

# **Aplicação do Sensoriamento Remoto e da Geoestatística o Estudo de Variáveis Físico-químicas e Biológicas da Água do Estuário do Rio Anil, São Luís, Maranhão – Brasil.**

Enner Herenio de Alcântara<sup>1</sup>  
Flávia Rebelo Mochel<sup>1</sup>  
Alexsandro de Jesus Ericeira Amorim<sup>1</sup>

Depto. Oceanografia e Limnologia – UFMA  
[ennerha@yahoo.com.br](mailto:ennerha@yahoo.com.br); [frmochel@globocom.com](mailto:frmochel@globocom.com)

## **Abstract**

The monitoring of phenomena related to the study of the water quality, by the application of techniques of remote sensing, is a problem that involves, basically, the space and temporal characteristics of the natural dispersion and antropogênicos products that, launched to waters, modify its optical properties. The choice of appropriate sensors for the selective detection of these products is, still, a very complex procedure because of the mixture of solids and fluids in waters. It only allows in the majority of cases, the possibility to discriminate the miscible elements with low density carried in surface. The geostatistical analysis is a special topic of the applied statistics which deals with problems related to the regional variable, those of which the space behavior shows intermediate characteristic between the truly random variable and the total deterministic ones. Nine points of collect in the estuary of the Anil River had been established, from downstream to upstream, all georeferenced. Samples of temperature, salinity, pH, secchi's depth, solid totals in suspension and chlorophyll *a* had been collected. Tests of correlation on the sets of corresponding values between the parameters measured in the water and the data of image of satellite LANDSAT- 5 had been carried out. For space behaviour analysis of the field data the bayesian modeling was used using software Spring® 4.0.

## **1. Introdução**

Os campos de utilização do sensoriamento remoto nesses ambientes abrangem estudos de características estáticas e dinâmicas, tais como morfologia e cartografia costeira, topografia do fundo próximo à costa, composição da água e análises de profundidade, zonas de maré, correntes em geral, recursos pesqueiros e poluição, (Klemas & Polis, 1977). A água é razoavelmente transparente à radiação eletromagnética (REM), na região do espectro visível na faixa de 0,4 a 0,6  $\mu\text{m}$  (NASA, 1971, Herz, 1977).

## **2. Metodologia**

A Bacia Hidrográfica do Rio Anil, localizada no quadrante NW da ilha de São Luís – MA, com o Rio Anil possuindo cerca de 13,8 Km de extensão. Tem suas nascentes localizadas no Bairro Aurora, descendo ao nível do mar aproximadamente 9,5 Km em linha reta, com o eixo direcional orientado de SE para NW a partir da nascente, a sua calha caracteriza-se por apresentar um perfil meândrico, cortando a porção NE do centro urbano da cidade de São

Luis, no trajeto em direção à desembocadura (LABOHIDRO, 1980; Siqueira, 1987), como pode ser visto na figura 1.

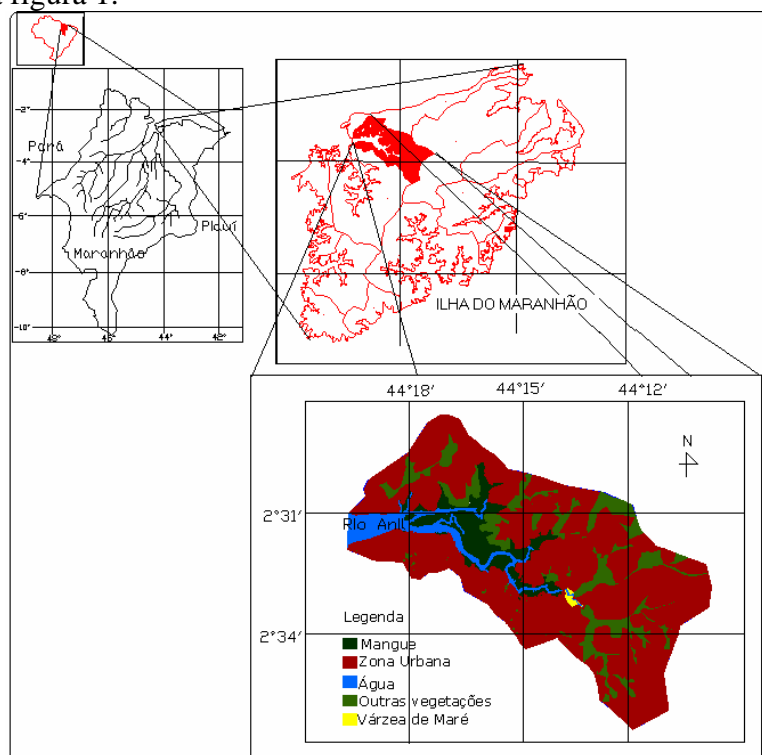


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Anil, na Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil. Fonte: Alcântara & Silva (2003).

Para a aquisição de dados utilizou-se a embarcação do LABOHIDRO, onde foram coletados dados e amostras de água na superfície, para análises posteriores, ao longo do estuário do rio Anil no sentido jusante-montante. Foram estabelecidos 9 pontos de coleta, sendo coletadas amostras de salinidade (ups), pH, temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ), concentração de clorofila *a* ( $\mu\text{g/l}$ ), total de sedimentos em suspensão ( $\text{g/l}$ ) e profundidade Secchi (cm). Sendo que todas as amostras foram coletadas apenas na superfície e na maré enchente. Assim como que para cada ponto também se coletou a sua localização geográfica utilizando GPS, sendo inseridos posteriormente na imagem de satélite, conforme a figura 2.

Para o presente trabalho utilizou-se uma imagem LANDSAT TM 5 de 2003, sendo utilizado todas as 7 bandas do mesmo. Foi realizado também análise de componentes principais nas bandas 3, 4 e 5 para fins de análise de correlação e regressão, entre os dados ambientais e os níveis de cinza correspondentes. Foram empregadas análises de correlação simples para se caracterizar a situação físico-química e biológica do corpo d'água em cada data de estudo (correlações entre os parâmetros ambientais), e para se identificar a influência de cada um dos parâmetros de qualidade de água medidos na variabilidade dos dados multiespectrais TM (correlações entre os dados TM e os parâmetros ambientais). Empregou-se a regressão linear múltipla e análise residual entre as variáveis melhor correlacionadas com determinadas bandas do LANDSAT TM 5. A regressão linear múltipla tem como principal importância o ajuste de módulos que incluem diversas variáveis independentes no sistema. Na análise de resíduos, o principal objetivo é avaliar a influência das observações no modelo ajustado. Esta análise permite verificar se falta algum componente no modelo, se a variância ( $S^2$ ) é a mesma para todos os  $y_i$  e se as suposições de normalidade e independência são válidas para os erros (Mendes, 1999).

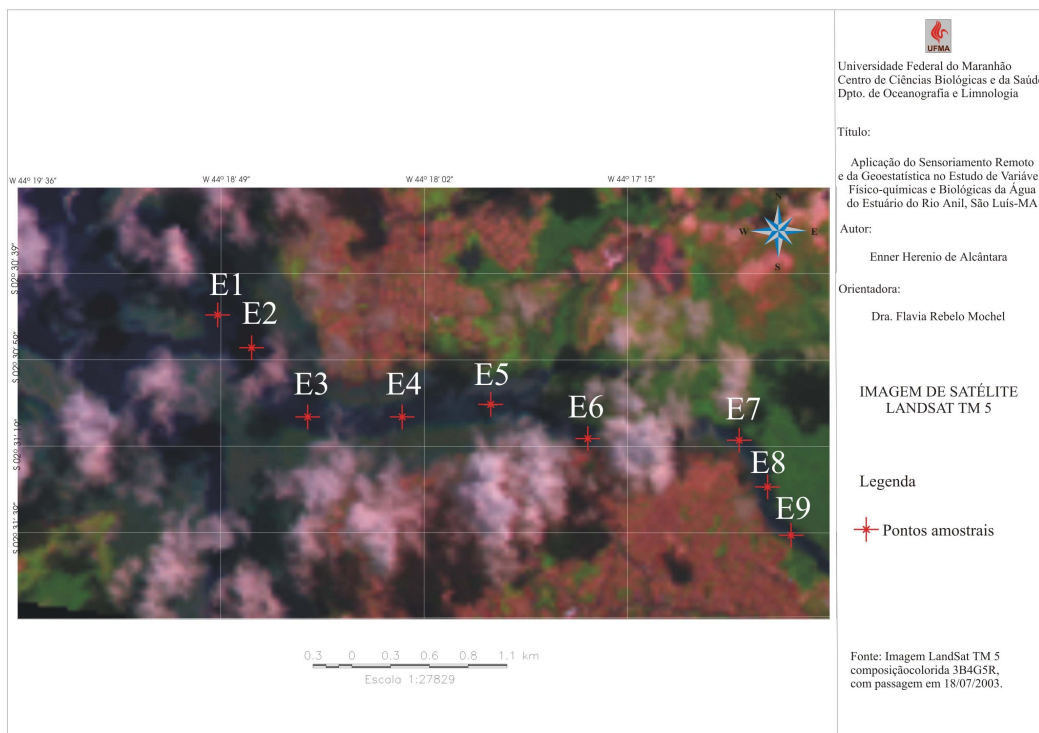


Figura 2: Imagem satélite LANDSAT TM 5, bandas 3, 4, 5 composição RGB, mostrando os pontos amostrais, de jusante para montante.

Foi Utilizado técnicas da geoestatística para modelar os parâmetros físico-químicos e biológicos do estuário do rio Anil. Os procedimentos geoestatísticos estão fundamentados na Teoria das Variáveis Regionalizadas, desenvolvida por Matheron (1963, 1971). Ajustou-se a um modelo esférico.

### 3. Resultados

De acordo com a análise de correlação entre as variáveis ambientais e os níveis de cinza da imagem em estudo e dentro do nível de confiança adotado, estão correlacionados:

Variáveis independentes & dependentes	Correlação
PH & PCA_B3	$r = 0.74$
Secchi & B5	$r = -0.71$
Cl - a & B4	$r = 0.75$

O resultado da regressão entre a variável pH e a PCA da Banda 3 do LANDSAT TM 5, revela uma forma imperfeita positiva ( $0 < r < 1$ ), onde a reta não passa em cima de todos os pontos (figura 3). Quase todas as estações se apresentaram próximas à reta da regressão, apenas as estações 1 e 2 ficaram distantes da reta. A análise residual mostra que as estações de 1 a 6 se apresentaram abaixo da média e as estações 7 a 9 acima da média. A análise residual também revela que a estação 1 pode estar diminuído a correlação, sendo assim se isolassemos

esta estação pode ser que o coeficiente de correlação aumente. O resíduo então pode ser considerado normal, onde os pontos observados não apresentam tendências e estão dispersos na faixa de + ou - 5.

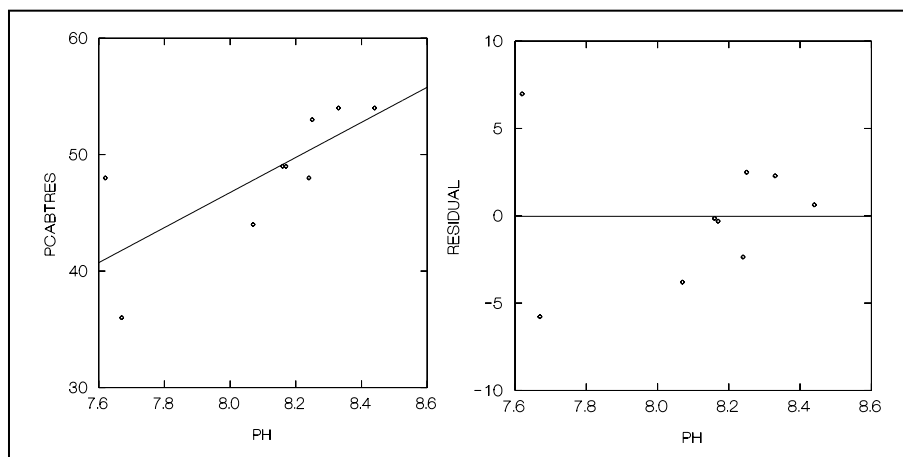


Figura 3: Análise de Regressão e Residual entre a variável pH e a PCA da Banda 3 do LANDSAT TM 5.

#### Variável Secchi e a Banda 5 do LANDSAT TM 5

O resultado da regressão entre a variável secchi e a Banda 5 do LANDSAT TM 5, revela uma forma imperfeita negativa ( $-1 > r > 0$ ), onde a reta não passa em cima de todos os pontos (figura 4). Quase todas as estações se apresentaram próximas à reta da regressão, apenas a estação 9 ficou distante da reta, isso pode ter acontecido por ter um valor muito abaixo da média. A análise residual mostra que as estações de 1, 2, 3, 6, 7 e 8 se apresentaram abaixo da média e as estações 4, 6 e 9 acima da média. A análise residual também revela que a estação 9 pode estar diminuído a correlação, sendo assim se isolassemos esta estação pode ser que o coeficiente de correlação aumente. O resíduo então pode ser considerado normal, onde os pontos observados não apresentam tendências e estão dispersos na faixa de + ou - 5.

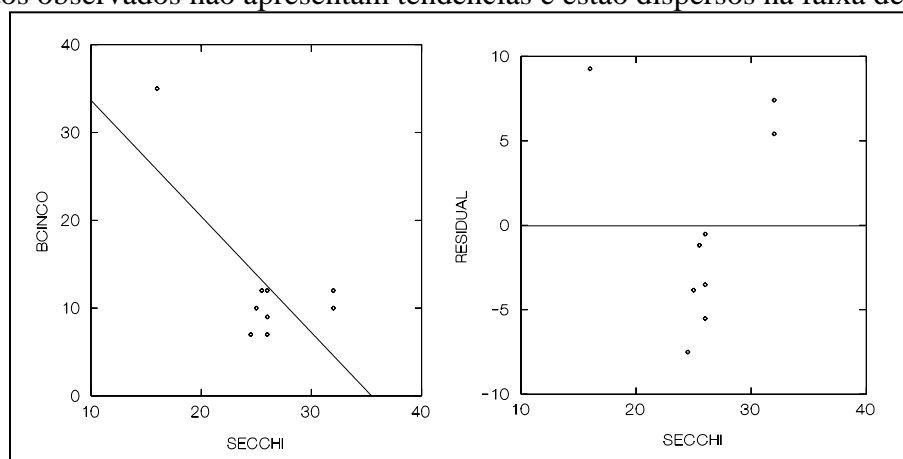


Figura 4: Análise de Regressão e Residual entre a variável profundidade secchi e a Banda 5 do LANDSAT TM 5.

#### Variável clorofila *a* (cl-a) e a Banda 4 do LANDSAT TM 5

O resultado da regressão entre a variável clorofila *a* e a Banda 4 do LANDSAT TM 5, revela uma forma imperfeita positiva ( $0 < r < 1$ ), onde a reta não passa em cima de todos os

pontos (figura 5). Nota-se uma boa distribuição dos pontos ao longo da reta, onde apenas a estação 2 se apresentou um pouco fora da reta. A análise residual mostra que as estações de 2, 3, 5, 7 e 8 se apresentaram abaixo da média e as estações 1, 4, 6 e 9 acima da média. O resíduo então pode ser considerado normal, onde os pontos observados não apresentam tendências e estão dispersos na faixa de + ou - 5.

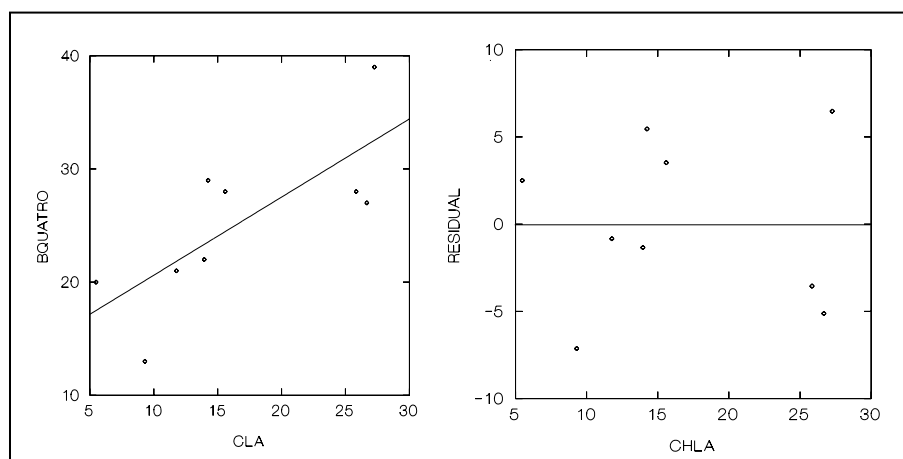


Figura 5: Análise de Regressão e Residual entre a variável profundidade secchi e a Banda 5 do LANDSAT TM 5.

### Modelagem das variáveis físico-químicas e biológicas com auxílio da geoestatística

**Temperatura** - Foi possível observar que nas estações 1, 2, 3 e 5 o modelo geoestatístico subestimou os valores, para as estações 6 e 7 o modelo superestimou os valores de campo, e as estações 8 e 9 o modelo se mostrou compatível com os valores de campo. De acordo com a aplicação da geoestatística (Krigagem Bayesiana), é possível notar na figura 14 que a temperatura variou de 29,1 a 29,7 °C, com a desembocadura apresentando as maiores temperaturas, e diminuindo em direção à montante.

**Salinidade** - Foi possível observar que o modelo ajustado para a salinidade teve o seguinte comportamento: para as estações 1, 2, 3 e 4 o modelo geoestatístico subestimou os valores, as estações 4, 6 e 7 o modelo superestimou os valores observados em campo, já para as estações 8 e 9 modelo foi compatível com os valores de campo. De acordo com a aplicação da geoestatística (Krigagem Bayesiana), é possível notar na figura 15 que a salinidade variou de 26,7 a 34,5 (u.p.s), com a desembocadura apresentando os maiores valores de salinidade, e diminuindo em direção à montante.

**pH** - Foi possível observar que o modelo para o pH nas estações 1 e 2 modelo geoestatístico superestimou os valores, as estações 3, 4 e 7 o modelo subestimou os valores observados em campo, já para as estações 5, 6 e 9 modelo foi compatível com os valores de campo. De acordo com a aplicação da geoestatística (Krigagem Bayesiana), é possível notar na figura 16 que o pH teve uma pequena variação de 7,98 a 8,17, com a desembocadura apresentando os menores valores de pH, e aumentando em direção à montante. No entanto, é possível perceber a partir da carta gerada com a modelagem que existem alguns pontos do estuário em que o pH volta a subir novamente.

**Profundidade Secchi** - Foi possível observar que o modelo para a profundidade secchinas estações 1, 2, 5, 7 e 9 o modelo geoestatístico superestimou os valores, as estações 4 e 6 o modelo subestimou os valores observados em campo, já para as estações 3 e 8 modelo foi compatível com os valores de campo. De acordo com a aplicação da geoestatística (Krigagem Bayesiana), é possível notar na figura 17 que a profundidade secchi teve uma variação de 20,2 a 29,2. É possível perceber que não há um padrão quanto a essa variável, e sim que é condicionada através do material em suspensão presente na região de amostragem. Mas também é possível notar que quanto mais próximo da montante do estuário menor a profundidade secchi.

**Totais de Sólidos em Suspensão** - Foi possível observar que o modelo para estimar o total de sólidos em suspensão que as estações 2, 4, 5, 6 e 7 o modelo geoestatístico superestimou os valores, as estações 1, 3 e 9 o modelo subestimou os valores observados em campo, já para a estação 8 o modelo foi compatível com os valores de campo. De acordo com a aplicação da geoestatística (Krigagem Bayesiana), é possível notar na figura 18 que o total de sólidos em suspensão teve uma variação de 47 a 119 (g/L), com a desembocadura apresentando os maiores valores, e o médio curso apresentando pouco material em suspensão. No entanto, é possível perceber a partir da carta gerada com a modelagem que à medida que se aproxima da montante o material em suspensão volta a aumentar.

**Clorofila *a*** - Foi possível observar que o modelo para estimar a clorofila *a* no rio Anil para a maré enchente que para as estações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 o modelo geoestatístico superestimou os valores, as estações 7, 8 e 9 o modelo subestimou os valores observados em campo. De acordo com a aplicação da geoestatística (Krigagem Bayesiana), é possível notar na figura 19 que a clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ) uma variação de 7,73 a 25,29 ( $\mu\text{g/L}$ ), com a desembocadura apresentando os menores valores, e aumentando em direção à montante. Este resultado está de acordo com o trabalho de Ewerton (2001) que obteve como resultado sobre a concentração de clorofila *a* na preamar os maiores valores à jusante do estuário do rio Anil. Os resultados supracitados podem ser visualizados na figura 6.

#### **4. Conclusão**

Os resultados confirmam que os dados de sensoriamento remoto por satélite, em particular o LANDSAT TM 5, se mostrou eficiente na determinação de características da superfície de corpos d'água costeiros, principalmente o pH, a profundidade Secchi e a clorofila *a*. Possivelmente a pouca correlação entre os demais parâmetros (temperatura, totais de sólidos em suspensão) com as bandas do LANDSAT TM 5, devido principalmente a poucas estações amostrais (que neste foram 9), sendo assim com o auxílio da geoestatística é possível gerenciar a qualidade dos recursos hídricos do rio Anil. Assim aliando o sensoriamento remoto com a geoestatística pode-se realizar a gestão dos recursos hídricos do rio Anil, de forma a obter com baixo custo uma malha de valores de variáveis ambientais, facilitando o monitoramento e maximizando os resultados.

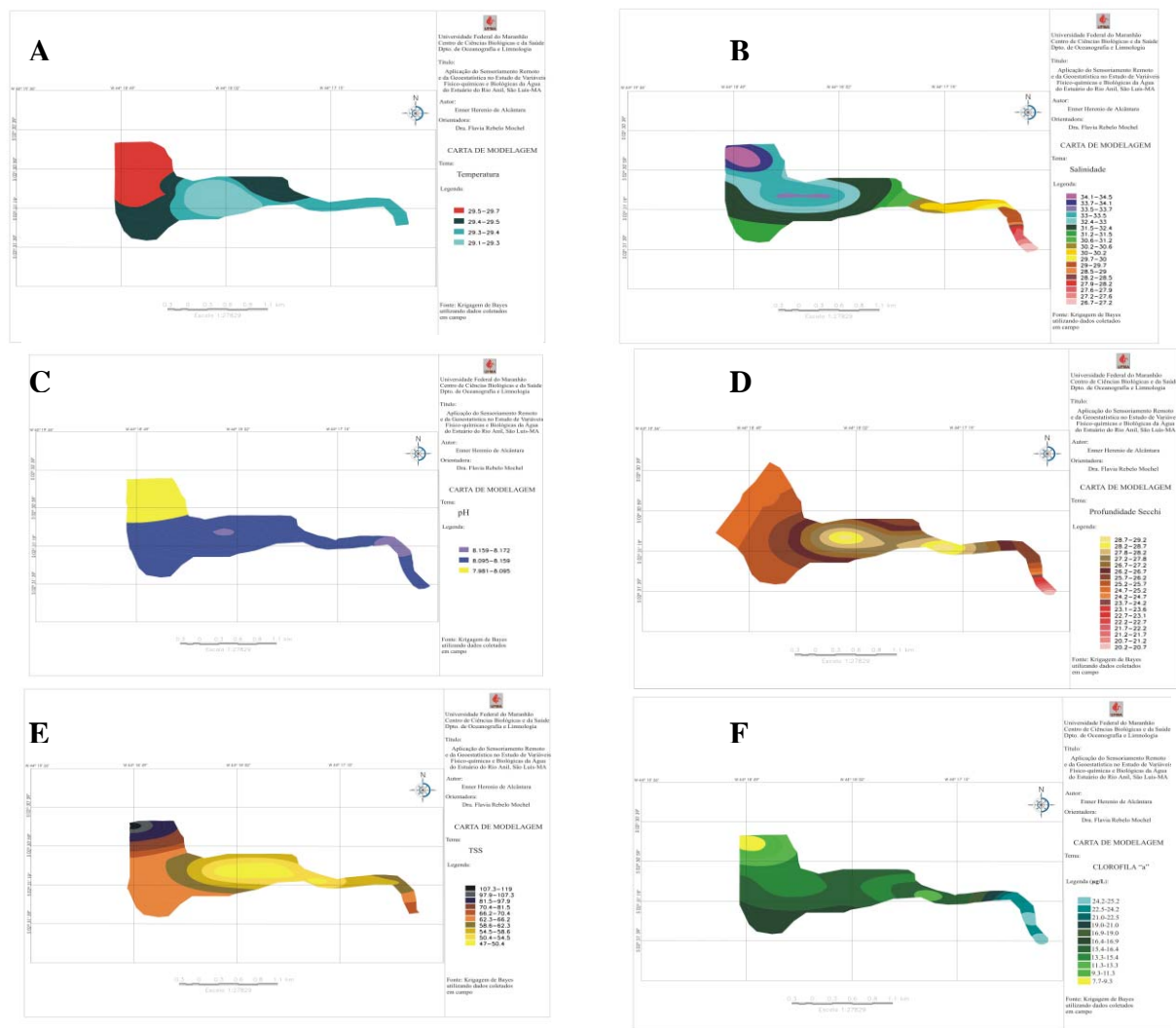


Figura 6: Cartas de modelagem das variáveis ambientais em estudo utilizando a geoestatística: (A) temperatura; (B) salinidade; (C) pH; (D) profundidade Secchi; (E) TSS e (F) cloforila *a*.

## Agradecimentos

Agradecimentos especiais devem ser dirigidos ao tecnólogo Aless Sandro Ericceira Amorim pela orientação na confecção das cartas de modelagem.

## Referências

ALCÂNTARA, E. H. & SILVA, G. C. 2003. Conseqüências Ambientais da Intensa Urbanização da Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA. In: *VI Congresso de Ecologia do Brasil*. Fortaleza – CE.

KLEMAS, V. 7 POLIS, D. 1977. Remote sensing of estuaries fronts and their effects on pollutants. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(5): 599-612.

LABOHIDRO, 1980. *Estudos Bioecológicos nos Estuários dos Rios Anil e Bacanga – Ilha de São Luis-MA*. (Relatório parcial).

MATHERON, G. 1963. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58 (8): 1246-1266.

MATHERON, G. 1971. The theory of regionalized variables and its applications. Paris, Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu, 211p.

MENDES, P.P. 1999. Estatística aplicada à aqüicultura. Recife: Bagaço.

NASA. 1971. Langley Research Center. Remote measurement of pollution. Washington, DC. (NASA-SP-285).

SIQUEIRA, A.M.F., 1987. *Efeitos da Poluição por efluentes domésticos e industriais sobre o rio Anil*. (Monografia). Universidade Federal do Maranhão, São Luís.