

## USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS AO CULTIVO DE MACROALGAS MARINHAS

Eduardo Guilherme Gentil de FARIAS<sup>1\*</sup>; João Antônio LORENZZETTI<sup>1</sup>; Luís Parente MAIA<sup>2</sup>;  
Francisco Gleidson da Costa GASTÃO<sup>2</sup> & Luiz José Cruz BEZERRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

<sup>2</sup> Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará - UFC

\*email: gentil@dsr.inpe.br

Recebido em 20 de maio de 2010

**Resumo** - Técnicas de geoprocessamento vêm sendo amplamente utilizadas nas mais diversas atividades econômicas e governamentais, fornecendo subsídios adequados de planejamento e gestão de projetos. Nesse trabalho, foi utilizada a técnica de inferência geográfica denominada Processo Analítico Hierárquico, que tem por objetivo a obtenção de uma função aritmética com base nas premissas de favorabilidade ao cultivo de macroalgas marinhas do gênero *Gracilaria* sp. Para isso, foram consideradas as seguintes variáveis: granulometria do solo marinho, batimetria e fluxo de correntes marinhas. Essa função permitiu combinar as condições adequadas ao desenvolvimento da maricultura, ressaltando áreas com maior favorabilidade para o cultivo de macroalgas. Os produtos resultantes foram convertidos em camadas de informação. Velocidade de fluxo de correntes, profundidade e tipo de sedimento foram utilizadas como critérios de decisão, com maior aptidão para as zonas com profundidades entre 1,5 a 3 metros, velocidades variando entre 0,2 e 0,3 m/s e sedimentos finos. Os resultados demonstram a qualidade da análise derivada da integração de diferentes fontes de informações, como também destacam a importância do geoprocessamento no apoio ao planejamento e desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: processo analítico hierárquico; maricultura, zona costeira.

## USE OF GEOPROCESSING TECHNIQUES FOR IDENTIFY FAVORABLE AREAS FOR THE SEAWEEDS CULTURE

**Abstract** - Geoprocessing techniques (GIS) can be extensively employed in a wide range of economic and governmental activities, providing subsidies for adequate planning and management. In this paper, the techniques of geographic inference called Analytic Hierarchic Process which aims to obtain an arithmetic function based on the favorability premises for the seaweeds cultivation. For this, we analyzed the following variables: marine sediments, bathymetry and marine currents. This function allowed to combine the conditions for the development of mariculture, highlighting the most favorable areas for seaweeds cultivation. The resulting products were converted into layers of information. Current velocities, depth and sediment type were employed here as decision criteria, with higher suitability proxies for areas with depths between 1.5 and 3 meters, current velocities ranging between 0.2 and 0.3 m/s, and fine sediments. Results emphasize the improvement in the quality of analysis derived from the integration of diverse information and also the importance of GIS for supporting environmental sustainable.

Keywords: analytic hierarchic process; mariculture, coastal zone.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos sete anos, a produção pesqueira mundial encontra-se estabilizada em torno de 105 milhões de toneladas, sendo que a maioria dos estoques pesqueiros tradicionais encontra-se em declínio, em virtude principalmente da sobrepesca e da destruição dos habitats de diversos recursos pesqueiros, em decorrência da crescente expansão das atividades antrópicas (FAO, 2006).

Dentro desse contexto, através de um conjunto de técnicas denominadas por maricultura, a crescente necessidade de consumo humano por alimentos, vem expandindo a possibilidade da criação de recursos aquáticos em cativeiro. Além de gerar alimento, esta atividade pode constituir uma alternativa para o sustento de comunidades pesqueiras defrontadas com a atual crise na pesca.

No contexto da gestão integrada da zona costeira, a maricultura sustentável pode desempenhar um papel importante na conservação dos corpos d'água e de sua flora e fauna devido às suas exigências em relação à água e ao ambiente adjacente.

Em virtude disso, vem ocorrendo uma crescente busca de produtores à atividade e um aumento significativo na produção, assim como um esforço de várias instituições na busca da consolidação da cadeia produtiva. Entretanto, o grande gargalo enfrentado pelo setor para essa consolidação e expansão diz respeito à escolha dos locais ideais para a implantação desses empreendimentos (Almeida, 2006).

O desenvolvimento dessa atividade deve ser planejado em consonância com os princípios de gestão integrada dos ambientes costeiros e marinhos, de forma a minimizar os conflitos de uso entre as atividades que competem pela ocupação dos espaços e utilização dos recursos naturais costeiros e marinhos, tais como: extrativismo, pesca, turismo e tráfego aquaviário (Tovar, Moreno, Manuel-Vez & Garcia-Vargas, 2000).

No atual panorama de gestão integrada da zona costeira, a maricultura sustentável apresenta-se como uma importante fonte de geração de rendas e divisas nas regiões onde esta atividade é implantada. Em contraponto, a expansão desordenada da maricultura incrementa os conflitos com as demais atividades sócio-econômicas (Brandini, Silva & Proença, 2000).

Segundo Vinatea (2000), o manejo integrado poderá garantir a conservação dos recursos naturais costeiros e, simultaneamente, ser capaz de melhorar a qualidade de vida de todos os atores vinculados aos recursos em questão.

Tentando avançar nessas questões, alguns países como a Noruega, Nova Zelândia, Tailândia, Índia e China incluíram em seus planos nacionais de gestão integrada da zona costeira, um conjunto de diretrizes ambientais e jurídicas para o desenvolvimento da maricultura (Tacon,

Hasan & Subasinghe, 2006).

Segundo Chua (1997), o objetivo de projetos dessa natureza, geralmente inclui: a correta alocação dos recursos naturais para cada uma das funções ou atividades competidoras; a resolução ou minimização de conflitos; a minimização dos impactos ambientais e a conservação dos recursos naturais.

Como contribuição ao melhoramento dessa situação, Wong (1995) relata que os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) podem ser uma das principais ferramentas utilizadas para auxiliar no gerenciamento da aquíicultura em zona costeira. O uso dessas ferramentas permite a identificação de áreas potenciais e a delimitação de parques aquícolas, levando em consideração os múltiplos usos dessa região.

A fim de se estabelecer bases sustentáveis para a correta escolha de locais para a implantação de unidades de produção de algas, faz-se primordial o entendimento da relação entre o comportamento desse recurso frente às condições ambientais. Dessa forma, é possível ser maximizada a eficiência do cultivo, de tal maneira que a máxima quantidade de algas pode ser produzida com o mínimo custo (Salles, 2006).

A adoção de técnicas de geoprocessamento vem, nesse sentido, possibilitando o desenvolvimento de estudos das peculiaridades de cada ambiente, otimizando as tarefas de análise de um volumoso e intrincado conjunto de parâmetros ambientais (Zeng, Dorman, Ogburn, Derwent & Williams, 2003).

Com isso, a partir da análise espacial, é possível gerar informações que subsidiam o gerenciamento das áreas de cultivo, disponibilizando informações às comunidades produtoras e aos órgãos de fomento das áreas afins (Tovar, Moreno, Manuel-Vez & Garcia-Vargas, 2000).

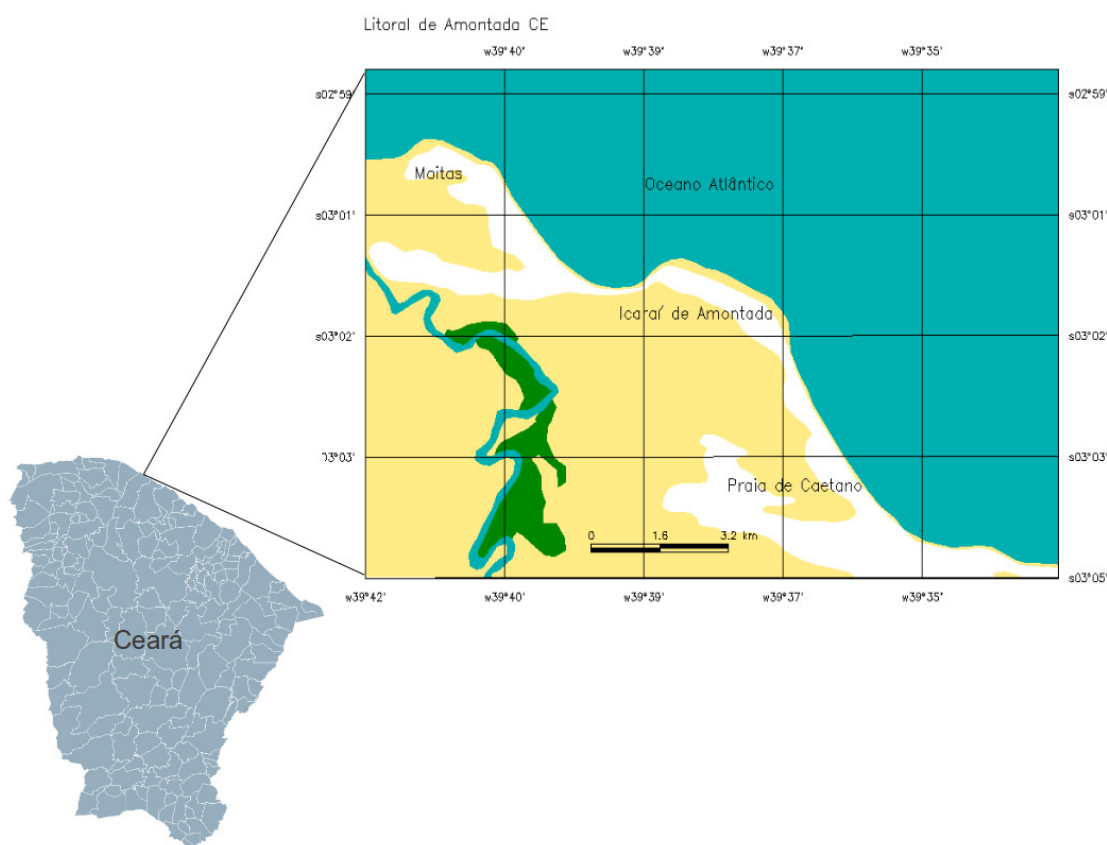
Assim, o presente trabalho tem por objetivo apresentar um exemplo de análise de inferência geográfica sobre parâmetros ambientais que estão relacionados à identificação de áreas propícias para o cultivo de algas do gênero *Gracilaria* sp. utilizando geoprocessamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

A região de estudo é o litoral do município de Amontada, cidade costeira localizada no estado do Ceará, nordeste do Brasil, entre as longitudes 039° 33'08''W e 039°42'14''W e latitudes 02°58'52''S e 03°04'40''S (Figura 1), distante cerca de 157 km da capital Fortaleza. Esta localidade foi escolhida devido sua ampla linha de costa e em virtude do seu grande potencial pesqueiro.

As variáveis utilizadas no processo analítico hierárquico (batimetria, granulometria dos sedimentos e correntes marinhas), foram coletadas *in situ*, durante atividades de campo

transcorridas entre os dias 19 a 22 de maio de 2009, período este, correspondente ao de quadratura da maré.



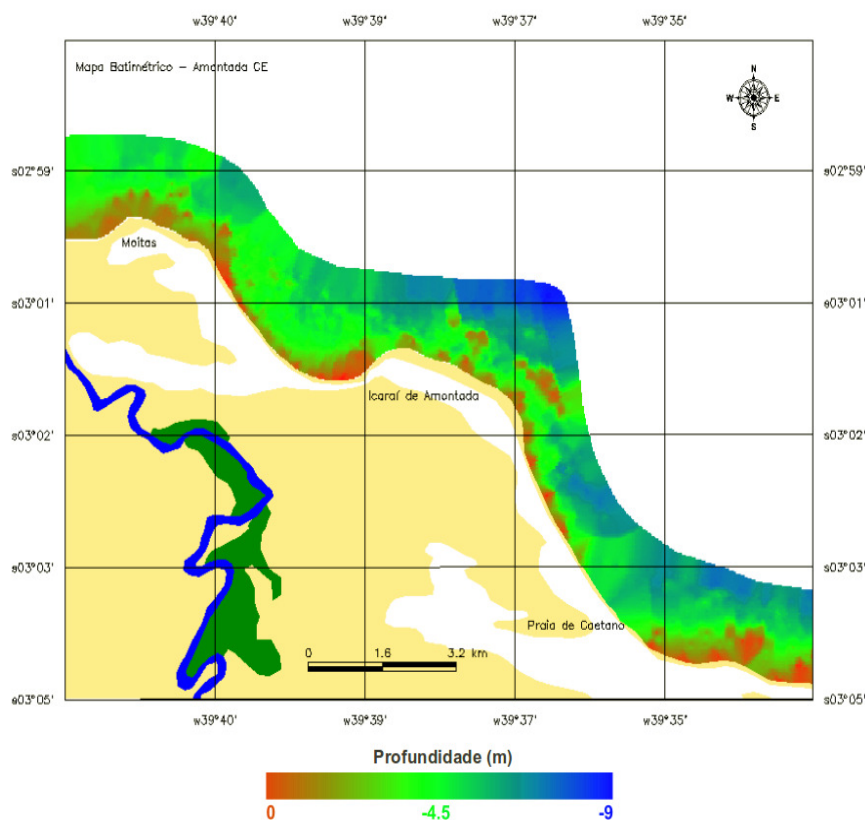
**Figura 1.** Mapa de localização da região costeira do município de Amontada, estado do Ceará.

#### COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS *IN SITU*

Para a realização do levantamento batimétrico foi utilizada uma ecossonda conjugada a um GPS, modelo GPSMAP 238 *Sounder* GARMIN, transdutor de resolução de 0,01m de profundidade, antena externa, recepção para 12 canais e receptor diferencial. A ecossonda inclui um sistema de aquisição de dados de profundidade, hora, e coordenadas, acoplado a um microcomputador.

Os dados de profundidade foram corrigidos ao nível reduzido da Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil (DHN) com o objetivo de eliminar o efeito da maré, utilizando como base a curva de maré obtida em campo e a tábua de maré do porto do Mucuripe, visando dar suporte a correta modelagem do mapa batimétrico.

A partir da obtenção de uma grade regular foi gerado o modelo batimétrico, utilizando-se para tal, um interpolador por média ponderada (Figura 2).



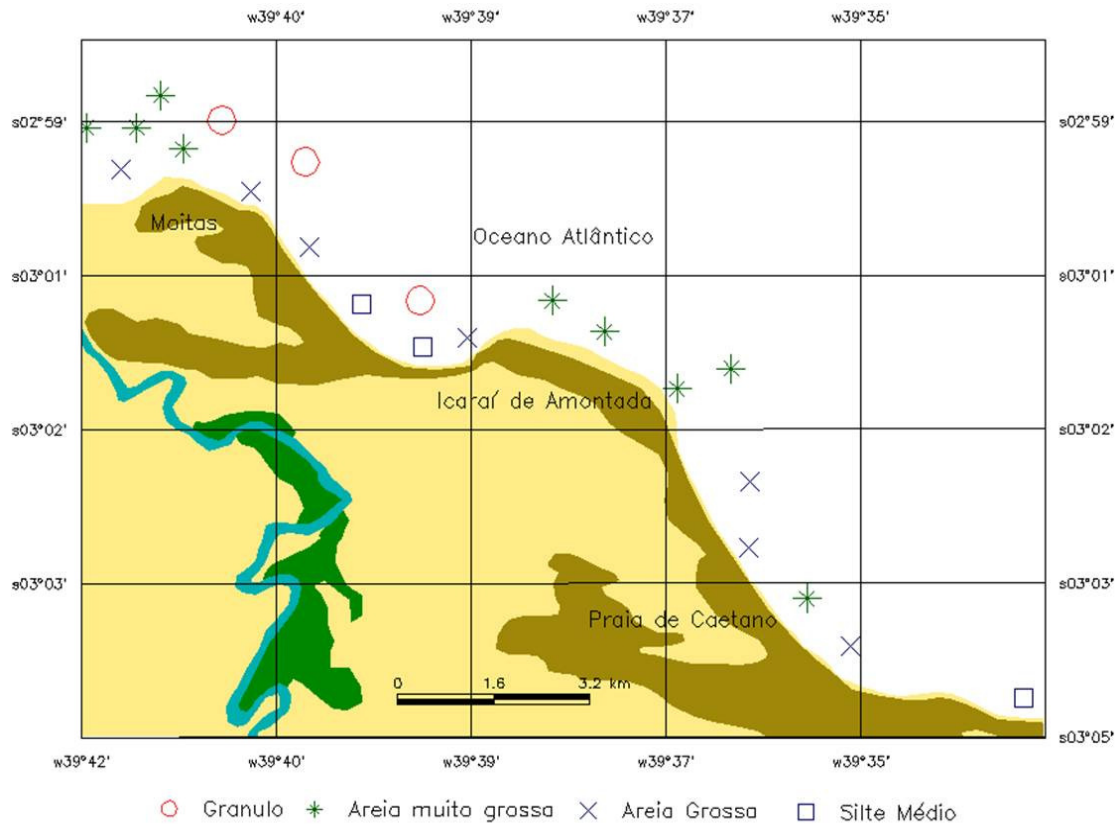
**Figura 2.** Mapa batimétrico da região costeira de Amontada, estado do Ceará.

Foram também, coletadas 22 amostras de sedimentos (Figura 3), com o auxílio de uma draga pontual do tipo *van Veen*. Essas amostras foram posteriormente levadas a laboratório onde foram submetidas à análise granulométrica, visando estabelecer a distribuição do diâmetro dos grãos presentes nas amostras adquiridas.

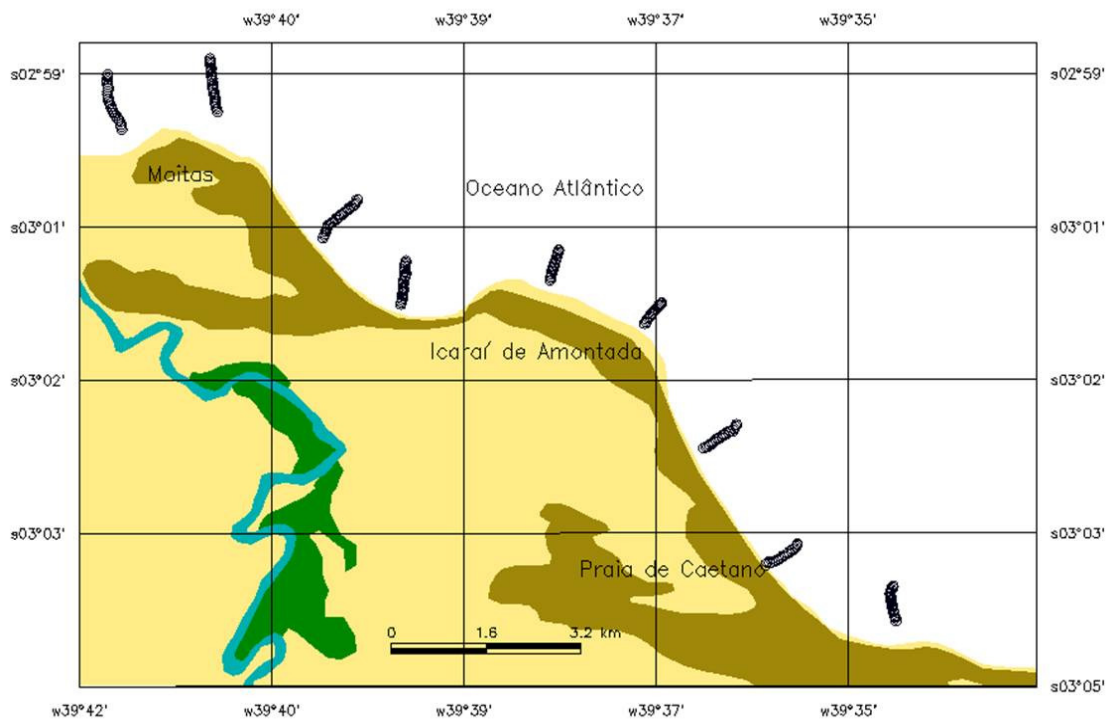
Por fim, foram realizados 9 perfis de amostragem de correntes, com comprimento médio de 900 metros (Figura 4), utilizando um correntômetro ADCP com sensor acústico de frequência 1,5 MHz, produzido pela *SONTEK/YSI*. O equipamento é composto por uma sonda, onde os sinais são filtrados e transmitidos para um microcomputador com um software específico que coordena as ações de todo o sistema, recebendo os dados e os disponibilizando em forma de gráficos, tabelas etc.

O princípio de funcionamento do equipamento é o efeito Doppler, que se refere à mudança de frequência do sinal transmitido pelo sensor, causada pelo movimento relativo entre o aparelho e o material em suspensão da água sob a ação do feixe das ondas sonoras. Como o material em suspensão se desloca na mesma velocidade da corrente de água, a magnitude do efeito Doppler é diretamente proporcional a essa velocidade. Medindo-se a frequência dos ecos que retornam do material em suspensão e comparando-a com a frequência do som emitido, o ADCP determina a velocidade da partícula que é a mesma da corrente da água esta medida pode ser relativa a

posicionamento diferencial por GPS, ou em relação ao fundo.



**Figura 3.** Distribuição e caracterização dos pontos de coleta de sedimentos.



**Figura 4.** Distribuição dos perfis de ADCP ao longo da região de estudo.

Para aplicar o modelo analítico hierárquico, é preciso estabelecer uma estrutura entre as variáveis, em que o valor de dominância para um dado nível hierárquico é propagado para o nível inferior (Barros, Moreira & Rudorff, 2007).

Por meio da integração das variáveis, o espaço geográfico foi parametrizado com a obtenção de um mapa geoambiental, segundo critério hierárquico para a tomada de decisão. A Figura 5 ilustra as etapas necessárias à obtenção do mapa de favorabilidade ao cultivo de macroalgas marinhas do gênero *Gracilaria* sp.



Figura 5. Etapas do processamento dos dados.

O modelo analítico hierárquico tem como princípio, construir um cenário de favorabilidade

ao cultivo de algas, a partir das variáveis ambientais que alimentam o modelo. Para tanto, utilizam-se os critérios necessários ao cultivo, ponderados de acordo em relação às melhores condições para o desenvolvimento da *Gracilaria* sp.

Para cada um dos critérios utilizados, estudou-se cada alternativa, tendo-se designado valores e pesos às classes de cada variável. Estruturados os critérios e as alternativas, foram realizadas comparações pareadas, para identificar quão melhor seria cada alternativa em relação às demais. Com base nesses critérios, foi possível realizar os julgamentos e definir os pesos utilizados na ponderação de cada variável.

Na estrutura de organização dos dados no modelo, as variáveis são distribuídas em diferentes níveis hierárquicos. Variáveis de maior importância transmitem sua maior influência para as variáveis menos importantes, em níveis hierárquicos mais baixos, que por sua vez contribuem também com a funcionalidade e coerência nos níveis superiores (Saaty, 1986).

O processo analítico hierárquico baseia-se em três princípios: decomposição, julgamentos comparativos e síntese de prioridades (Alphonse, 1997). Os valores atribuídos aos critérios, na comparação pareada, são relacionados a uma escala de medida de importância relativa. Feito isso, utiliza-se o modelo proposto por Saaty (1986), para definir o grau de importância de cada uma das variáveis, utilizando-se uma lógica de comparação pareada.

Para definir a hierarquização das variáveis, optou-se primeiro pela granulometria do solo, em razão da sua importância na fixação do cultivo no ecossistema marinho. A segunda variável na hierarquia de ponderação foi a batimetria, associada diretamente ao tipo de manejo, instalação e manutenção das estruturas de cultivo.

Por fim, consideramos o fluxo de correntes, uma vez que esta variável está diretamente relacionada ao transporte de nutrientes.

As premissas de favorabilidade ao cultivo de macroalgas marinhas, para cada uma das variáveis, foram obtidas em SEAP (2003) e encontram-se descritas a seguir.

Granulometria do substrato: é uma das variáveis essenciais para o sucesso do cultivo, sendo o substrato de areia fina o ideal. Os fundos de lama são muito bons para fixar o cultivo, porém indicam que haverá grande deposição de partículas finas sobre as algas, o que reduzirá o crescimento das mesmas. Fundos de areia grossa indicam uma água muito boa para o cultivo, mas certamente haverá dificuldade para a fixação, além de prováveis correntezas fortes e presença de animais herbívoros no local. Desse modo, dentre as classes granulométricas, foi dado maior peso para as regiões que apresentassem areia fina.

Com relação à batimetria, quanto maior a profundidade, maior a dificuldade de se trabalhar, especialmente na instalação e manutenção das estruturas de cultivo. No entanto, a profundidade



na baixa-mar não pode ser tão pequena que as algas fiquem fora d'água, nem mesmo em algumas marés. Sendo desejável, portanto, que a profundidade da região de cultivo esteja entre 1,8 a 2,8 m. Assim, o maior peso no processo analítico hierárquico foi conferido às regiões com profundidades variando entre 1,5 e 3,0 m.

Para o fluxo de correntes marinhas, é necessário que haja correnteza, pois é o movimento da água que trará os nutrientes e movimentará as plantas fazendo com que elas recebam a luz do sol. Um local sem correnteza é completamente inadequado. No entanto, uma correnteza muito forte impedirá que as plantas cresçam muito, fazendo com que elas se quebrem ao atingir um determinado tamanho. É recomendado, então que os valores de intensidade de fluxo se situem entre 0,15 a 0,25 m/s, intervalo este, ao qual foi conferido maior peso.

Assim, as três variáveis foram comparadas duas a duas, e um grau de importância relativa foi atribuído ao relacionamento entre essas variáveis, conforme a escala fornecida por Alphonse (1997). Segundo essa métrica, o valor 1, significa que: as duas variáveis contribuem igualmente para o objetivo; valor 3, uma variável é um pouco mais importante que a outra; valor 5, uma variável é claramente mais importante que a outra; valor 7, uma variável é fortemente favorecida; valor 9, a diferença entre as variáveis é da maior ordem possível; e os valores 2, 4, 6 e 8 são intermediários entre os julgamentos das variáveis.

Nesse contexto, os maiores pesos das classes correspondentes a cada variável influíram com maior representatividade no mapa final. Os pesos utilizados no modelo foram obtidos via comparação pareada de variáveis, a partir do grau de importância conferido as mesmas. Com as variáveis organizadas e agrupadas, o modelo foi alimentado para o cálculo dos pesos de cada uma das variáveis e, finalmente, o resultado foi espacializado. Desse modo obteve-se uma matriz ponderada, a partir dos pesos aferidos as diferentes variáveis ambientais.

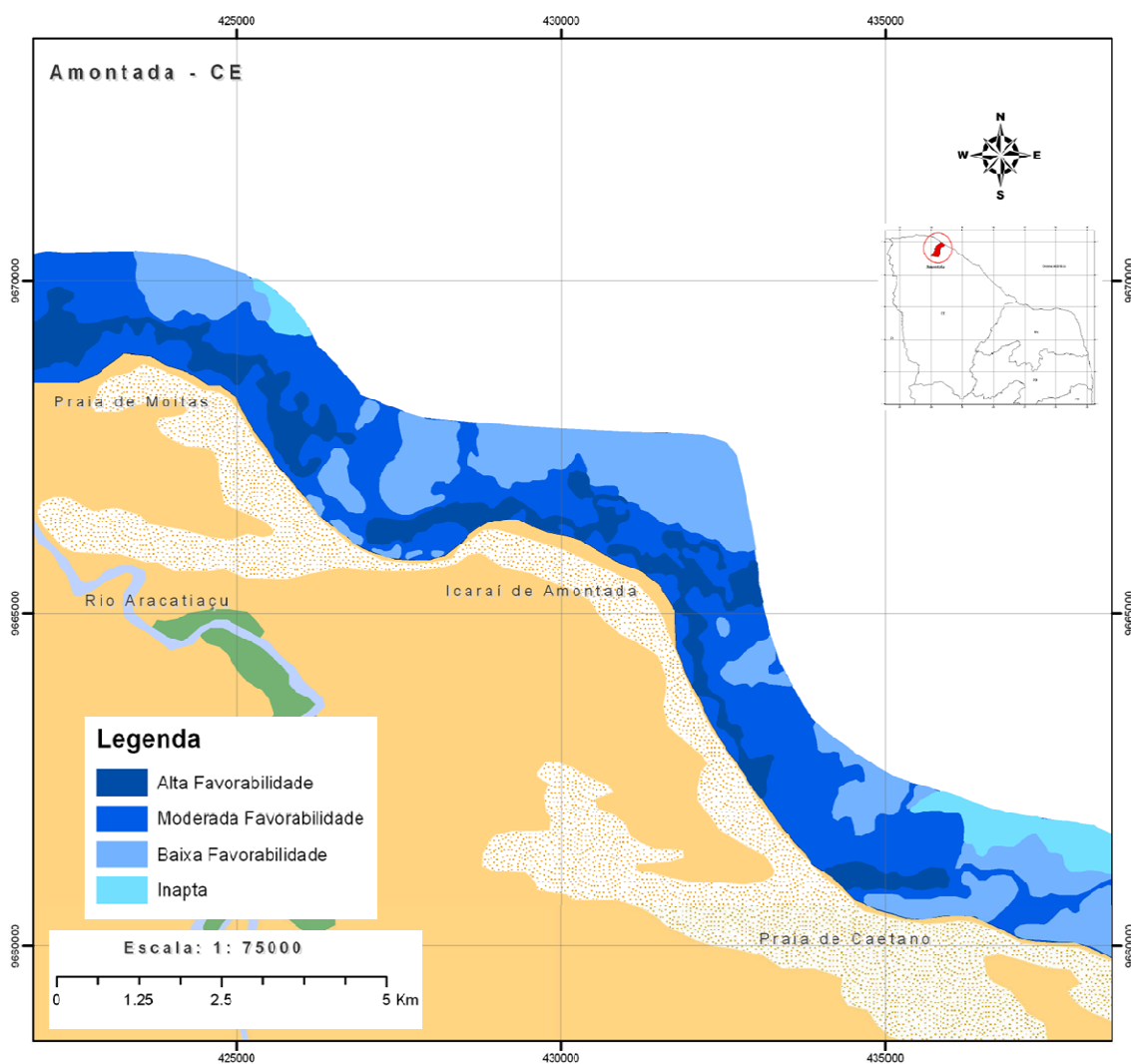
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo analítico hierárquico possibilitou associar, em um único produto, todas as variáveis utilizadas na determinação de áreas propícias ao desenvolvimento da maricultura. O mapa obtido através do modelo mostra-se coerente, em virtude da menor favorabilidade indicada para as regiões mais distantes da praia, portanto mais profundas (acima de 4 metros), e de regiões com granulometria grosseira, impróprias para o desenvolvimento do cultivo de *Gracilaria* sp.

Seguramente, a maior dificuldade em relação à aplicação do modelo analítico hierárquico, está relacionada à determinação dos pesos das variáveis e das suas classes, problema comumente destacado em outros trabalhos que utilizaram este método (Thirumaivasan, Karmegam & Venugopal, 2003; Barros, Moreira & Rudorff, 2007). Assim, pode-se constatar que o método

utilizado é muito dependente do analista e do problema. Esta tem sido a principal crítica ao modelo analítico hierárquico, pois permite gerar uma escala de razão de preferências por parte do especialista (Barros et al, 2007).

O mapa de grau de favorabilidade, gerado para o cultivo de algas na região, encontra-se apresentado na Figura 6. Os resultados obtidos corroboram com as informações da literatura (SEAP, 2003), uma vez que o modelo mostrou que os locais de ótima implantação de projetos dessa natureza na região em estudo, devem se localizar onde as cotas batimétricas encontram-se entre 1,5 a 3 m de profundidade, com granulometria sedimentar entre areia fina e areia muito fina e velocidade de fluxo de correntes em torno de 0,2 a 0,3 m/s.



**Figura 6.** Modelo obtido por intermédio de modelo analítico hierárquico.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a potencialidade da utilização de técnicas de inferência geográfica em SIG na indicação de áreas propícias ao cultivo de algas para a região costeira de Amontada, estado do Ceará. A adoção de técnicas de geoprocessamento na maricultura representa um importante recurso para a otimização de custos e melhoria da qualidade

de análises que integram diversas informações. A partir da base de dados disponível, são indicadas para a região de estudo as áreas com maior favorabilidade.

É evidente que a qualidade e confiabilidade nos resultados das análises por geoprocessamento é extremamente dependente da existência de uma base de dados ambientais de boa qualidade, que represente adequadamente as variabilidades da dinâmica de escoamento e demais variáveis relevantes para o cultivo de algas.

A adoção da maricultura sustentável em zonas costeiras pode ainda auxiliar na redução dos impactos da pesca predatória sobre recursos já em estado crítico como a lagosta, por exemplo. Uma vez que a geração de renda através do cultivo de algas reduziria substancialmente a pressão da pesca sobre as populações impactadas principalmente em períodos de defeso.

## REFERÊNCIAS

Alphonse, C.B. (1997) Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. *Agricultural Systems*. 53: 97-112.

Almeida, I. C. S.(2006). *Determinação de parques aquícolas para o cultivo de ostra nativa Crassostrea rizophorae(Guilding, 1828) no litoral norte do estado de Pernambuco - Brasil*. [Dissertação de Mestrado]. Recife (PE): Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Barros, M.A.; Moreira, M.A.; Rudorff, B.F.T. (2007). Processo analítico hierárquico na identificação de áreas favoráveis ao agroecossistema cafeeiro em escala municipal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(12) : 1769-1777.

Brandini, F. P.; Silva, A. S.; Proença, L. A. O. (2000). Oceanografia e Maricultura. In: Valentin, W. C. *Aqüicultura no Brasil: base para um desenvolvimento sustentável* (pp. 37-40). Brasília: CNPq/MCT,

Chua, T. (1997). Sustainable aquaculture and integrated coastal management. In: Bardach, J. E. (ed.). *Sustainable aquaculture (177-99)*. New York: John Wiley and Sons.

Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (2009). *Tábuas de Marés*. Acessado em 15 de setembro de 2009 em <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>.

FAO. (2006). *The state of world fisheries and aquaculture*. Acessado em 21 de fevereiro de 2010 em <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0699e/a0699e.pdf>

Saaty, T.L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32 : 841-855.

Salles, J. P. (2006). *Potencial de cultivo de Gracilaria córnea em módulos submersos afastados*

- da costa*. [Dissertação de Mestrado]. Florianópolis (SC): Universidade Federal de Santa Catarina.
- Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca – SEAP (2003). *Manuais de Maricultura 3- Cultivo de Algas*. Acessado em 06 de Junho de 2008 em [http://www.presidencia.gov.br/estrutura\\_presidencia/seap/publicacoes/](http://www.presidencia.gov.br/estrutura_presidencia/seap/publicacoes/).
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R., Subasinghe, R.P. (2006). Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development: trends and policy implications. FAO Fisheries Circular No. 1018, Rome: FAO.
- Thirumalaivasan, D.; Karmegam, M.; Venugopal, K. (2003). AHP-Drastic: software for specific aquifer vulnerability assessment using drastic model and GIS. *Environmental Modelling & Software*, 18: 645-656.
- Tovar, A.; Moreno, C.; Manuel-Vez, M.P.; Garcia-Vargas, M. (2000). Environmental impacts of intensive aquaculture in marine waters. *Water Research*, Great Britain, 34(1): 334-342.
- Vinatea, L. A. A. (2000). *Modos de apropriação e gestão patrimonial de recursos costeiros: estudo de caso sobre o potencial e os riscos do cultivo de moluscos marinhos na Baía de Florianópolis* [Tese de Doutorado]. Florianópolis (SC): Universidade Federal de Santa Catarina.
- Wong, P. S. (1995). Report on a Regional Study and Workshop on the environmental assessment and management of aquaculture development (TCP/RAS/2253). Bangkok, *Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific*. NACA.
- Zeng TQ, Dorman F, Ogburn D, Derwent L, Williams R. (2003). Aquaculture management with geographical information systems (GIS) in NSW fisheries, Australia. In: Woodroffe CD, Furness RA, editors. *Coastal GIS 2003: an integrated approach to Australian coastal issues*, 14: 454-66.