u> diância inerente da água com a do retroespalhamento da atmosfera (Fi<u>gu</u> ra 2.6), onde:

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

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° 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 ze ro. Os gráficos mostram que é possível, nos comprimentos de onda do MSS, distinguir estes poluentes. Em comprimentos de onda menores que

0,5 μ 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 nes te caso, também não é importante, pois, no trabalho em questão usam-se dados de locais com o fundo a três metros da superfície. Também despre za-se a influência dos sólidos flutuantes (P**), uma vez que as medidas foram feitas sem este problema. Na Baía de Guanabara, por exemplo, exis tem regiões em que esta contribuição pode ser importante, dificultando o monitoramento das propriedades inerentes a água. As abundantes man chas 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: ρ_A (Figura 2.6). Nesta reflectância total, na Baía de Guanabara, ρ_S é bem menor em rela ção a ρ_V , devido ao fato de existir pouca espuma gerada pela agitação superficial. Em mar aberto e em certas condições de agitação intensa, a contribuição de ρ_S pode ser importante e deve ser levada em conta (Scherz and Domelen, 1975).

A contribuição da radiância de retroespalhamento devido à interação da luz com os componentes do ar, L_A , no caso da Baía de Guana bara, 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 po 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 duran te 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.





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

A - efluente de fábrica de papel por sulfeto (8% de sólidos);

B - efluente de siderūrgica;

C - efluente de fábrica de produtos cloro-alcalinos;

D - esgoto domiciliar;

- E camada de õleo de menos de 10 $_{\mu}m$ de espessura;
- F efluente de indústria de tanino;

G - agua clara do oceano.





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

- a visibilidade foi de 15 km e a elevação solar de 35⁰.

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 res postas 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 praticamen te 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 re flectância total ρ_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 diferen tes formas, o que se observou na Figura 2.7, em diferentes tipos de águas poluidas. O tanino dá uma curva achatada devido à grande absor ção em todos os comprimentos de onda, o esgoto de fábrica de papel ten de aos vermelhos e infravermelhos devido à presença de sulfato de lig nina 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 fundamentalmen te da somatória da radiância refletida, proveniente do céu, na quela direção (S_c), da radiância proveniente do retroespalha mento da radiação solar com a tmosfera (L_A), da radiância pro veniente do material flutuante na água, e da radiância emergen te do interior do corpo de água, produto do retroespalhamento da radiação solar que penetrou na água (V). Esta última radiân cia 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 eletrôni co, que se compõem de diversos sinais: ruído dos próprios sen sores e do circuito da espaçonave (efeito predominantemente adi tivo), mudança nos ganhos dos amplificadores ou dos próprios de tectores (efeito multiplicativo). Durante a calibração dos da dos de vídeo, pode-se adicionar efeitos aditivos ou multiplica tivos, 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 eficien tes 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 multi plicativos).
- d) O valor da transmissividade da radiação (Jurica, 1973) é impor tante, uma vez que varia muito devido à presença ou ausência de alta quantidade de aerossóis, à névoa, à variação da eleva ção solar, à variação da quantidade de umidade, etc. Estes efei tos podem variar de hora em hora e de local a local (efeito mul tiplicativo).

CAPITULO 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 c<u>a</u> nais multiespectrais do radiômetro (MSS=. Cada canal é sensível a uma faixa do espectro, a saber:

canal 4 \rightarrow 0,5 - 0,6 μ m canal 5 \rightarrow 0,6 - 0,7 μ m } visivel canal 6 \rightarrow 0,7 - 0,8 μ m canal 6 \rightarrow 0,7 - 0,8 μ m canal 7 \rightarrow 0,8 - 1,1 μ m }

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 la<u>r</u>gura.

Pode-se fazer análise visual de imagens do MSS ou an<u>a</u> lisá-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:

 Aspecto espectral - Permite a coleta de informações em 4 fai xas distintas do espectro eletromagnético. Por exemplo, na Fi gura 2.7 as curvas de reflectância espectral de diferentes ti pos de águas mostram diferentes formas. O esgoto domiciliar (D) apresenta alta reflectância nos canais 4 e 5 do MSS. A água cla ra do oceano, por sua vez, apresenta baixa reflectância no ca nal 4, e nenhuma no canal 7.

- 2) Aspecto temporal Devido ao caráter dinâmico das águas oceâni cas e à repetividade de imageamento feito pelo LANDSAT, as va riações temporais apresentadas pelos padrões de tonalidade é 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 mo nitoramento de zonas costeiras, mas não para a detecção de mu danças 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 mui to importante no acompanhamento de fenômenos oceanográficos. O conhecimento previo das características do alvo em cada canal auxilia na escolha dos canais adequados ao objetivo do intér prete. Para estudos da qualidade dos corpos de agua, os canais 4 e 5 são os mais recomendados. O canal 4 permite uma maior pe netração 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, principal mente quando existem substâncias de cor vermelha, decorrentes das descargas de rios. Apesar de não fornecer informações S0 bre a condição interna dos corpos de água, o canal 7 geralmen te é útil na definição dos limites entre terra e água, devido à alta absortância da água nessa faixa do espectro.
- 5) *Seleção de escala* A escolha da escala na imagem dependerã do detalhe exigido. Por exemplo, estudos que envolvem alvos meno

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

A Figura 3.1 mostra um gráfico da resolução temporal ver sus 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'AGUA

Qualquer que seja o tema a ser mapeado através da análi se visual de imagens LANDSAT, um passo fundamental no processo é a ob tenção 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 ESPEC TRAL (µm)	↓ 0,5-0,6 ↓	↓ 0,6-0,7 ↓	↓ · 0,7-0,8 ↓	↓ 0,8-1,1 ↓
COR	Verde	Laranja	Vermelho	Infravermelho proximo

O primeiro passo na interpretação visual de imagens con siste 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 su perfície ou subsuperfície, visando a descoberta e avaliação, por méto dos indutivos, dedutivos e comparativos, do significado das funções e relações dos fenômenos observados na imagem. Essas relações são compl<u>e</u> mentadas por informações bibliográficas e combinação de informações de satélites com processos de observação in situ, por regimes de corre<u>n</u> tes, 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 levantemento de informação da água. Os quatro canais espectrais foram selecionados pa

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

Em águas estuarinas, costeiras e lagunares, onde a quan tidade de sedimento é relativamente alta, o sedimento pode ser usado como traçador para correntes superficiais. Os padrões de distribuição de sedimento são tembém 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 uti lizados com êxito para estudar circulação e frentes costeiras e estua rinas. Frentes (regiões de descontinuidade térmica, de sedimentos, etc) são as maiores características hidrográficas na maioria das águas cos teiras e estuarinas.

As massas d'água separadas por uma frente frequentemente diferem em turbidez e propriedades espectrais, as quais podem ser ob servadas por sensores remotos. Os satélites e aviões equipados com sen sores 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 f<u>e</u> nômenos 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, ta<u>n</u> to horizontal como verticalmente. Um processo normal de coleta num po<u>n</u> to do corpo d'água requer da ordem de 15 minutos a meia hora, depende<u>n</u> do do grau de amostragem e dos parâmetros que se pretende estimar. Es te ponto é importante, visto que uma equipe de coleta só poderá amos trar cerca de 4 pontos, 1 hora antes e 1 hora depois da passagem do s<u>a</u> télite.

3.4 - PARÂMETROS A SEREM MEDIDOS

Na coleta de amostras, alguns parâmetros podem ser medi dos 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 profundi dade da água.

Levando-se em conta todos os fatores apontados para a e<u>s</u> colha do método analítico, devem-se considerar as seguintes caracterí<u>s</u> ticas:

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

Além dos parâmetros de qualidade da agua ja mencionados, podem-se coletar outras informações complementares para estudar a dinâ mica dos corpos d'agua, tais como: altura e correntes da maré, e ven tos, 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 area da bacia do corpo de agua em estudo. A resolução temporal necessa ria para uma análise exaustiva deve ser horária.

3.5 - ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DA ÁGUA COM SENSORES

Caso se pretenda obter, através de abordagem empirica (ou estatística), estimativas semiquantitativas dos parâmetros de qu<u>a</u> lidade d'água, com os dados de video de sensores remotos, os dados men cionados anteriormente são suficientes para a consecução das altas co<u>r</u> relações entre os parâmetros de qualidade d'água e os dos dados da im<u>a</u> gem 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 predizer 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 da dos mencionados, medidas de radiância de retroespalhamento do alvo, da radiância do céu, da irradiância do sol, e da transmissividade espec tral da atmosfera.

3.6 - <u>RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM ÁREAS COSTEIRAS ATRAVÉS DE DADOS DO</u> LANDSAT

Geralmente o termo reconhecimento de padrões, como usado na literatura técnica, refere-se ao desenvolvimento de técnicas e equi pamentos 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 reconhec<u>i</u> mento de padrões exige a classificação automática feita pelo computa dor. A similaridade entre eles é o fato de ambos exigirem a seleção de determinadas características (elementos) inerentes ao alvo, para real<u>i</u> zar 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 segun da 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 par tir 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.

- 32 -

- b) Na projeção da imagem de video, 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, toman do-se como referência o número de linhas e de pontos. Este pas so permite que o analista amplie o espaço selecionado e cir cunscrito pelo cursor, alcançando maior detalhamento das fei ções através da variação da escala.
- c) Algumas imagens apresentam "stripping", ou fatiado, devido a 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 progra mas de correção radiométrica. Resumindo, este programa traba lha da seguinte maneira: primeiro, adquire histogramas de nĩ vel de cinza da imagem em cada canal do MSS; para cada uma de las, faz-se a equalização dos histogramas dos sensores, de for ma não-linear, gerando uma tabela de correção que se aplicarã a toda imagem.
- d) Com base no princípio de que as superfícies d'água absorvem quase que totalmente os comprimentos de onda de energia eletro magnética no canal 7 do MSS (correspondente ao infravermelho próximo), explica-se que, na imagem, as áreas dos corpos d'á gua aparecem com altas densidades, devido ao baixo nível de si nal registrado pelo sensor. Os alvos terrestres que possuem ca racterísticas espectrais com alta reflexão nessa faixa, sensi bilizam os elementos sensores desse canal no satélite, com si nal bastante intenso, distinguindo os contornos entre os dois meios por contrastes muito diferenciados e grande discrimina ção. Aplica-se o programa "SINGLE CELL" (célula única) para de finir os limites entre a terra e a água.
- e) Geralmente, a assinatura definida pela celula única não e suf<u>i</u> ciente para definir o limite terra/água, devido a classes, c<u>o</u> mo sombras e áreas úmidas, possuírem assinaturas espectrais se

melhante às da água. Para isso, deverá ser utilizada uma inter pretação visual como auxiliar no vídeo do I-100, eliminando-se estas áreas, através de cursor, como operação de subtração do sintetizador de temas "theme sinthesizer 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 din<u>â</u> mico da escala de 255 niveis de cinza, para 64 niveis. Essa operação é necessária devido ao fato de o sistema de dois ca nais admitir que a imagem possui apenas 64 niveis para cada ca nal.
 - 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 cél<u>u</u> la de resolução), onde estão distribuídas as classes do MSS-4 e MSS-5.

A Figura 3.3 apresenta o fluxograma do procedimento pr<u>e</u> liminar do CCT no I-100, contido nas cenas do MSS, nos quatro canais, para o estudo da qualidade da água, descrito no ítens anteriores.



Fig. 3.3 - Fluxograma do processamento preliminar do CCT no I-100, con 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 forneci dos 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; con sequentemente, 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 ca nais, que fornece um histograma bidimensional de toda área de estudo. Em seguida, ele gera um arquivo (COUNT-HST), que con tém 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 frequen cias serão representadas por caracteres alfanuméricos
- b) Analizando-se o "print-out", tem-se a distribuição das células no espaço de atributos. Através .do prógrama "cluster--synthesis", os "pixels" correspondentes a cada cela poderão ser evidenciados no vídeo. A área de treinamento será escolhi da nas regiões em que haja uma concentração dos "pixels" cor respondentes ãs celas de resolução, cuja concentração corres ponde a uma somatória das celas de resolução.



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

3.6.3 - FASE 3 - APLICAÇÃO DO SISTEMA MAXVER

Sistema MAXVER é um critério de classificação paramétr<u>i</u> ca, 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 flux<u>o</u> grama 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 ārea de treinamento, os passos se guintes são:

1) Saīda MAXVØ1

Determinar os parâmetros das classes, como: número de pon tos considerados em cada classe e em cada canal, média e matriz de con variância.

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 admi por vez)

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

2) Saida MAXVØ2

São fornecidos ao usuário meios de saber se asclasses es tão ou não separadas. Um deles é uma "matriz de classificação",que da uma previsão dos resultados da classificação; nesta matriz, cada li corresponde a uma classe. A primeira coluna da a porcentagem dos pon tos da classe que não serão classificados. As outras colunas correspon dem as porcentagens (estimadas) dos pontos da classe que serão classi ficados. A matriz permite, também, distinguir as classes que estão su perpostas e as que estão separadas. No caso de classes cujas distribui ções se sobrepõem, isto pode ser devido a imprecisão na aquisição das amostras, ou ao fato de as classes serem muito semelhantes. No primei ro caso, pode-se tentar aumentar a separação entre as classes, mudando -se as amostras que as constituem.

3) MAXVØ7

As areas 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 m<u>e</u> canismo de varredura do sistema IMAGE-100, célula por célula, comp<u>a</u> rando os valores digitalizados com o correspondente no espaço espe<u>c</u> tral 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 si<u>s</u> tema são geradas as imagens coloridas jã classificadas.

CAPITULO 4

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

A disponibilidade dos satélites ambientais operacionais tem facilitado aos cientista investigar a atmosfera e examinar cuidado samente a superfície do oceano, sobre uma escala global. Os satélites de órbita polar obtêm dados que cobrem a terra de pólo a pólo, duas ve zes por dia; satélites geoestacionários são mantidos em uma posição fi xa, acima do equador, e monitoram continuamente o ambiente de uma por ção do globo, dia e noite.

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

4.1.1 - SATELITE NOAA-5

O satélite NOAA-5, o quinto da série NOAA, foi um satél<u>i</u> te meteorológico que circundava a terra num plano quase perpendicular ao equador; portanto, em órbita quase polar, síncrona com o sol, à di<u>s</u> tância de aproximadamente 1450 km da superfície da terra. Por ser sin crono 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 denorte para o sul, (modo de<u>s</u> cendente) 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 (F<u>i</u> gura 4.1b) (NOAA, 1977; Oliveira, 1977):

 SR - "Scanning Radiometer" (Radiômetro de Varredura) sensor de dois canais (0,5 a 1,0 µm, sensível à radiação visível, e 10,5 a 12,5 µm, sensível à radiação IV). A resolução dos dados do ca nal visível foi de 4 km e do infravermelho termal, 8 km.





O satélite e seu sistema de energia elétrica foram proje tados para operar em órbita circular, quase polar, sincrona 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 2h local, para o modo ascendente, por volta das 13:30 h. Haverá permanen temente dois satélites em órbita, que fornecerão duas passagens em ca da intervalo de seis horas. Atualmente, encontram-se operacionais o pro tótipo TIROS-N, que passa em torno das 15 h local, em órbita ascenden te (S \rightarrow N), e o NOAA-6, que passa por volta das 07:30 h local, em orb<u>i</u> ta descendente.

- VHRR "Very High Resolution Radiometer" (Radiômetro de Resolu ção Muito Alta) - Sensor que detectava energia no espectro vesí vel (0,6 a 0,7 μm) e na região do infravermelho termal (10,5 a 12,5 μm). Ambos os canais possuíam um campo de visada (IFOV) de 0,6 milirradianos, 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 CO₂, em 15 μm; um na janela, em 11,8 μm; e outro na região de vapor d'água, em 18,7 μm.
- SPM "Solar Proton Monitor" (Monitor de Prótons Solares) Me diam o fluxo de partículas enérgicas (protons, elétrons e partí culas alfa).

A Figura 4.1 ilustra esquematicamente o princípio de fun cionamento 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. C<u>a</u> da 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 - SATELITE TIROS-N

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

- - Sondador Vertical Operacional TIROS (TOVS) Dados para o cal culo de perfis de temperatura, conteúdo de vapor d'água da at mosfera, e conteúdo total de azônio.
 - Monitor de Ambiente Espacial (SEM) Mede raios-X solar e par tículas energéticas.
 - Sistema ARGOS de coleta de Dados (DCS) Localização das plata formas em boias flutuantes livres e em balões, e aquisição de dados de plataformas em qualquer parte do mundo.

4.1.3 - SATELITE 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 qua se circular, aproximedamente, a 818 km da superfície da Terra. Tem mo vimento 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 lança dos são sensíveis a quatro canais de regiões espectrais. Uma mudança futura no projeto adicionará mais um canal, o canal 5 na região de l2 μ 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 VISTVEL	CANAL 2 INF. PRÓXIMO	CANAL 3 IV. TERMAL	CANAL 4 IV. TERMAL	CANAL 5 IV. TERMAL	
LARGURA ESPECTRAL (µm)	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*	SILĪCIO	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 VARREDU RA	CIDADE ARREDU 360 LINHAS POR MINUTO					

* - Silicio

- ** Antimoneto de Indio
- *** Telureto de Cadmio e Mercurio

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

Os canais 1 e 2 são usados para discernir nuvens, separa ção terra/ãgua, 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 no turnas 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, melhorarã ainda mais as medidas de temperatu ra da superfície do mar em ãreas tropicais. Atualmente, o CNPq/INPE recebe diariamente dados do canal l e 4. Eventualmente, poderão ser recebidos dados de outros canais, dependendo da necessidade do usuário.

4.1.5 - SATELITE SMS-2

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

Os satélites geoestacionários apresentam a grande vant<u>a</u> gem de poderem repetir imagens hemisféricas a cada 30 minutos. No en tanto, são necessários vários satélites para cobrir o globo de forma mais ou menos satisfatória. Atualmente, existe uma rede mundial de sa télites, 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 bor do de satélites, informações sobre as características termais das gran des 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 Nor te (Gulf Stream), em 1777, por Benjamin Franklin (NOAA, 1978). Mais tar de, por volta de 1800, realizaram-se poucas viagens científicas, tais como "Challenger", "Tuscurora" e "Blake", que exploraram as águas mais longinquas. Infelizmente, viagens científicas para estudar os oceanos

- 46 -

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

As posições geográficas da maioria das principais corren tes oceânicas não são bem conhecidas. Associadas com essas principais correntes, existem regiões de fortes gradientes de temperaturas super ficiais do mar que se identificam como "frentes oceânicas". As posi ções médias das correntes oceânicas e os principais sistemas frontais são apresentados na Figura 4.2a. Como se pode ver, as frentes oceâni cas 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 modalida de de circulação é a ressurgência, que é a ascenção de águas subsuper ficiais 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.





a - Posição média das maiores correntes e frentes oceâncias.
b - Areas gerais de ressurgência.

FONTE: NOAA (1979), p. 2

Posição Média das Maiores Correntes Oceânicas Superficiais 1. Corrente da Florida 2. Golfo "Stream" 3. Corrente do "Labrador" Corrente do Oeste da Groelândia 5. Corrente Leste da Groelândia Corrente do Atlântico Norte 6. 7. Corrente Norte Equatorial 8. Contra-Corrente Equatorial Corrente Sul Equatorial 9: 10. Corrente do Brasil 11. Corrente das Malvinas 12. Corrente Circumpolar Antártica Corrente da Benguela Corrente das Agulhas 15. Corrente Norte Equatorial 16. Contra Corrente Équatorial 17. Corrente Sul Equatorial 18. Corrente "Kuroshio" 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 Corrente de Humbolt Posição Média das Maiores Frentes <u>Oceanicas</u> Frentes do Oceano Atlântico 1. Corrente "Loop" (Golfo do México) Golfo "Stream" 2. 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"
- Frente do Estreito "Denmark" 8.
- 9. Frente Polar leste da Groelandia
- Frente do mar da Groelândia-Noruega
- 11. Frente da Ilha "Beat"
- Ressurgência do Noroeste Africano
- 13. Frente do Golfo da Guine

- 14. Corrente da Guiana
- 15. Ressurgência de Benguela
- Convergência subtropical
- 17. Convergência Antártica (Fren te Polar Sul)
- 18. Divergência Antártica
- Frentes do Mar Mediterraneo
- 19. Frente "Huelya"
- 20. Frente do Mar "alboran"
- 21. Frente "Maltese"
- 22. Frente do Mar "Ionian"
- 23. Frente da Bacia "Levantine"

Frentes do Mar da India

- 24. Ressurgência "Somali" 25. Ressurgência Arábica
- 26. Frente de Salinidade do Mar da India
- 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 amare 10
- Frente da costa Coreana
- 32. Corrente Tisushima
- Frente "Oyashio"
 Frente "Kuril"
- 35. Frente Subārtica
- 36. Frente de Salinidade "Doldrun" do Norte
- 37. Frente de Salinidade "Doldrun" do Sul
- 38. Convergência Tropical
- 39. Convergência do meio "Tasman"
- 40. Frente Subartica 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 d<u>e</u> talhados sobre o sistema da corrente do Brasil (SCB).

A corrente do Brasil é um ramal sul da corrente equato rial do Atlântico Sul, (Figura 4.2a), a qual se locomove até o oeste, entre as latitudes 0° e 20° S, no cabo de São Roque, e é desviada pri<u>n</u> cipalmente para o sul; esta corrente flui ao longo da costa da América do Sul, (Figura 4.2a), levando água de alta temperatura e alta salini dade. Perto da costa da Argentina, a corrente das Malvinas (Falkland) (Figura 4.2a), de baixa temperatura e baixa salinidade, estende-se até 30° S aproximadamente, onde se encontra a corrente do Brasil. Pode-se distinguir o encontro entre estas correntes frias e quentes pelas dif<u>e</u> rentes 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 cor rente do Brasil e a das Malvinas, visando a determinação da frente ocea nográfica entre estas duas correntes. Esta frente se localiza na região do extremo oeste da Convergência Subtropical do Oceano Atlântico Sul. O objetivo mais impotante deste item é apresentar uma discussão das características desta frente.

O SCB tem sido descrito na literatura oceanográfica in ternacional recente, utilizando imagens obtidas pelo Radiômetro de Reso lução 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 semin \overline{a} rio de Michigan em 1977 (Tseng et alii, 1977).

O trabalho de Tseng et alii (1977) sera 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 geoestacionário SMS-2, foi pos sível obter grande volume de informação sobre o SCB. No início, fize ram-se interpretações visuais com as imagens para descrever o sistema. Nos últimos anos, com a incorporação do sistema IMAGE-100, foi possí vel obter descrições muito detalhadas sobre as características mais im portantes deste sistema. A análise, mesmo no sistema IMAGE-100, consis te em utilizar um conjunto de programas de computador, que permite ob ter muitas informações sobre a imagem analisadas. Talvez a maior vanta gem para a oceanografia seja a obtenção de impressos ("printouts") so bre temas específicos dos canais espectrais utilizados.

3) - <u>O sistema da corrente do Brasil (SCB) segundo a oceanografia</u> 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 nutrien tes. No MM DHN (Brasil, 1974), apresenta-se a ordem de grandeza da in tensidade 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 co<u>n</u> feccionadas 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 ocea nográficas;
- 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 superficie, ou logo abaixo da superficie. Es ta água é mais fria do que a água superficial original e, consequente mente, produz uma região característica de água fria na área. Geralmen te 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 ascenção 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 ressur gência.





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

FONTE: (Mascarenhas et alli, 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 lo cal de ocorrência da ressurgência. Contudo, várias comissões oceanográ ficas foram realizadas nesta área comprovando a existência deste fenô meno, como por exemplo: a SEREMAR II (Almeida et alii, 1971), SEREMAR III (Tseng, 1972), SEREMAR IV (Inostroza et alii, 1976). Essas comis sões 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 col<u>e</u> tados pelo termômetro de radiação de precisão (PRT-5), a ba<u>i</u> xas altitudes, e obter valores de temperaturas da superfície do mar, tão próximos da situação real guanto possível.
- 1) Metodologia de interpretação

A metodologia utilizada para interpretação do fenômeno da ressurgência em imagens termais, recebidas pelos satélites, é seme lhante à 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 BIBLIOGRÂFICAS

- 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 Remo to. 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.; GARRI DO, J.C.P.; OLIVEIRA, J.R.; ASSAD, P.C.X. Curso intensivo de satéli tes meteorológicos técnicas associadas utilizadas na produção, pro cessamento e interpretação das imagens. São José dos Campos, INPE, nov. 1979. (INPE-1614-MD/002).
- HERZ, R. Circulação das águas de superficie da Lagoa dos Patos. Tese de Doutorado. São Paulo, USP, 1977.
- INOSTROZA VILAGRA, H.M.; TSENG, Y.C. Atlas de estruturas Oceanográf<u>i</u> cas do Rio Grande do Sul. São José dos Campos, INPE. No prelo.
- INOSTROZA VILAGRA, H.V.; ALMEIDA, E.G.; MASCARENHAS JR., A.S.; Expedi ção 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, MĪ, 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, Williaw 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 an related atmospheric phenomena as viewed from environmental satellites. Washington, D.C., 1979.
- OLIVEIRA, J.R.; ELIAS, M. Estação receptora de satélites meteorológi cos com radiância de muita alta resolução; relatório final. São Jo sẽ 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 ENVIR 10., Ann Arbor, MI, 1975. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1975, v.1, p.447-460.
- SCHWALB, A. Modifield 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 southen 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 assessment; 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 oceanográfi cos 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 Res surgência. 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.

.