

DETECÇÃO DE FERRO E MANGANÊS PRESENTES NO SEDIMENTO EM SUSPENSÃO NA
BAÍA DE GUANABARA A PARTIR DE DADOS TM/LANDSAT

Cláudia Z. F. Braga
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Os teores de ferro e manganês no total de sedimentos em suspensão foram medidos em 12 amostras de água coletadas em 09 de setembro de 1986 e em 20 amostras coletadas em 11 de agosto de 1987 na Baía de Guanabara, RJ, Brasil. As datas de coleta foram coincidentes a passagens do satélite Landsat-5 sobre a região de estudo. No tratamento digital das imagens TM obtidas foram amostradas as bandas 1, 2, 3, 4 e 6 originais, além das bandas 1 e 2 resultantes de uma transformação por componentes principais a partir das bandas 1, 2, 3 e 4 originais. Neste trabalho são apresentados os resultados de testes de regressão linear simples e de regressão linear múltipla passo a passo entre os dados de campo e orbitais, nas duas datas. Discute-se também a influência das condições de marés e ventos na qualidade da água e no comportamento multiespectral das imagens TM obtidas da Baía de Guanabara.

ABSTRACT

The iron and manganese contents in the total suspended solids were measured in 12 water samples collected in September 9, 1986 and in 20 water samples collected in August 11, 1987, in the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. The ground truth samplings were performed simultaneously with Landsat-5 overpasses. TM orbital data on bands 1, 2, 3, 4 and 6, and on resultant bands 1 and 2 from a principal components transformation were used. In this work, the results of simple linear regression analysis and stepwise multiple regression analysis between ground and orbital data, in both dates, are presented. The water quality variability and image spectral behavior caused by wind and tidal conditions in the Guanabara Bay are also discussed.

1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Os teores de ferro e manganês encontrados no sedimento em suspensão na água têm origem principalmente no material decomposto de solos e rochas que é carregado pelas chuvas e redes de drenagem em geral. Assim, a observação de suas concentrações em um determinado corpo d'água fornece informações sobre a qualidade das rochas e solos existentes na região, acusando por exemplo a ocorrência de jazidas destes minerais.

A detecção de ferro com utilização de técnicas de sensoriamento remoto foi reportada, por exemplo, por Olhorst e Bahn (1979) que trabalhando com dados de um imageador aerotransportado encontraram alta correlação entre uma razão de bandas e a concentração de ferro medida na água. Uma outra experiência, com outro sensor, foi a de Le Croy (1982), que encontrou correlação significativa entre dados MSS/Landsat e a concentração de ferro na água.

Em 1986 iniciou-se no INPE/SJC um projeto de pesquisa para identificação de parâmetros físico-químicos da água na Baía de Guanabara e adjacências, Rio de Janeiro, Brasil, com a utilização de imagens TM/Landsat e NOAA (ver Braga, 1988). Nesse trabalho foram avaliados seis parâmetros de qualidade de água: salinidade, temperatura, total de sedimentos em suspensão (TSS), concentração de ferro no TSS, e concentração de manganês no TSS - a nível superficial - e profundidade Secchi. A avaliação da concentração de ferro foi programada em função das referências citadas no parágrafo anterior, e a avaliação da concentração de manganês pelo fato de tratar-se de um elemento também abundante e que se encontra frequentemente na natureza associado ao ferro.

O presente trabalho visa discutir especificamente estes dois últimos parâmetros citados, em termos da viabilidade de sua estimativa através dos produtos multi-espectrais do Mapeador Temático (TM) do Landsat, considerando a dinâmica da área de estudo.

2 - COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Foram realizadas diversas coletas de dados no campo, simultâneas a passagens do satélite sobre a área de estudo, sendo que somente em duas ocasiões foi possível obter imagens, em função da cobertura de nuvens e limitações logísticas das campanhas de coleta. Os dados de campo analisados referem-se a doze amostras coletadas em 09 de setembro de 1986 e vinte amostras coletadas em 11 de agosto de 1987. Os locais amostrados foram determinados com base em classificações digitais automáticas de imagens de arquivo, e são representativos das classes de reflectância observadas na água. Os dados de campo coletados nas datas em que não houve obtenção de imagem deram consistência e confiabilidade àqueles referentes às duas outras datas. O conjunto de dados empregados neste trabalho incluiu a concentração de ferro no TSS (cFe), concentração de manganês no TSS (cMn), concentração de ferro no TSS normalizada em relação à profundidade Secchi (cFe/Se) e concentração de manganês no TSS normalizada em relação à profundidade Secchi (cMn/Se). Esta normalização do dado original de campo visou corrigir as medidas em relação à profundidade de penetração da luz na água, que define a coluna d'água avaliada pelo equipamento sensor.

A extração de informações das imagens foi realizada digitalmente, com o auxílio de um analisador multiespectral de imagens, o IMAGE-100. Foram utilizadas as bandas 1, 2, 3, 4 e 6 do TM, além das bandas 1 e 2 resultantes de uma transformação por componentes principais (PRINCO) (INPE, 1985) aplicada sobre as bandas 1, 2, 3 e 4 originais. De cada uma das sete bandas utilizadas, nas duas datas, extraíram-se os valores médios de uma área de 4 x 4 "pixels" referentes a cada estação amostrada na água.

Os dados foram tratados estatisticamente (Wonnacott e Wonnacott, 1977) cumprindo-se as seguintes etapas:

- 1ª) Testes de regressão linear simples entre os parâmetros medidos no campo e entre os parâmetros medidos no campo e os dados orbitais; e
- 2ª) Análises de regressão linear múltipla passo a passo entre cada um dos parâmetros de campo e os dados orbitais respectivamente correlacionados com eles, em cada data.

Foram levantados também dados complementares de variações de maré e direção e velocidade dos ventos nos dias de coleta, para subsidiar a análise dos resultados encontrados.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa dos testes estatísticos, análises de regressão linear simples com os dados de campo e os dados orbitais, obtiveram-se os seguintes coeficientes de correlação resultantes:

Em 09 de setembro de 1986:

	B1	B2	B3	B4	B6	PcB1	PcB2	cFe	CFe/Se
cFe	0,46	0,35	0,32	0,06	-0,04	-0,36	0,39	1,00	-
cFe/Se	0,79	0,68	0,74	0,59	0,40	-0,76	0,25	-	1,00
cMn	0,43	0,47	0,44	-0,04	-0,20	-0,44	0,20	0,81	-
cMn/Se	0,79	0,81	0,86	0,53	0,33	-0,85	0,11	-	-

E em 11 de agosto de 1987:

	B1	B2	B3	B4	B6	PcB1	PcB2	cFe	cFe/Se
cFe	0,10	0,33	0,28	0,20	-0,26	-0,12	-0,47	1,00	-
cFe/Se	0,10	0,43	0,35	0,19	-0,01	-0,15	-0,54	-	1,00
CMn	-0,15	0,10	0,02	-0,04	-0,53	0,15	-0,50	0,49	-
cMn/Se	-0,10	0,27	0,19	0,00	-0,18	0,06	-0,64	-	-

Dentro de um limite de confiança de 95%, pode-se afirmar que estão correlacionados:

Em 09 de setembro de 1986:

cFe e cMn
cFe/Se e B1
cFe/Se e B2
cFe/Se e B3
cFe/Se e B4
cFe/Se e PCB1
cMn/Se e B1
cMn/Se e B2
cMn/Se e B3
cMn/Se e PCB1

E em 11 de agosto de 1987:

cFe e cMn
cFe e PCB2
cFe/Se e PCB2
cMn e PCB2
cMn/Se e PCB2

Os resultados destes testes demonstraram a eficiência da normalização dos dados de campo em relação à profundidade Secchi, principalmente na primeira data de trabalho, 09/09/86, onde antes da normalização não se observava correlação entre quaisquer dos pares testados. Em 11/08/87 a transformação dos dados não alterou os resultados das correlações e tanto cFe quanto cMn encontraram-se correlacionados apenas entre si e com a banda 2 do PRINCO realizado.

A partir destas considerações preliminares, partiu-se para a realização dos testes de análise de regressão linear múltipla passo a passo: de acordo com a metodologia

proposta seriam realizados, na data de 09/09/86, entre os dois parâmetros de campo normalizados, cFe/Se e cMn/Se (em função de ter ficado claro o fato de serem eles os que melhor configuram o comportamento espectral do corpo d'água), e os dados das bandas correlacionadas com cada um, ou seja, cFe/Se x B1, B2, B3, B4 e PCB1 e cMn/Se x B1, B2, B3 e PCB1. Esta etapa dos testes na data de 11/08/87 se invalidaria, restringindo-se a cFe/Se x PCB2 e cMn/Se x PCB2. Decidiu-se então realizá-lo incluindo-se todas as variáveis orbitais, ou seja, cFe/Se x B1, B2, B3, B4, B6, PCB1 e PCB2; e cMn/Se x B1, B2, B3, B4, B6, PCB1 e PCB2. O nível de confiança estabelecido para estes testes foi também de 95%.

Deste modo, obtiveram-se os seguintes resultados:

com os dados de 09 de setembro de 1986:

Variável dependente	Variáveis independentes	Coefficientes de correlação
cFe/Se	B1, B2, B3, B4, PCB1	0,84
	B1, B3, B4, PCB1	0,83
	B1, B4, PCB1	0,83
	B1, B4	0,83
	B1	0,79
cMn/Se	B1, B2, B3, PCB1	0,86
	B1, B3, PCB1	0,86
	B1, B3	0,86
	B3	0,86

e com os dados de 11 de agosto de 1987:

Variável dependente	Variáveis independentes	Coefficientes de correlação
cFe/Se	B1, B2, B3, B4, B6, PCB1, PCB2	0,68
	B1, B2, B3, B4, PCB1, PCB2	0,68
	B1, B2, B4, PCB1, PCB2	0,67
	B1, B2, B4, PCB1	0,66
	B1, B2, B4	0,65
	B1, B2	0,64
cMn/Se	B1, B2, B3, B4, B6, PCB1, PCB2	0,74
	B1, B3, B4, B6, PCB1, PCB2	0,74
	B3, B4, B6, PCB1, PCB2	0,74
	B3, B4, B6, PCB2	0,73
	B3, B4, PCB2	0,72
	B4, PCB2	0,65

Os coeficientes de correlação calculados entre cFe e cMn, $r = 0,81$ em 09 de setembro de 1986 e $r = 0,49$ em 11 de agosto de 1987, indicam que os dois parâmetros encontram-se correlacionados nas duas datas, mas que no entanto esta associação pode ocorrer em graus variados. A estimativa de cada um deles, isoladamente, através de imagens multiespectrais pode portanto não ser possível em todas as ocasiões.

A análise dos resultados como um todo mostra que eles não se repetem de uma para outra data. Em 09 de setembro de 1986 a concentração de ferro no TSS, cFe/Se, encontrava-se correlacionada com B1, B2, B3, B4 e PCB1, e a concentração de manganês, cMn/Se, encontrava-se correlacionada com B1, B2, B3 e PCB1. Em 11 de agosto de 1987, cFe/Se correlacionou-se com PCB2 apenas e cMn/Se idem.

Considerando os últimos testes, em 09 de setembro de 1986, B1, B2, B3, B4 e PCB1 explicaram, juntos, 84% da variabilidade do teor de ferro (cFe/Se) na água; B1, B3, B4 e PCB1, juntos, explicaram 83%; B1, B4 e PCB1, juntos, explicaram 83%; B1 e B4, juntos, ainda 83% - com estas duas variáveis é possível estabelecer-se um modelo simples para estender os resultados e produzir um mapa de distribuição da concentração de ferro no TSS para toda a Baía de Guanabara. No caso do manganês, esta análise da regressão múltipla passo a passo mostrou que a banda 3 (B3) sozinha pode servir para a estimativa de sua distribuição na água tão bem quanto a reunião de B1, B2, B3 e PCB1 - em ambos casos o coeficiente de correlação foi o mesmo, ou seja, 86%.

Já em 11 de agosto de 1987 não foi possível se estabelecer um modelo para descrever a distribuição de ferro e manganês na Baía de Guanabara com alto índice de ajuste. O maior coeficiente de correlação obtido nas análises de regressão múltipla passo a passo foi igual a 0,74, para o caso do manganês, considerando-se a inclusão, no modelo, de todas as variáveis orbitais utilizadas.

A disparidade entre os resultados das duas datas pode ser explicada pela diversidade nas condições de marés e ventos em cada ocasião: em 09 de setembro de 1986 as condições na Baía de Guanabara eram predominantemente marinhas, com pequena variação de maré (de 0,7m na mais baixa até 1,1m na mais alta) e ventos de leste; em 11 de agosto de 1987 as condições eram tipicamente continentais, com variações extremas de maré (às 10h 25min., LST, atingiu o nível de 0,00m) e ventos de norte. Estes fatores contribuíram para que se estabelecessem dois padrões ambientais completamente diferentes em cada data, e estas foram responsáveis pela obtenção de duas imagens multiespectrais TM específicas. Uma discussão mais detalhada pode ser encontrada em Braga (1988).

A avaliação da utilidade de empregar-se, neste tipo de estudo, programas de software que buscam extrair e definir melhor os vários níveis de informação das imagens multiespectrais, pode ser feita através da leitura dos quadros resultantes das análises de regressão linear múltipla passo a passo: nas duas datas, no caso das duas variáveis de campo, cFe e cMn, as variáveis PCB1 e PCB2 não são excluídas do modelo no primeiro passo. No caso de 11 de agosto de 1987, em que as características da massa d'água estiveram aleatoriamente heterogêneas, em função das condições específicas de maré e ventos já discutidas, pode-se observar que PCB1 e PCB2 concentram um grau de informação bastante alto, principalmente para a modelagem do manganês, em que PCB2 é utilizada no modelo final, teoricamente o mais otimizado.

4 - CONCLUSÕES

O tratamento digital de imagens multiespectrais consistiu-se em ferramenta fundamental para o avanço das técnicas de detecção remota de características físico-químicas de corpos d'água, provendo informações que a análise visual dos produtos orbitais não pode fornecer.

Uma etapa que se revela importante, neste contexto, é a de conhecimento da dinâmica da área estudada, seja ela costeira, estuarina ou continental, a fim de que se possam definir os padrões típicos de campo e associá-los a determinadas variações no comportamento espectral das imagens TM/Landsat, indicando-se os processamentos mais adequados em cada caso. No presente estudo revelou-se a forte relação entre as condições de marés e ventos e a qualidade da água na Baía de Guanabara.

Requer-se um número maior de testes para se validar a metodologia aqui proposta, passível de ser implementada para um acompanhamento futuro da área estudada, e para se estender estes resultados a outros ecossistemas aquáticos.

5 - BIBLIOGRAFIA CITADA

BRAGA, C.Z.F. Utilização de imagens dos satélites Landsat-5 e NOAA-9 na identificação de parâmetros físico-químicos da água na Baía de Guanabara e adjacências. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos (INPE-4761-TDL-349).

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. DIVISÃO DE SUPORTE COMPUTACIONAL. LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS DPI-ITD. Sistemas de tratamento de imagens. Manuais de usuário, São José dos Campos, nov. 1985.

LE CROY, S.R. Determination of turbidity patterns in Lake Chicot from Landsat MSS imagery. Washington, DC, May 1982 (NASA-CR-165870).

OLHORST, C.; BAHN, G. Mapping of particulate iron in an ocean dump. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(8):1117-1122, Aug. 1979.