

INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS LANDSAT PARA O ESTUDO SISTEMÁTICO
DOS PADRÕES DE DISPERSÃO DE EFLUENTES SÓLIDOS NA BAIÁ DE GUA
NABARA E ÁGUAS COSTEIRAS ADJACENTES

R. HERZ* , K. TANAKA , J.J.V. BENTANCOURT

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP - BRASIL

RESUMO

A Baía de Guanabara constitui-se num exemplo bastante característico para o estudo de aplicação de sistemas sensores orbitais no monitoramento da dispersão de efluentes sólidos em águas costeiras, devido à gravidade local do problema e à possibilidade de obtenção de informações em órbitas adjacentes, a cada período de sobrevôo com uma repetitividade de dezoito dias. O processamento automático dos dados registrados em fita magnética (MSS-LANDSAT) pelo sistema Image-100, gera resultados a partir dos sinais gravados em fitas magnéticas compatíveis com computador. Todo o tratamento das imagens multiespectrais tipo MSS é feito através da aplicação de programas especiais incorporados ao referido sistema. Dos cinco anos de informação acumulados pelos três satélites LANDSAT lançados até o presente momento, pretende-se criar uma série de modelos característicos de condições ambientais próprias, contribuindo, assim, para a melhor compreensão do regime de interação das águas da baía com as águas costeiras. A dispersão do material sólido derivado do lançamento de efluentes diretamente às águas da baía de Guanabara tem sido investigada por outros modelos, em sua maioria teóricos, sem que um detalhamento semelhante aos apresentados nos mapas de distribuição obtidos por satélites LANDSAT fosse alcançado. Algumas correlações preliminares dos resultados de informação orbital com dados pontuais de apoio terrestre mostraram razoável coerência em sua distribuição horizontal em superfície.

e também

* Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IOUSP
São Paulo - SP - Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A Baía de Guanabara abrange uma área aproximada de 400 km², situada entre as coordenadas de latitude de 23⁰00' e 22⁰40'S, e longitude de 43⁰00' e 43⁰20'W. As pequenas bacias fluviais que desag^uam nesta baía constituem 50 unidades entre as principais que abaste^cem um complexo sistema estuarino, suportando em sua periferia uma das maiores concentrações urbanas do litoral brasileiro. Essa ocupa^ção do espaço por construções urbanas com fins residenciais, portuá^rios e industriais tem provocado um rápido aumento nos fatores que in^fluem na degradação do meio ambiente aquático, devido à presença cres^cente de fontes poluidoras da mais diversa origem.

Entre os diversos métodos já aplicados ao monitoramen^to do transporte do material em suspensão, por dispersão, está o sen^soriamento remoto orbital, que foi recentemente aplicado ao estudo dos processos dinâmicos de águas lagunares [4], usando o sedimento em suspensão como traçador natural de tendências.

No caso específico da região estudada, Baía de Guanaba^ra, o traçador natural tem-se constituído nos dejetos produzidos por ação antrópica, como resultado da ocupação humana muito intensa de sua periferia.

Alguns trabalhos anteriores [1] e [2], demonstram a gravidade do problema, sem contudo estabelecer precisamente a ampli^tude dos processos de dispersão desse material sob a ação de diferen^tes variáveis ambientais e sua repercussão em águas costeiras.

A tecnologia espacial que, atualmente, se dispõe, apre^senta uma série de vantagens que devem ser consideradas em razão de algumas limitações de ordem sinótica, que se tem encontrado com a apli^cação parcial de métodos de medida direta em superfície.

Os satélites LANDSAT têm produzido, com grande frequência, informações multiespectrais, que são de interesse para o estudo dinâmico dos processos de interação, com intervalo de 24 horas em órbitas adjacentes (232 e 233) e repetitividade de 18 dias.

Após cinco anos de acúmulo de informações, encontra-se em desenvolvimento um método automático de interpretação sistemática de imagens, usando os dados LANDSAT contidos nos registros magnéticos das Fitas Compatíveis com Computador (CCT), que serão processados no sistema analisador interativo IMAGE-100 [3].

Desta fase preliminar de investigação resultou uma primeira tentativa de análise, que será ampliada posteriormente, quanto a sua eficiência e potencialidade, como método de trabalho.

2. MATERIAL E MÉTODO

Como procedimento preliminar no preparo da cena a ser processada, foram aplicadas funções especiais cuja descrição já foi abordada por Herz e Tanaka [5]. Posteriormente, as áreas de imagem foram ampliadas em diferentes escalas (Tabela 1), no sentido de envolver o espaço da área da Baía de Guanabara e/ou a área costeira além da Baía, para que houvesse possibilidade de se estudar o regime de interação das águas estuarinas e costeiras.

Em prosseguimento, a etapa mais diretamente voltada à interpretação do fenômeno é o tratamento da informação digital, envolvendo o reconhecimento de padrões que compõem a cena, obtendo-se, no final, cada tema e sua distribuição qualitativa, ou mesmo quantitativa. Neste caso, entende-se por classificação automática qualitativa, aquela que é realizada na base de escolha dos valores típicos (níveis de cinza de cada canal) por um processo de interpretação visual; isto é, localiza-se, na imagem, as áreas que se acreditam ser características de diferentes padrões de qualidade de água (suspensão). Nas classificações utilizam-se, como base, os valores medidos no campo, simul

taneamente ao sobrevôo do satélite para discriminar diferentes tipos de qualidade da água.

TABELA 1

BAÍA DE GUANABARA E FAIXA COSTEIRA, DA IMAGEM DO
LANDSAT, AMPLIADAS NO SISTEMA I-100

ORB	PT	DATA	ESCALA	PIXELS ($\Delta x \times \Delta y$)	ÁREA GEOGRÁFICA
232	28	23.06.76	1:150 000	685 x 495	Baía de Guanabara
232	28	23.06.76	1:500 000	2060 x 1645	Baía e faixa cos teira
233	28	24.06.76	1:150 000	705 x 514	Baía de Guanabara
233	28	24.06.76	1:500 000	2061 x 1645	Baía e faixa cos teira

2.1 - IDENTIFICAÇÃO DE CLASSES PELO SISTEMA I-100

Na classificação automática foram utilizados programas do sistema MAXVER [7], implementados no IMAGE-100 / PDP 1145. O algoritmo de classificação desse sistema baseia-se no critério de máxima similaridade entre pontos de classes selecionadas interativamente pelo usuário.

A seleção de áreas de treinamento consiste na primeira atitude para o reconhecimento de oito classes homogêneas, representativas dos diferentes tipos de mistura de água visíveis na superfície, através de um dos canais MSS projetado no vídeo.

Para a aquisição de assinaturas, dando continuidade ao processamento, os canais MSS 4 e MSS 5 são utilizados para construir a estrutura estatística, que conduzirá à escolha de um nível de decisão, através da análise de uma matriz de classificação (Tabela 2), além de outros parâmetros representativos de cada classe (média e matriz de covariância), derivados da aplicação das funções do sistema MAXVER.

TABELA 2

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO, PASSAGEM LANDSAT 24.6.76, ÓRBI
TA 136, PONTO 28

Limiar = 3,50

CLASSES	N	1	2	3	4	5	6	7	8
1. C1	0.0	77.1	1.5	21.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2. C2	0.0	3.0	53.0	15.3	8.7	19.7	0.3	0.0	0.0
3. C3	0.3	26.2	23.3	45.0	4.1	1.0	0.0	0.0	0.0
4. C4	0.0	1.7	32.5	7.5	40.0	17.5	0.8	0.0	0.0
5. C5	0.0	0.0	13.7	0.3	7.1	62.9	15.9	0.0	0.0
6. C6	0.0	0.0	0.4	0.0	1.2	28.5	67.3	2.7	0.0
7. C7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	94.4	2.8
8. C8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	91.7

A matriz, acima, fornece uma precisão de classificação, com estimativa do tipo e percentagem do erro associado à cada classe. Desta forma, cada linha corresponde a uma classe. A primeira coluna representa a percentagem dos pontos da classe que não serão classificados. As outras colunas correspondem às percentagens estimadas dos pontos, da classe, que serão classificados. A matriz permite dizer, também, quais classes estão superpostas e quais estão separadas. Caso as classes estejam muito superpostas, pode-se tentar aumentar a separação entre elas, mudando as amostras que as constituem através da

subtração e aquisição de novas amostras, permitindo um aprimoramento na classificação.

Uma vez estimado o padrão espectral de cada classe, o restante da imagem é percorrido automaticamente pelo mecanismo de varredura do sistema IMAGE-100, ponto por ponto, comparando-se seus valores digitalizados com o correspondente no espaço espectral selecionado previamente.

2.2 - POSSIBILIDADE DE CORRELAÇÃO DOS PADRÕES ESPECTRAIS COM OS DADOS DE APOIO TERRESTRE

Uma tentativa dessa natureza foi estimado pela correlação dos dados quantitativos de apoio terrestre e as características espectrais da imagem na mesma posição, e quase simultaneamente à passagem do satélite LANDSAT-2.

Com a intenção de verificar o grau de ajuste dos dados, foram elaboradas análises de regressão entre algumas propriedades óticas da água, medidas "in situ" por ocasião dos sobrevôos de 24.02.75 e 24.05.75, cujos dados podiam ser comparados com os valores coletados nos dias 25 e 26.02.75 e 22 e 23.05.75 fornecidos pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA).

Das posições amostradas pela FEEMA nos últimos cinco anos, foram escolhidas as situações mais adequadas em torno do característico de simultaneidade. O parâmetro disponível adotado, como variável mais adequada à correlação pretendida, foi o valor de profundidade do disco de Secchi, em águas sobre batimetria acima de três metros.

Os dados orbitais utilizados nos cálculos de regressão foram: os valores dos níveis de cinza dos canais MSS 4 e MSS 5; a razão entre os níveis de cinza do MSS 4 e MSS 5; a razão entre os níveis de cinza do MSS 4 e MSS 6; a razão entre os níveis de cinza do MSS 4 e a somatória dos quatro canais; a razão entre os níveis de cinza do MSS 5 e a somatória dos quatro canais (Tabela 3).

TABELA 3

REGRESSÕES LINEARES ENTRE DADOS DE SATÉLITE E DADOS DO DISCO DE SECCHI

DATA	ORBITA PONTO	y = a + bx			COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA
		x	b	a		
24.02.75	136-28	MSS4/MSS5	1,8369	-2,1889	0,59	0,70
24.05.75	122-28	MSS4/MSS6	0,0636	0,8466	0,21	0,84
		MSS4/ Σ MSSi	-0,0063	2,0460	-0,35	0,81
24.05.75	122-28	MSS4	-0,0342	2,2033	-0,22	0,42
		MSS4/MSS5	0,0840	0,8765	0,05	0,43
		MSS4/ Σ MSSi	0,0129	-0,9782	0,38	0,40
		MSS5/ Σ MSSi	0,0270	-0,6903	0,21	0,42
24.02.75	136-28	MSS4	-0,1952	5,2807	-0,32	1,40
		MSS5	-0,3814	5,2972	-0,63	1,14
		MSS4/MSS5	4,1566	-6,5515	0,93	0,53
		MSS4/ Σ MSSi	0,2615	-14,6477	0,57	1,22
		MSS5/ Σ MSSi	-0,5510	19,6989	-0,97	0,45

y = profundidade do disco de SECCHI em metros

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As Figuras 1 e 2 referem-se ao tema da distribuição do material em suspensão, no interior da referida Baía e sua consequente dispersão na costa. Estas figuras foram processadas respectivamente nas escalas 1:150 000 e 1:500 000. Nesta distribuição temática foi encontrada grande coerência com a situação dinâmica caracterizada pelo efeito das condições meteorológicas e oceanográficas, vigentes na ocasião da tomada da imagem.

Especialmente na Figura 2 a dispersão do material sólido, derivado do lançamento de efluentes da cidade do Rio de Janeiro e Niterói às águas da Baía, é visível pelas plumas que se estendem até 75 km para fora da costa em 23.06.76 e 120 km no dia seguinte. A morfologia de tais plumas de material em suspensão diversifica-se em sua distribuição horizontal, apresentando traços completamente modificados no período de, aproximadamente, 24 horas.

Na situação analisada predominam os ventos de NE que agem sobre as águas costeiras de superfície, imprimindo-lhes o sentido de SO com o efeito combinado das correntes geradas pelo efeito da maré vazante.

A correlação dos dados orbitais e de apoio terrestre (Tabela 3), estabelecidas por cálculo de regressão, em grande parte, oferecem baixo grau de correlação. Isto se deve inicialmente à ausência de sinopticidade absoluta e também à correção atmosférica, baseada no conhecimento dos valores de umidade relativa e temperatura por radiosondagem local.

Como foi exposto por Kriegler et al, [6], o fato de estabelecer quocientes entre canais tem o efeito de diminuir a influência dos fatores multiplicativos, que falseiam os níveis de radiância

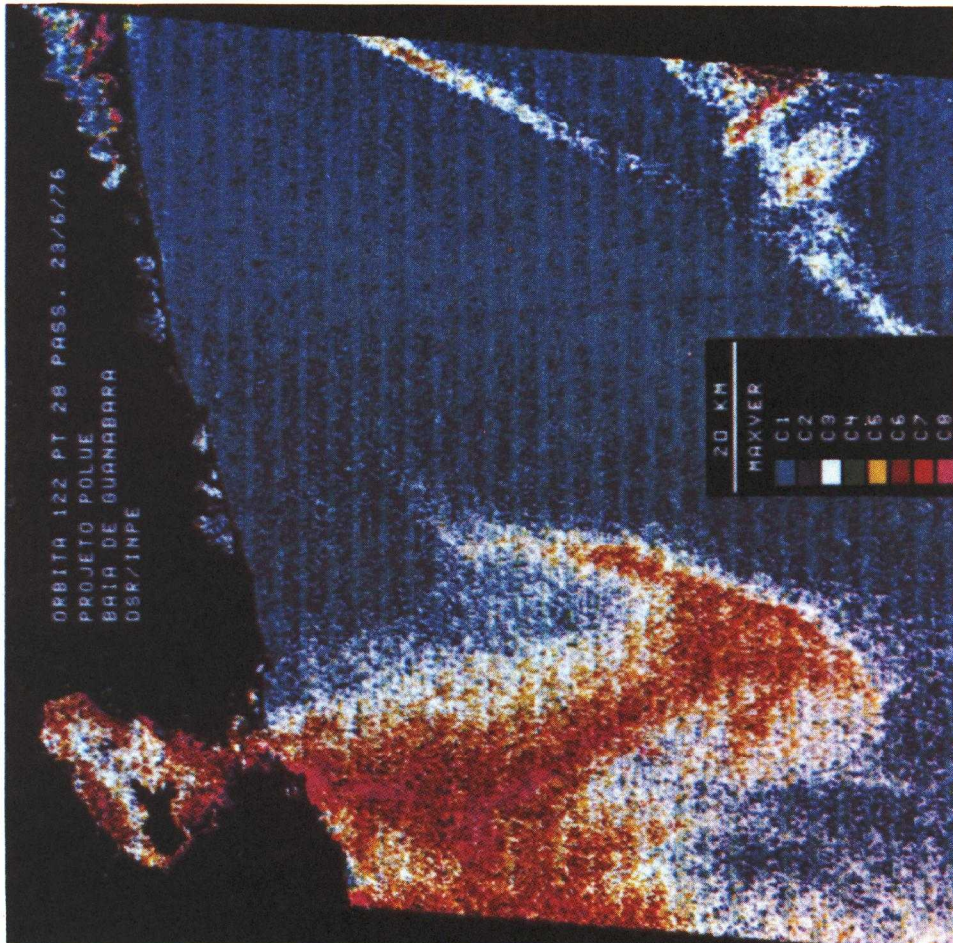


Fig. 2 - Mapa temático da dispersão de material em suspensão, obtido no IMAGE-100, na escala de 1:500.000.

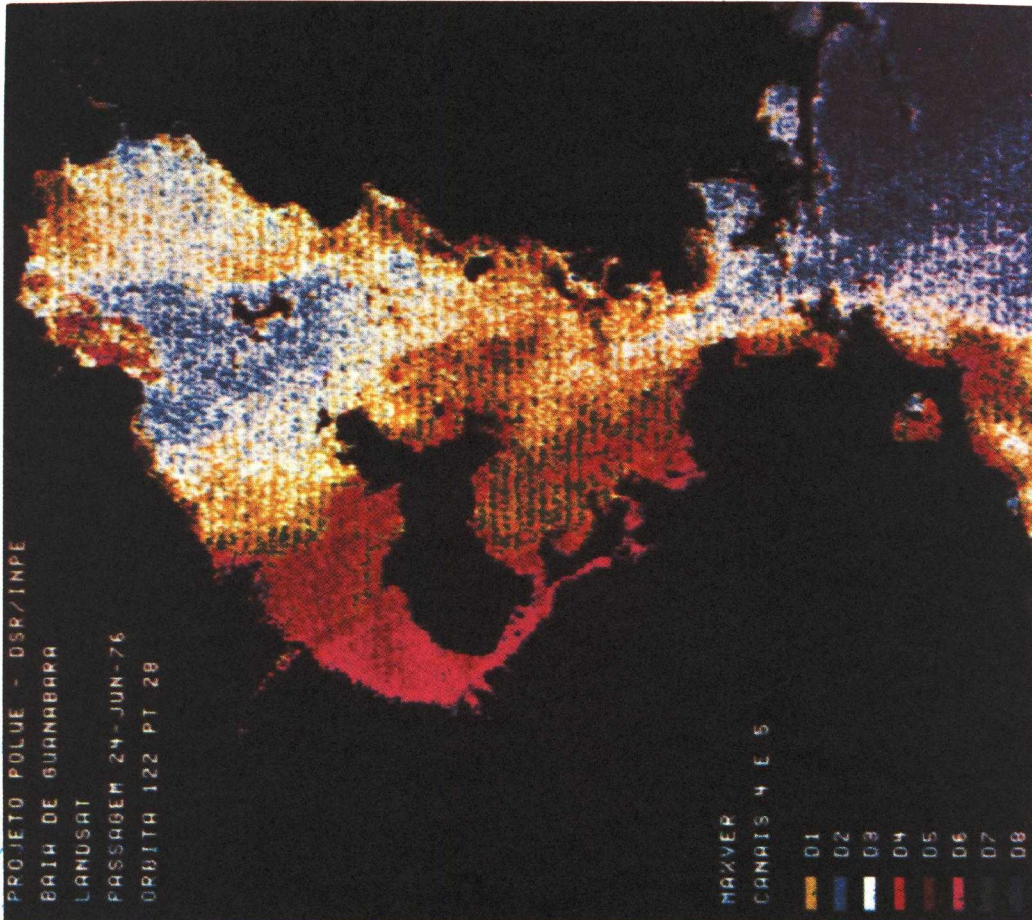


Fig. 1 - Mapa temático da dispersão de material em suspensão, obtido no IMAGE-100, na escala de 1:150.000.

detectados pelo sensor MSS no satélite a 920 km de altitude, obtendo-se, assim, maiores coeficientes de correlação nas regressões. Isto foi verificado neste estudo preliminar, pois foram obtidos coeficientes mais altos para a razão MSS-4 sobre a somatória dos quatro canais e razão MSS-4 sobre MSS-5.

Verificou-se também que, nas diferentes datas, apesar do cuidado na escolha dos dados, existe uma sinopticidade diferente e um efeito atmosférico pronunciado, manifestando-se nos ajustes com correlações distintas, segundo a data de sobrevôo utilizada.

4. CONCLUSÃO

Duas situações distintas de órbitas adjacentes mostraram, em dias subsequentes, uma ampla variação temática dos processos de dispersão, em apenas 24 horas.

Esses resultados preliminares demonstram que o produto resultante do tratamento automático do sinal gravado em fitas magnéticas é consistente e de grande utilidade para a observação sistemática da renovação ou permanência das águas no interior da Baía.

A continuidade de aplicação do método poderá fornecer subsídios importantes para estudos de controle ambiental costeiro, determinando-se, através de múltiplos modelos, elementos auxiliares para a definição de possíveis áreas críticas, que devem merecer maior atenção nos futuros programas de engenharia sanitária da região.

Devido ao caráter interativo desse sistema, a precisão de classificação do IMAGE-100 é dependente não somente da metodologia do reconhecimento de padrões espectrais, mas também da qualidade e confiabilidade das determinações fornecidas ou impostas ao equipamento pelo analista.

A subjetividade da escolha das amostras espectrais é um fato a considerar e sua eliminação depende de um trabalho de busca mais acentuada, em função do conhecimento do regime dinâmico a que estão sujeitas as águas de superfície e a dispersão dos efluentes.

O desenvolvimento de outras funções complementares, para a classificação dos padrões de dispersão nas imagens, com correção atmosférica e coleta de dados de apoio terrestre simultâneo são tópicos em desenvolvimento no Projeto Polue (Poluição da Baía de Guanabara), programado para o biênio 1979/1980. Desta fase inicial pretende-se modificar o método de classificação, introduzindo, num sistema, uma série de outros programas que deverão alcançar maior eficiência na correlação pretendida, afastando-se definitivamente, alguma incorreção que possa ser introduzida durante a escolha de amostragem de classe pelo investigador. Os dados gerados e usados neste Projeto objetivam testar várias funções de processamento dos tons de cinza e como estas influenciam os ajustes com os dados de campo.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Instituto Oceanográfico da USP e ao Instituto de Pesquisas Espaciais, especialmente aos seus Diretores Prof. Dr. André Ricciardi Cruz e Prof. Dr. Nelson de Jesus Parada, bem como ao Chefe da Divisão de Desenvolvimento e Pesquisas em Aplicações Dr. René Antonio Novaes, pelo apoio irrestrito recebido durante o convênio "Proposição e Desenvolvimento do Projeto POLUE". Agradece-se, ainda, a colaboração prestada pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro por fornecer dados de campo coletados pela Instituição, e em especial, ao Eng. Victor Monteiro Barbosa Coelho, Diretor da Divisão de Controle da Poluição, assim como à sua assistente, Eng. Regina Monteiro de Barros da Fonseca.

Aos colegas Ricardo Cartaxo Modesto, José Carlos Moreira, Luciano Vieira Dutra e a nossa gratidão por sua dedicada colaboração nos trabalhos de processamento automático dos dados.

BIBLIOGRAFIA

- [1] COELHO, V.M.B.; FONSECA, M.R.M.B. Modelos bidimensionais de qualidade de água e econômicos para a Baía de Guanabara-Rio de Janeiro. In: *Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária*, 15., Buenos Aires, 1976. p. 1-65.
- [2] ENVIROMENTAL CONTROL PROGRAME IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO - WATER QUALITY MODEL OF GUANABARA BAY. New Jersey, Hidroscience, 1977.
- [3] GENERAL ELECTRIC. *Image-100 - interactive multispectral image analysis system: user manual*. Daytona, 1975.
- [4] HERZ, R. *Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos*. Tese de Doutorado. São Paulo, USP, 1977.
- [5] HERZ, R.; TANAKA, K. *Método para classificação automática de padrões multiespectrais de imagens orbitais em águas costeiras*. São José dos Campos, INPE, out. 1978. (INPE-1385-PE/179).
- [6] KRIEGLER, F.J.; MALILA, W.A.; NALEPKA, R.F.; RICHARDSON, W. Preprocessing transformation an then effects on multispectral recognition. In: *International Symposium on Remote sensing of Environment*, 6., Ann Arbour-Mi., oct. 1969. Proceedings. v.1. p. 97-131.
- [7] VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER: Manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, 1975. (INPE-1315-NTI/110).