

## Modelo Batimétrico da Plataforma Continental Interna de Acaraú – Ceará - Brasil

Maria Valdirene Araújo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco - UFPE  
Avenida Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária – Recife – Brasil  
mmvvaall@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará - UFC  
Av. Humberto Monte, s/n – Fortaleza – Ceará - Brasil

**Abstract.** The continental shelf of Acaraú has a smooth morphology in the first few miles out to sea because of its extensive tidal flat. Isobath in his 14 relief becomes more rugged, yet where is the tidal channels. It is located in the far west of the state of Ceara, limited to the west and east Camocim platform with Itarema. The bathymetric model was developed using the kriging geostatistical method, chosen because the interpolation method that produces better results from the statistical interpolators. By bathymetric modeling, it was possible to trace the bathymetric profiles for a better interpretation of the relief submerged.

**Palavras-chave:** remote sensing, bathymetric model, geology, sensoriamento remoto, modelo batimétrico, geologia.

### 1. Introdução

A plataforma continental representa a extensão submersa dos continentes e normalmente apresenta gradientes suaves desde a linha de costa no qual atinge um aumento da declividade denominado de quebra da plataforma, com profundidade média de 100m. Segundo Freire (1985) a morfologia das plataformas, em geral suave, é causada pela irregularidade da erosão e deposição, resultante das flutuações do nível do mar, formando as feições erosivas, construtivas ou estruturais.

O quadro morfológico e fisiográfico do fundo oceânico atual é resultado da evolução tectônica global atuante desde a fragmentação do supercontinente Pangea e dos agentes modificadores, associados aos processos de erosão e sedimentação. Através de levantamentos ecobatimétricos, em associação com métodos mais precisos de posicionamento no mar, permitiram traçar um quadro mais detalhado da morfologia do fundo oceânico (BAPTISTA NETO et. al., 2004).

Ainda descrevendo a morfologia do fundo oceânico, uma das formas de visualizar o fundo submarino é através de mapas fisiográficos, onde a representação plana das unidades topográficas e da forma da superfície do piso marinho, associadas a outras características que marcam formas e tendências altimétricas do relevo. A construção de mapas fisiográficos exige a interpretação de mapas e perfis batimétricos, a fim de delinear as diversas feições do relevo submerso.

#### 1.1 Morfologia da Plataforma Continental do Ceará

Tendo como base a morfologia e a distribuição dos tipos de sedimentos, (Coutinho, 1976) a plataforma do Nordeste, divide a mesma em três segmentos: plataforma interna correspondente à área entre a linha de praia e a isóbata de 20m; plataforma média, situada entre as isóbatas de 20 e 40m, com relevo bem mais regular e a plataforma externa, a partir de 40m até a borda da plataforma.

Freire (1985) a partir de análises das classificações da plataforma continental do Nordeste de (KEMPF, 1970 e COUTINHO, 1976) classificou a plataforma do Ceará em plataforma interna, variando de 0 a 20m, onde predomina fácies arenosa e quartzosa e plataforma externa que vai de 20m até a quebra da plataforma, numa profundidade média de 60m.

A plataforma cearense (Figura 1) tem uma largura máxima na altura de Camocim, com 101 km de extensão e a mínima em Tremembé com 41 km, pode-se dizer que na plataforma continental do Ceará a largura predominante é em torno de 63km (FREIRE, 1985). A área em estudo corresponde à plataforma continental de Acaraú até a isóbata de 30m, onde possui uma largura máxima de 62 km.

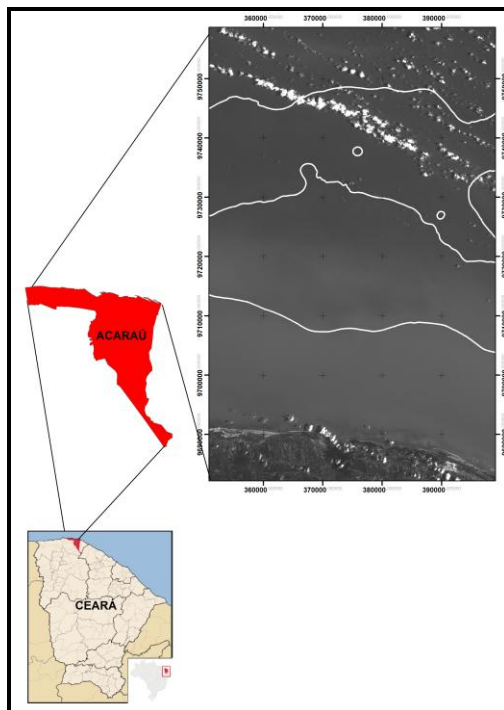


Figura 1 – Localização da área.

## 1.2 Condições oceanográficas

### Ventos

Os dados de ventos estão de com a estação anemográfica encontra-se implantada na localidade de Pecém no município de São Gonçalo do Amarante – CE no ano de 2002. As velocidades médias dos ventos variam de 3,4 a 9,57m/s, com média de 6,79m/s. As direções dominantes e reinantes, foram de Leste, representando 46,3% das medidas, seguida das direções ENE com 22,3% e ESE com 16,0 % das ocorrências. Os ventos que sopraram do quadrante norte (NNW, N e NNE), corresponderam a 5,1 % do total das ocorrências registradas no período e na sua maioria de baixa intensidade. (INPH, 2001).

### Correntes

As correntes costeiras são responsáveis pelo transporte de sedimentos atingindo a costa em um determinado ângulo. A angulosidade de incidência dessas correntes é muito importante no transporte de sedimentos e na deposição, pois este setor determina sua velocidade e portanto a trajetória dos sedimentos (SILVA, 2005).

De acordo com Freire (1985) durante a realização da operação GEOMAR XVIII foram realizadas quatro estações de correntometria, uma delas, localizada na plataforma interna próxima a foz do rio Coreauá, na qual apresenta uma corrente geral com velocidade na ordem de 0,24 m/s e direção 238°N na superfície e 0,21 m/s com direção de 87°N no fundo.

### Marés

As marés são importantes ondas dos oceanos, ocorrendo um levantamento e um abaixamento rítmico sobre um intervalo de tempo de várias horas, traduzindo-se pela oscilação periódica do nível do mar, com período e amplitude variáveis no tempo e no espaço, devido à atração gravitacional da Terra, Lua e Sol sobre as águas. Esta oscilação é

acompanhada por correntes de marés (horizontais), nas quais seu limite e sua intensidade variam igualmente no tempo e no espaço observados (CHAVES, 2000 *apud* SILVA, 2005).

O litoral de Acaraú localiza-se numa região de mesomaré representada por marés semi-diurnas que de acordo com Freire (1985) as marés do Estado do Ceará podem ser classificadas por ondas semi-diurnas com desigualdade de amplitude e com período médio de 12,4 horas.

### **Ondas**

A distribuição de sedimentos que modificam o contorno das praias é principalmente influenciada pelo movimento das ondas que atuam como o principal agente modelador das zonas costeiras (SILVA, 2005).

A análise das ondas para o período de 1997 a 2001 de acordo com INPH (2002), para as classes de  $1,9 \text{ m} \leq H_{\text{máx}} \leq 2,0 \text{ m}$  foi a mais freqüente, com 7,2 %; segue-se a classe de  $1,8 \text{ m} \leq H_{\text{máx}} < 1,9 \text{ m}$ , com 7,10%. A classe de  $4,6 \text{ m} \leq H_{\text{máx}} \leq 4,7 \text{ m}$  ocorreu com 0,02%, o que indica que ocorreram 4 ondas em 1705 dias. O grupamento de  $1,3 \text{ m} < H_{\text{máx}} < 3,2 \text{ m}$  ocorreu com 93,06% de freqüência. Ondas máximas 4,0m ocorreram com freqüência de 0,2% o que representa 34 dias em 1705 dias; ondas máximas acima de 3,0 ocorreram com 9,83% e ondas máximas acima de 2,0 ocorreram com 61,66%.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Levantamento de dados batimétricos**

Os dados da batimetria da área em estudo foram obtidos através de dados pré-existentes junto ao Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA/UFC). A partir de então foi organizado o banco de dados para confecção do Mapa Batimétrico.

### **2.2 Modelagem Batimétrica**

A batimetria é expressa cartograficamente por curvas batimétricas que são curvas que unem pontos de mesma profundidade com equidistâncias verticais, à semelhança das curvas de nível topográfico.

Os dados batimétricos aqui apresentados foram processados para a confecção do modelo batimétrico e foram obtidos através das Cartas Náuticas 600 e 700 em escala 1:316.000 cedidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN).

Inicialmente realizou-se a seleção dos dados X, Y e Z até a profundidade de 30 metros (Figura 2). Os parâmetros X e Y correspondem às coordenadas dos pontos existentes, e Z corresponde a profundidade em metros, já corrigida a diferença produzida pela maré. As coordenadas geográficas referenciadas estavam em *Datum* Córrego Alegre, sendo importados para ambiente SIG, utilizando o software ArcGis 9.2, foi transformado para o *Datum* WGS84 SUTM 24.

Segundo Felgueiras (1999) um Modelo Digital de Terreno (MDT) representa o comportamento de um fenômeno que ocorre em uma região da superfície terrestre. Os dados de MDTs são de fundamental importância em aplicações de geoprocessamento desenvolvidas no ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esses modelos são obtidos a partir de uma *amostragem do fenômeno* dentro da região de interesse. As amostras são processadas de forma a criar *modelos digitais* que vão representar a variabilidade do fenômeno nessa região. Os modelos digitais são utilizados por uma série de *procedimentos de análises* úteis para aplicações de geoprocessamento. As análises podem ser qualitativas ou quantitativas e são importantes para fins de simulações e tomadas de decisão no contexto de desenvolvimento de aplicações ou modelagens que utilizam SIGs.

### 2.3 Confeção do modelo batimétrico e métodos de interpolação dos dados

Hoje em dia a geoestatística tem sua aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento, como hidrogeologia, meio ambiente, geotecnia e oceanografia. Nesse trabalho ela será usada para modelar a superfície da plataforma continental do município de Acaraú a partir de dados batimétricos.

O modelo batimétrico foi elaborado utilizando o método geoestatístico de krigagem, escolhido por ser o método de interpolação que apresenta melhores resultados dentre os interpoladores estatísticos que são: mínimo curvatura, o inverso da distância e a krigagem. Segundo Landim (2002) a krigagem se mostrou mais eficaz por apresentar melhores parâmetros estatísticos.

A Krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados, pois utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. As unidades de análises mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (JAKOB, 2002).

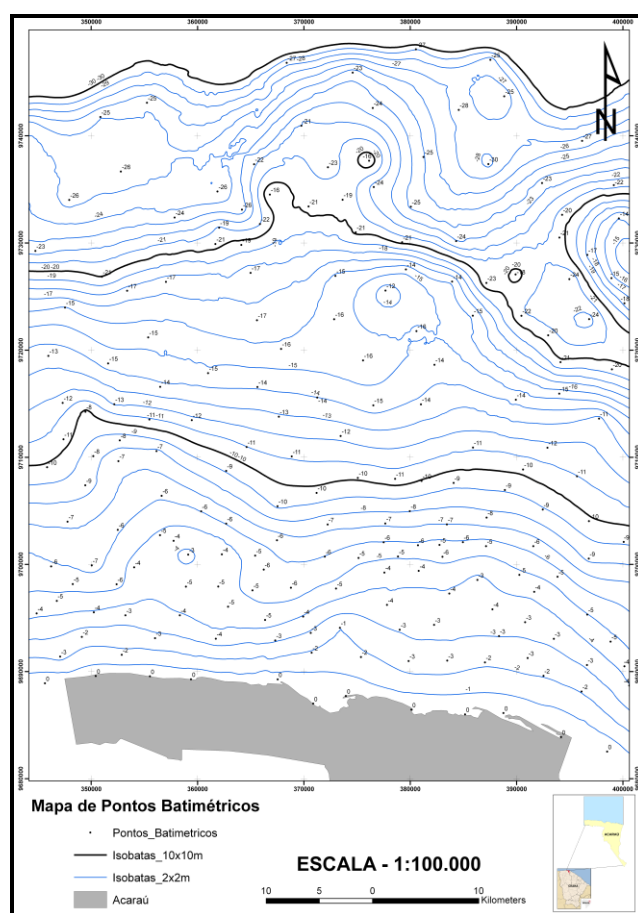


Figura 2 – Pontos batimétricos.

A geoestatística define um conjunto de procedimentos matemáticos que permite que se reconheça e descreva relacionamentos espaciais existentes. Neste processo, admite-se que a posição de uma amostra é tão importante quanto o valor medido.

Os modelos estatísticos adotados para a análise espacial fundamentaram-se na utilização de semivariogramas pelo interpolador geoestatístico *Kriging Ordinary*. O Variograma é o instrumento que descreve quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado. Se os pontos são muito correlacionados a variância das diferenças

será menor. Quando esta é representada em função da distância ( $h$ ) fica demonstrada a correlação espacial (covariância) de um fenômeno regionalizado e torna-se possível a construção de um variograma.

Os parâmetros do semivariograma podem ser observados diretamente da Figura 3.

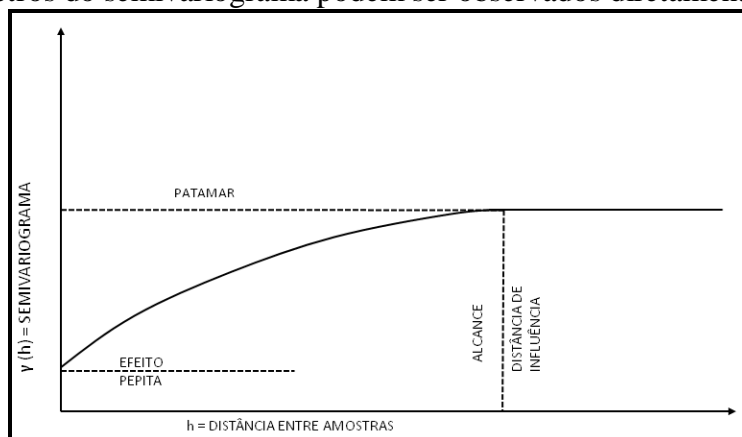


Figura 3 – Principais feições do semivariograma.

*Alcance (a)*: distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Na Figura 5.3, o alcance ocorre próximo de 25m.

*Patamar (C)*: é o valor do semivariograma correspondente a seu *alcance (a)*. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ( $\text{Var} [Z(x) - Z(x+h)]$ ) torna-se invariante com a distância.

*Efeito Pepita (C0)*: idealmente,  $(0)=0$ . Entretanto, na prática, à medida que  $h$  tende para 0 (zero),  $(h)$  se aproxima de um valor positivo chamado *Efeito Pepita (C0)*, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição, mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem (CAMARGO, 2010).

Para o cálculo e ajuste do semivariograma dentro dos parâmetros descritos acima, foi utilizado o *software* geostatístico VARIOWIN® 2.21, onde se pode obter o MDT através do método de interpolação da krigagem.

O modelo batimétrico foi confeccionado a partir dos dados da batimetria e do semivariograma ajustado através do *software* SURFER 8.0.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Modelo Batimétrico

Os pontos batimétricos foram obtidos através de dados pré-existentes dos projetos GEOCOSTA II, GEOMAR XVIII e REMAC. Esses dados foram filtrados e estruturados em coordenadas UTM no *Datum* WGS84 24S, sendo ( $x$  e  $y$ ) as coordenadas geográficas e ( $z$ ) a profundidade em metros.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) foi confeccionado a partir dos dados acima, utilizando o *software* SURFER 8.0 (Figura 4), esse modelo mostra a forma numérica de representação do relevo a partir dos dados vetoriais tratados.

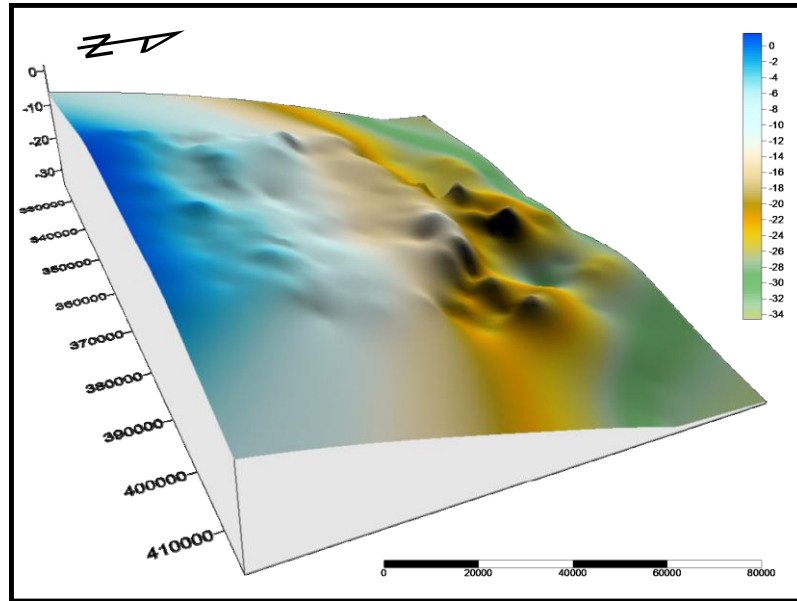


Figura 4 – MDT Plataforma Continental de Acaraú.

A partir do MDT obtiveram-se as linhas de contornos, que correspondem as isóbatas do relevo submerso, no qual pode-se observar a declividade do terreno disposta paralelamente a costa. Foram traçados perfis batimétricos transversais e longitudinais que podem ser observados na Figura 5.

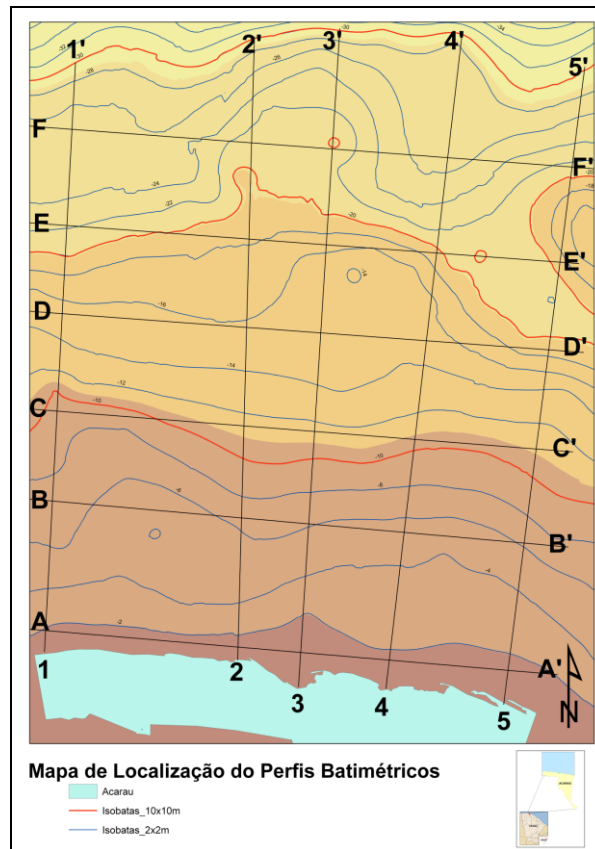


Figura 5 – Perfis batimétricos transversais (perfil 11' a 55') e longitudinais (perfil AA' a FF').

Na Figura 6 verifica-se os valores mais significativos da declividade dos perfis batimétricos transversais. A declividade variou de 1:1250 a 2:500 nos primeiros 5.000 metros. Nota-se uma declividade suave nos primeiros 30.000 metros de 1:2.000 e profundidade média

de -15m. Após 30.000 metros mar adentro até a isóbata de 30m o relevo se apresentou com suaves declives, intercalados por relevos positivos e negativos.

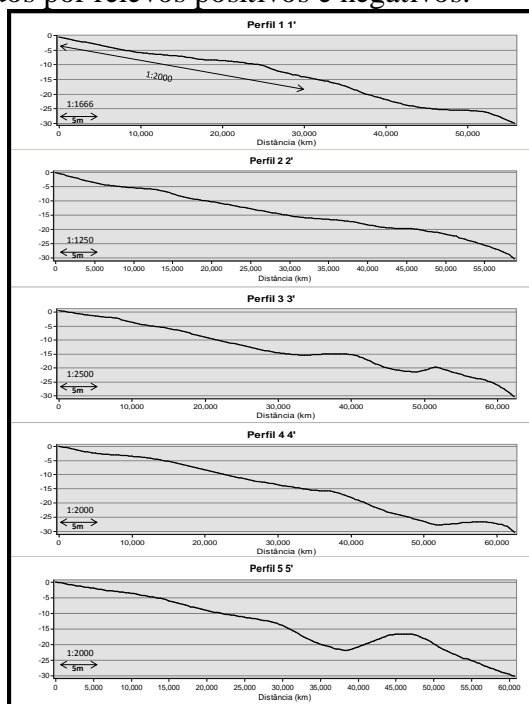


Figura 6 – Perfis batimétricos transversais.

Na **Figura 7** abaixo mostra o resultado dos perfis longitudinais traçados paralelamente a linha de costa, atingindo um comprimento de cerca de 50 km, afim de observar o comportamento do relevo de fundo da área. Nos perfis A A', B B' e C C' verifica-se o paleocanal do rio Acaraú, que se estende cerca no máximo 12.000 metros de distância da linha de costa.

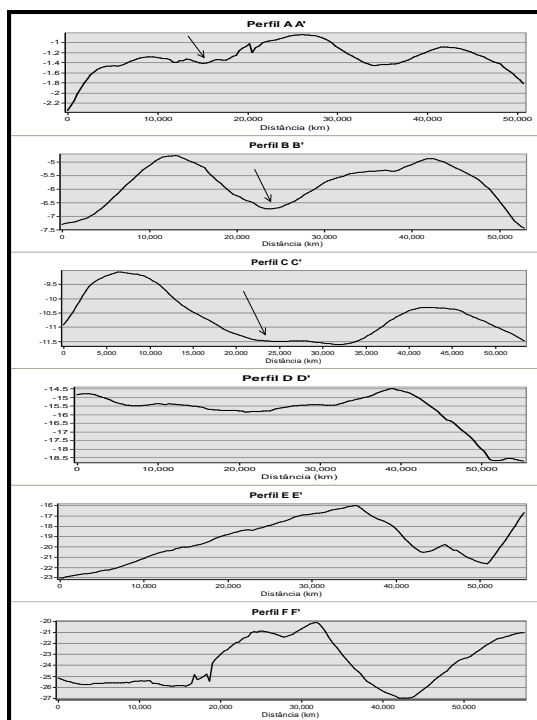


Figura – Perfis batimétricos longitudinais.

Nos perfis D D', E E' e F F' observou-se um relevo mais acidentado, com presença de colinas e canais, sendo estes modificados predominantemente por processos marinhos.

#### 4. Considerações finais

O resultado batimétrico apresentou para a área pesquisada uma morfologia de fundo homogênea da isóbata 0 a 12, devido se tratar de uma planície de maré, o relevo apresentou-se com declividade suave e com poucas irregularidades, como colinas, e com uma declividade suave que varia de 1:1900 a 1:2066.

#### Referências

- Baptista Neto, J.A. et. al. 2004. Introdução a geologia marinha. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 279p.
- CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: Fundamentos e aplicações. [http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/5geoest.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf). Pesquisa realizada em 14/02/2010.
- Coutinho, P. N. 1976. Geologia Marinha da Plataforma Continental Alagoas-Sergipe. Recife, Sad. (Tese de Docente Livre). 119p.
- FELGUEIRAS, C. A. Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas de Informações Geográficas. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab\\_cientific/selper8f.pdf](http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab_cientific/selper8f.pdf). 1999.
- FREIRE, G. S. S. 1985. Geologia Marinha da Plataforma Continental do Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geociências. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 162p.
- INPE. Site [www.inpe.br](http://www.inpe.br). Consultado em 19/07/2008.
- INPH (Instituto de Pesquisas Hidroviárias). 2002. Monitoramento Ambiental – Relatório Final de Medições de Ondas. Período de Março/1997 a Outubro/2001. Rio de Janeiro, 60p.
- INPH (Instituto de Pesquisas Hidroviárias). 2001. Monitoramento Ambiental – Relatório de Medições de Vento realizadas na Ponta do Pecém/CE. Período de Setembro/2000 a Janeiro/2001. Rio de Janeiro, 20p.
- JAKOB, A. A. E. A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Ouro Preto - Minas Gerais, 2002.
- Kempf, M. 1970. Notes on the benthic bionomy of the N-NE brasilian shelf. Mar. Biol., 5: 213 -244.
- LANDIM, P. M. B. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. Geomatématica – Texto Didático 6, DGA, IGCE, UNESP, Rio Claro, 2002. 16p
- SILVA, A. M. C. 2005. Relações entre a dinâmica costeira e a meio fauna dos sedimentos praias do litoral da Ilha de Itamaracá – PE. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 139p.