

1. Classificação <i>INPE-COM.4/RPE</i> <i>C.D.U: 528.711.7:551.46:577.4E</i>		2. Período	4. Distribuição	
3. Palavras Chaves (seleccionadas pelo autor) <i>LANDSAT</i> <i>CLOROFILA "a"</i>			interna <input type="checkbox"/>	externa <input checked="" type="checkbox"/>
5. Relatório nº <i>INPE-1810-RPE/178</i>	6. Data <i>Junho, 1980</i>		7. Revisado por <i>Roberto Gitein</i> <i>Roberto Gitein</i>	
8. Título e Sub-Título <i>ESTIMATIVAS DE TEOR EM CLOROFILA "a" NAS ÁGUAS DA BAIÁ DE GUANABARA, A PARTIR DE DADOS DIGITAIS DO SISTEMA MSS DO LANDSAT</i>			9. Autorizado por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
10. Setor <i>DSR/ GAF</i>	Código <i>30.312</i>		11. Nº de cópias <i>12</i>	
12. Autoria <i>Juan José Verdésio Bentancurt</i> <i>Renato Herz</i> <i>Luis B. Molion</i>			14. Nº de páginas <i>10</i>	
13. Assinatura Responsável <i>Juan Verdésio</i>			15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Devido ao fato de se poder detectar remotamente a qualidade da água em locais com forte incidência da poluição de origem orgânica, foram testados diversos pré-processamentos dos dados digitais nas faixas 4, 5 e 6, do sistema imageador multiespectral (MSS), dos satélites da série LANDSAT. Para se testar os processamentos, foi escolhida uma abordagem em p̄rica (estatística), observando-se o grau de relacionamento entre dados de sensores e parâmetros de qualidade da água, colhidos "in situ", simultaneamente, ao sobrevôo. Das análises de regressão linear e não-linear foram escolhidos certos pré-processamentos, dentre os quais destaca-se o desenvolvido no INPE em 1978. A melhor regressão foi a faixa MSS 6, processada com a correção dos efeitos atmosféricos, mencionada anteriormente, dando um coeficiente de correlação de 0,99 e um erro médio das estimativas de 6,59 microgramas/litro, erro este semelhante aos dos métodos de laboratório. Mostrou-se que a detecção de clorofila, entre teores de 0 a 100 microgramas/litro, é possível com dados do MSS do LANDSAT, com uma precisão razoável.</i>				
17. Observações <i>Trabalho apresentado na 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), de 06 a 12 de julho de 1980, Rio de Janeiro, RJ.</i>				

## 1. INTRODUÇÃO

O problema da detecção da clorofila "a", através de sensores remotos, vem sendo alvo de intensas pesquisas em diversos países, sobretudo com a finalidade de predizer onde se poderá ter áreas propícias à pesca (Clarke et al., 1970; Yentsch, 1960).

O teor em clorofila "a", além de outros parâmetros de qualidade da água, tem sido usado frequentemente como indicador do grau de eutroficação das águas, em regiões próximas a cidades e centros industriais (Allen e Mancy, 1972; Boland, 1976).

As variações que se encontram nos teores em clorofila, nas regiões como a Baía de Guanabara, são muito grandes, oscilando de 1 a 100 mg/m<sup>3</sup> (Hydroscience, 1977). Por este motivo, pode-se pensar que os sensores de amplo espectro, como os do MSS do LANDSAT, apesar de não serem específicos para a detecção de clorofila, possam detectar estas grandes variações. Nas áreas oceânicas adjacentes à baía, encontram-se baixos teores que não sobrepõem os 20 a 30 mg/m<sup>3</sup>, nos casos extremos, e o valor médio sempre é menor que 10 mg/m<sup>3</sup>. Teores desta ordem de grandeza são de difícil detecção por sensores a bordo de espaçonaves, sendo imprescindível a correção radiométrica dos dados para diminuir os efeitos atmosféricos.

Este trabalho resume parte dos resultados alcançados na dissertação de Mestrado de Juan J. V. Bentancurt (no prelo) desenvolvida no INPE.

## 2. OBJETIVOS

- a) Estudar o grau de correlação entre dados de vídeo digitais, das diferentes faixas do MSS do LANDSAT, e dados de teores em clorofila medidos no local.
- b) Escolher quais dos pré-processamentos dos dados de vídeo podem

ser utilizados para padronizar os tons de cinza.

### 3. JUSTIFICATIVAS

Com os sensores do MSS do LANDSAT ter-se-ã da, Baía de Guanabara, uma imagem com 55.000 pontos, aproximadamente, contra os 15 ou 20 pontos de coleta de amostras que se teria numa campanha intensiva. A capacidade de sinopse e instantaneidade dos dados fornecidos pelo sensores remotos não pode ser igualada a nenhum outro método de coleta de informação, permitindo testar hipóteses de circulação, fornecendo dados em regiões de difícil acesso e permitindo ter-se uma densidade de informações muito alta.

Para que os dados de sensores remotos sejam de valia, estes devem ser calibrados com a "verdade terrestre". Ao se comparar dados de diferentes sobrevôos, os mesmos devem ser padronizados, evitando-se a influência dos efeitos atmosféricos e eletrônicos (Bentancurt, no prelo). Desta maneira, ter-se-ã dados que servirão, no futuro, como diagnóstico da qualidade da água em corpos de grande extensão como a Baía de Guanabara.

Bressanin et al. (1973) cita os pré-processamentos comumente usados: uso de alvo padrão, calibração com dados de sensores apontados para o iluminante (o sol neste caso), razão entre tons de cinza de faixas adjacentes, uso do alvo mais escuro para estimar a radiância de retroespalhamento e o ruído eletrônico. Saitoh (1979) e Vincent (1972) citam e propõem outros processamentos, justificando-os fisicamente. Morimoto (1980) desenvolveu um programa de computação bastante eficiente para eliminar os efeitos atmosféricos em imagens do MSS do LANDSAT.

### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se dados de vídeo das imagens do MSS, de diferentes sobrevôos sobre a Baía de Guanabara, nos dias 24/2/75 e 24/5/75. Nesses dias, a FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente)

tinha coletado amostras e analisado vários parâmetros de qualidade da água. O fluxograma da Figura 1 mostra qual foi o procedimento para se testar os pré-processamentos e se achar o grau de correlação entre os parâmetros de qualidade da água e os dados de vídeo do MSS.

Os pré-processamentos utilizados foram:

- a) Funções do sistema I-100 (razão entre faixas adjacentes, razão entre a subtração e a soma de canais adjacentes e normalização).
- b) Algoritmo de contraste com um alvo padrão (areia de praia), que pouco muda sua refletividade ao longo do ano.
- c) Algoritmo de modulação de contraste com o mesmo alvo do algoritmo anterior.
- d) Subtração do teor de cinza, em cada faixa do alvo mais escuro da imagem (água transparente do oceano).
- e) Aplicação da correção radiométrica de Morimoto (1980).

Para fazer a leitura dos tons de cinza nos locais de amostragem, foi necessário desenvolver uma técnica com o uso de um transferidor óptico, que permitiu a transferência dos pontos localizados em coordenadas geográficas, numa carta náutica, para uma imagem do MSS, em que se identificaram os pontos com um erro não maior que 2 "pixels".

Os parâmetros de qualidade da água usados foram a profundidade do disco de Secchi, teor em clorofila "a", salinidade e teor em amônia, sendo que aqui referir-se-á somente ao teor em clorofila.

## 5. RESULTADOS

Neste trabalho destacam-se os resultados conseguidos com os dados de vídeo do sobrevôo de 24/2/75 pelo fato de serem os que for

neceram análises de regressão mais ajustados aos dados de campo. Para a análise de regressão utilizaram-se abordagens linear e não linear (logarítmicas) e os coeficientes de correlação foram estudados levando-se em conta o critério de que uma parte dos dados pode ajustar-se por acaso (Ezequiel e Fox, 1963). Para o número de amostras (5) com que se trabalhou, a correlação calculada tem que ser maior que 0,81 para que a correlação verdadeira seja maior que zero. Se for menor que 0,81 não se saberá se existe correlação ou se ela foi encontrada por acaso.

Com análises de correlação linear (Tabela 1) obtiveram-se coeficientes de correlação de 0,96 para o MSS 4, 0,98 para o MSS 5 e 0,79 para o MSS 6. Usando-se o pré-processamento de Morimoto (1980), os coeficientes mudaram para 0,97, 0,95 e 0,98 respectivamente, mostrando que o processamento consegue aumentar certos coeficientes já altos. Com a regressão não-linear (Tabela 2) obtiveram-se 0,96 para o MSS 4, 0,97 para o MSS 5 e 0,71 para o MSS 6. Com os algoritmos de contraste e normalização obtiveram-se coeficientes de correlação maiores do que com os dados de vídeo originais, nas análises com dados de 24/5/75, sendo, estes, processamentos eficientes e simples de serem aplicados rotineiramente a imagens do MSS. Apesar disto, as correlações com os dados dessa data não se mostraram estatisticamente satisfatórias.

## 6. DISCUSSÃO

Viu-se, no trabalho, que os pré-processamentos são necessários para se obter dados de qualidade da água estimados, com certa confiança, por sensores remotos.

A abordagem empírica mostrou ser simples e rápida para se obter os primeiros dados de uma área como a Baía de Guanabara. Seguindo a MacCluney (1976) dever-se-ia começar uma campanha de coleta de dados a nível nacional, utilizando, porém, a abordagem empírica, simultaneamente, com abordagens teóricas, para se resolver definitivamente o problema da utilização de sensores remotos em água.

Dos processamentos usados, o que se mostrou mais promis sor, com bases racionais mais s $\tilde{o}$ lidas,  $\tilde{e}$  o de Morimoto (1980), embora es te exija mais tempo de processamento (15 minutos no Burroughs 6700, para uma imagem de 512 por 512 "pixels"). Os resultados n $\tilde{a}$ o satisfat $\tilde{o}$ rios do ponto de vista estat $\tilde{i}$ stico, isto  $\tilde{e}$ , as correla $\tilde{c}$ oes com dados de 24/5/75, devem ser analisados a partir do fato de que a coleta de amostras n $\tilde{a}$ o deve ter ocorrido nas mesmas condi $\tilde{c}$ oes do momento em que a imagem foi ge rada, dando desvios n $\tilde{a}$ o control $\tilde{a}$ veis. Devido ao fato da coleta n $\tilde{a}$ o ter sido satisfat $\tilde{o}$ ria  $\tilde{e}$  que n $\tilde{a}$ o foi feita uma an $\tilde{a}$ lise das covari $\tilde{a}$ ncias entre os pr $\tilde{o}$ prios dados de qualidade da  $\tilde{a}$ gua, para se estudar a possibilidade da exist $\tilde{e}$ ncia de correla $\tilde{c}$ oes encobertas. Por exemplo, poder-se-ia ter uma alt $\tilde{i}$ ssima correla $\tilde{c}$ ao entre a clorofila e o tom de cinza de uma imagem, mas como nesse local existia uma covari $\tilde{a}$ ncia muito forte entre clorofi la e s $\tilde{o}$ lidos em suspens $\tilde{a}$ o, o que o sensor na realidade observou foram os s $\tilde{o}$ lidos e n $\tilde{a}$ o a clorofila.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, H.E.; MANCY, K.H. Design of measurement systems water analysis. In: CIACCIO, L.L. ed. *Water and water pollution Handbook*. New York, N.Y., Marcel Dekker, 1972. v. 3, cap. 19, p. 971-1020.
- 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 Sensores Remotos. São José dos Campos, INPE, 1980. No prelo.
- BOLAND, D.H.P. *Tropic classification of lakes using LANDSAT-1 (ERTS-1) multispectral data*. Washington. D.C., NASA, 1976. (NASA EPA-600/3-76-037).
- BRESSANIN, G.; ERICKSON, J. *Data processing systems for earth resources surveys*. Frascati, ESRO, 1973. v.1. (ESRO CR-295).
- CLARKE, G.E. ; EWING, G.C.; LORENZEN, C.J. Spectra of backscattered light from the sea obtained from aircraft as a measure of chlorophyl concentration. *Science*, 167 (3921):1119-1121 . Fev. 1970.
- EZEQUIEL, M.; FOX, K.A. *Methods of correlation and regression analysis. Linear and curvilinear*. 3 ed. New York, N.Y., John Wiley and Sons, 1963.
- HYDROSCIENCE. *Water quality model of Guanabara Bay*. Convênio World Health Organization/Governo do Estado do Rio de Janeiro.. Rio de Janeiro,1977.
- McCLUNEY, W.R. Remote measurements of water color. *Remote sensing of Environment*, 5(1):3-33, 1976.
- MORIMOTO, T. *Estudo dos efeitos atmosféricos sobre as radiações percebidas pelos sensores a bordo de plataformas orbitais (ERTS-LANDSAT)*. Tese de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1689-TBL/021).

- SAITOH, S.; IISAKA, J.; ASAOKA, O. Marine pollution analysis in Tokyo bay by LANDSAT 1 and 2. Presented at *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 13., Ann Arbor, May/Apr., 1979.
- VICENT, R.K. An ERTS multispectral scanner experiments for mapping iron compounds. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, Mi., 1972. Proceedings. v. 2, p. 1239-1247.
- YENTSCH, C.S. The influence of phytoplankton pigments on the colour of sea water. *Deep-Sea Research*, 7(1):1-9, Jan., 1960.



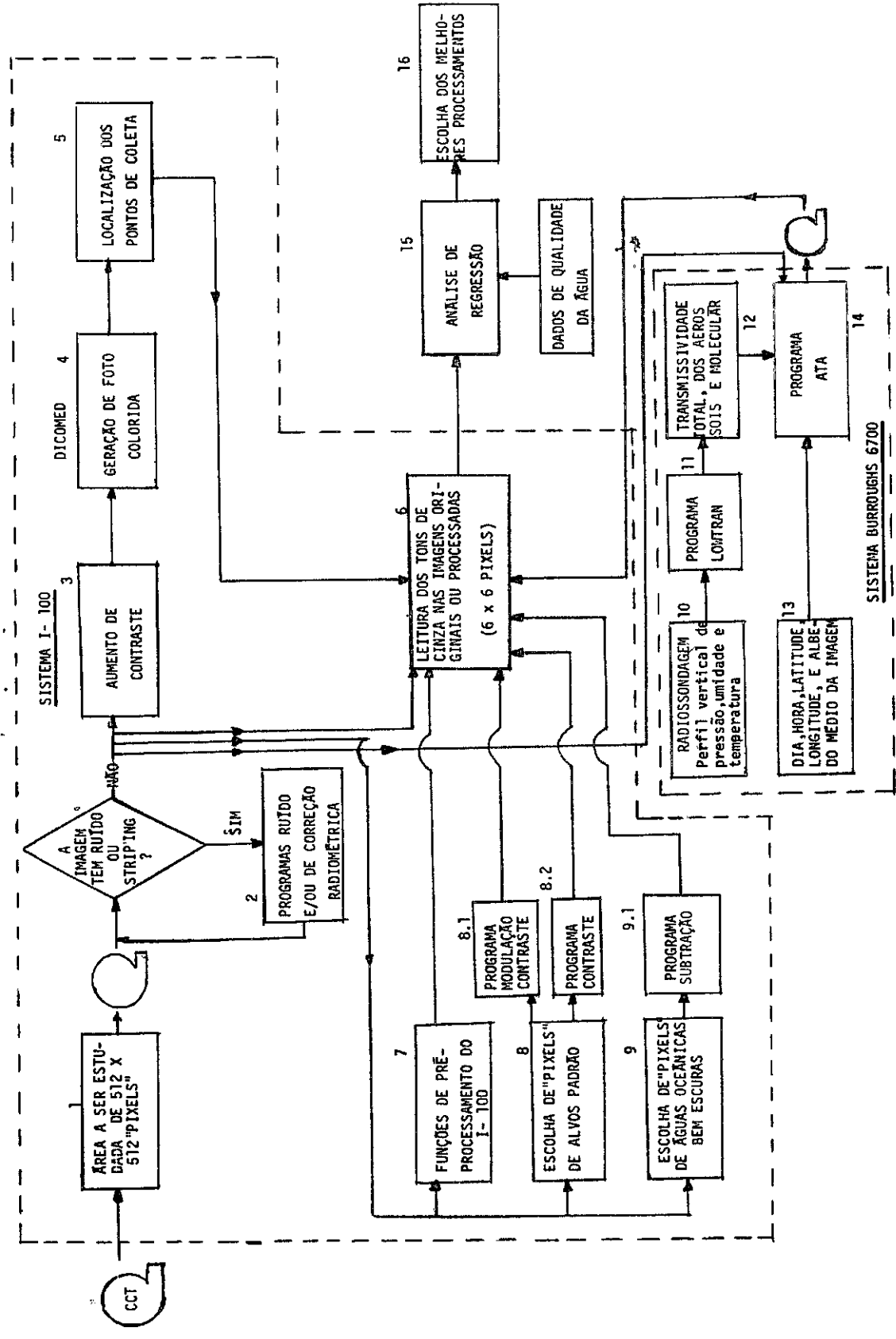


Fig. 1 - Diagrama de Fluxo do Método de Trabalho

TABELA 1

RESULTADO DE ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE TEOR EM CLOROFILA  
"a" E DADOS DE VÍDEO DO MSS DE 24/2/75

x	Coeficientes de $y = a + bx$				
	a	b	R	S	
MSS	4	-275,9225	8,4934	0,96	11,13
	5	-149,6391	9,5235	0,98	7,20
	6	-25,1072	9,1468	0,79	73,15
ATA	4	-181,1873	3,5631	0,97	9,8
	5	-52,8583	4,2359	0,95	12,45
	6	1,4958	9,6573	0,98	68,43
R	4/5	401,6547	-191,7674	-0,85	21,25
	5/6	75,9174	-12,2374	-0,38	37,79
	6/7	-6,8957	73,2002	0,41	37,20
	4/6	90,1789	-8,7347	-0,51	35,04
	5/7	-219,0355	145,9848	0,30	38,88
D/S	4-5	291,9974	-825,3269	-0,84	21,93
	5-6	82,3427	-91,6602	-0,34	38,32
	6-7	34,3798	16,0561	0,15	40,32
	4-6	117,6333	-111,0182	-0,45	36,37
	5-7	-106,9733	530,0714	0,28	39,12
N	4	141,3513	-0,8652	-0,22	39,79
	5	-108,4853	2,1660	0,28	39,09
	6	-55,7153	4,7026	0,90	17,46
C	4	348,3028	-85,3820	-0,93	15,04
	5	231,1073	-24,5481	-0,95	13,20
	6	94,3004	-2,7305	-0,62	31,87
MC	4	265,0803	-389,3440	-0,74	27,35
	5	747,1122	-125,7372	-0,97	9,82
	6	581,1123	-608,2213	-0,74	27,55
NC	4	-10,9584	8,4934	0,96	11,13
	5	-129,6397	9,5235	0,98	7,20
	6	-14,1209	9,1461	0,79	25,07
ATA NORM	4	320,9442	-1,7377	-0,73	27,62
	5	-95,2107	2,4986	0,73	28,08
	6	17,1865	1,5344	0,43	36,73

- R = Coeficiente de Correlação  
 S = Erro Padrão das Estimativas  
 MSS = Dados de Vídeo Originais  
 ATA = Processamento de Morimoto (1980)  
 R = Razão entre Faixas Adjacentes  
 D/S = Razão entre a Subtração sobre a Soma de Faixas Adjacentes  
 N = Normalização  
 C = Razão de Contraste com o Alvo Padrão  
 MC = Modulação de Contraste com Alvo Padrão  
 NC = Subtração do Alvo Mais Escuro  
 ATA NORM = Processo ATA Posteriormente Normalizado

TABELA 2

RESULTADO DE ANÁLISE DE REGRESSÃO NÃO LINEAR ENTRE TEOR EM CLOROFILA "a" E DADOS DE VÍDEO DO MSS DE 24/2/75.

x	Coeficientes de $y = a + b \log x$				
	a	b	R	S	
MSS	4	-1116,8278	737,5533	0,96	12,05
	5	-533,1119	443,1633	0,97	9,90
	6	-72,1722	136,5484	0,71	28,69
ATA	4	-872,6168	510,2025	0,96	11,95
	5	-199,6393	177,9105	0,77	28,45
	6	-9,8711	106,3080	0,99	6,59
R	4/5	275,1984	-857,0036	-0,87	20,03
	5/6	76,9599	-83,1400	-0,36	38,02
	6/7	60,8653	98,6740	0,41	37,15
	4/6	133,4584	-126,3623	-0,56	33,86
	6/7	-112,4028	613,2153	0,31	38,75
D/S	4-5	-270,0183	-599,1260	-0,87	20,38
	5-6	7,0335	-93,8232	-0,32	38,65
	6-7	4,5088	-49,6837	-0,42	36,94
	4-6	6,7065	-209,1513	-0,49	35,48
	5-7	239,1931	356,5686	0,30	38,92
N	4	515,8035	-230,1603	-0,21	39,89
	5	-571,7922	333,3514	-0,30	38,94
	6	-259,5603	232,4390	0,87	19,81
C	4	-23,4867	77,3861	0,94	13,89
	5	430,6774	-442,6393	-0,97	9,88
	6	213,6367	-136,5774	-0,71	28,68
MC	4	-259,9481	-1194,2787	-0,97	10,13
	5	-134,6970	-1442,2314	-0,87	20,39
	6	-24,0682	-1251,9470	-0,75	27,10
NC	4	-34,5135	107,3940	-0,91	16,60
	5	-452,1639	395,8258	0,97	10,25
	6	-38,6602	108,2289	0,69	29,42
ATA	4	1512,7389	-667,2000	-0,75	26,94
	5	-396,4738	252,5661	0,68	29,18
NORM	6	-8,6079	31,7729	0,46	36,11

R = Coeficiente de Correlação  
 S = Erro Padrão das Estimativas  
 MSS = Dados de Vídeo Originais  
 ATA = Processamento de Morimoto (1980)  
 R = Razão entre Faixas Adjacentes  
 D/S = Razão entre a Subtração sobre a Soma de Faixas Adjacentes  
 N = Normalização  
 C = Razão de Contraste com o Alvo Padrão  
 MC = Modulação de Contraste com o Alvo Padrão  
 NC = Subtração do Alvo Mais Escuro  
 ATA NORM = Processo ATA Posteriormente Normalizado