

## Uso de sistemas de informação geográfica na definição de áreas propícias para a piscicultura marinha

Thales Ramon de Queiroz Bezerra<sup>1\*</sup>

Cristiana Coutinho Duarte<sup>2</sup>

Ernesto Carvalho Domingues<sup>1</sup>

Santiago Hamilton<sup>1</sup>

Ronaldo Olivera Cavalli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco/Dpt. de Pesca e Aqüicultura  
Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmão – Recife – PE, Brasil  
\*thales\_ramon@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco/Dpt. De Ciências Geográficas  
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil  
crisdat@gmail.com

**Abstract.** This study evaluated the physical, chemical and biological weapons, together with the conditions of infrastructure and legal aspects, to identify of suitable sites for offshore marine fish-cage farming in the coast of Pernambuco. The factors were divided into three criteria (quality of water, security and infrastructure) and a restriction on the legislation, areas for fishing, boating and diving. The data were processed using ArcView version 9.2 and analyzed through a comparison of parity between the factors and criteria chosen to identify of suitable sites for offshore marine fish-cage, a process of hierarchical analysis. From there, it was observed that the criteria relating to water quality and safety were presented at a level classified as very suitable for growing Cobia and therefore did not contribute decisively the definition of suitable sites. We only considered sites with depth between 15 and 40 meters, for meeting both the legal and economic feasibility for the activity. Thus, the factors related to the criterion Infrastructure contributed differently to selection of the suitable sites for offshore marine fish-cage in the coast of Pernambuco. The study area covers 5,094 km<sup>2</sup>, of which 29% were considered very suitable, 49,2% moderately suitable and were not identified areas that are unsuitable for the installation of new developments for offshore marine fish-cage in the coast of Pernambuco. Still, we considered 21,8% of the area being restricted, set by the Units of conservation, fisheries, navigation and wreck. Upon completion of the project, believed to be of paramount importance to update the data considered essential to the zoning of the sites most suitable for offshore marine fish-cage in the coast of Pernambuco.

**Palavras chave:** georeferencing, geographic information system - GIS, aquaculture. georreferenciamento; sistema de informação geográfica SIG, aqüicultura

### 1. Introdução

O processo de planificação de áreas costeiras visando o uso sustentável dos recursos naturais pode ter seu potencial multiplicado com o uso de ferramentas do tipo SIG (Sistema de Informação Geográfica). Essa ferramenta ainda é muito pouco utilizada na tomada de decisões referentes ao gerenciamento costeiro e, especificamente no tocante à implantação de iniciativas de maricultura. O Nordeste do Brasil possui condições ambientais extremamente favoráveis para o desenvolvimento da produção de peixes marinhos cultivados em gaiolas, o que, associado à diversidade de espécies nativas com valor comercial, potencializam ainda mais a implantação dessa atividade na região. Os programas de SIG (e/ou de georreferenciamento) foram criados para facilitar o manejo, análise, modelagem, representação e exibição de dados para resolver problemas relativos ao planejamento e manejo de recursos naturais (NCGIA, 1989). Os SIG permitem uma integração de dados espaciais de diversas fontes com bancos de dados de diferentes campos de estudo. O processo de integração entre elementos de unidades diversas só pode ser realizado com o auxílio de um programa de hierarquização dos elementos, como o descrito por Saaty (1994), em que a idéia central da teoria da análise hierárquica introduzida seja a redução do estudo de sistemas a uma

seqüência de comparações aos pares, minimizando suas falhas. Em função do padrão de exploração que se observa atualmente, e ainda se considerando o declínio da produção da pesca marinha, a piscicultura marinha poderá contribuir não somente para atender a crescente demanda mundial por pescado, mas também possivelmente na manutenção das comunidades pesqueiras tradicionais. Neste trabalho foi utilizado o programa de processamento ArcView 9.2, para exemplificação da modelagem dos dados que resultaram na criação de mapas concernentes aos critério adotados, os quais foram ser escolhidos por especialistas, considerando fatores ambientais, sociais e econômicos. O objetivo do trabalho foi descrever os métodos de uso da ferramenta SIG na identificação das áreas ao longo do litoral do Estado de Pernambuco que apresentem o melhor conjunto de fatores para o desenvolvimento da piscicultura marinha, contemplando um gerenciamento costeiro integrado, que possa convergir para uma sustentabilidade social, econômica e ambiental da região.

## 2. Materiais e método

Com o projeto de implantar o cultivo de peixes marinhos em gaiolas deve ser considerado o conjunto de critérios que servirão de base para a análise dentro do programa SIG. Nessa etapa, alguns desses critérios podem ser descartados, tanto pela indisponibilidade de dados quanto pela falta de um significado que justifique sua inclusão nos resultados finais do trabalho. Para o cultivo de peixes devem ser levados em consideração aspectos ambientais que potencializam o crescimento da espécie alvo, como concentração de oxigênio dissolvido, temperatura, salinidade, pH, nutrientes e transparência. Os elementos que interferem no custo de implantação do empreendimento devem ser agrupados e devem contemplar informações sobre batimetria, correntes marinhas, tipo de sedimento, altura de ondas, entre outros. Já para o processo de produção do pescado, são considerados as distâncias do porto, das fábricas de ração, dos laboratórios de venda de alevinos e indústrias de processamento de pescado. Com os critérios devidamente definidos, o próximo passo seria o balizamento dos dados a partir de uma classificação prévia de cada critério para facilitar a leitura dos resultados na forma de mapas. Nesse trabalho essa padronização pode ser realizada dividindo-se cada critério em classes (por exemplo, mais adequada, menos adequada e inadequada) a partir das informações sugeridas por pesquisadores em trabalhos semelhantes. Nesse caso foi aplicado o valor 3 para áreas mais adequadas, 2 para as menos adequadas e 1 para áreas inadequadas (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação da área em função da variação dos critérios

Critério	Unidade	Faixa de classificação			Referências
		Muito Adequado (3)	Moderadamente adequado (2)	Inadequado (1)	
<b>Qualidade de água</b>					
Temperatura	°C	27 - 29	17 - 26	<16 e >30	(Chang, 2003) e (Liao & Leão 2005)
Salinidade	‰	28 - 30	9 - 27	<8 e >35	(Faulk & Holt, 2006), (Chen <i>et al.</i> , 2009) e (Atwood <i>et al.</i> , 2004)
Oxigênio dissolvido	mg/L	>5	3 - 5	<3	(Boyd, 2000)
pH		7 - 8,5	6 - 7	<5	(Sampaio <i>et al.</i> , 2008)
Nitrato (NO <sub>2</sub> )	mg/L	1 - 10	0,3 e 0,9	< 1 e >10	(Boyd, 2000) e (Muir <i>et al.</i> , 1991)
Fósforo (PO <sub>4</sub> )	mg/L	<0,3	0,1 - 0,2	>0,5	(Boyd, 2001b)
Sílica (SiO <sub>2</sub> )	mg/L	>3	1 - 3	<1	(Boyd, 1989)
Nitrito (NO <sub>3</sub> )	mg/L	<0,3	0,4 - 0,9	>1	(Nunes <i>et al.</i> , 2005) e (Boyd, 2000)
Transparência	m	>0,5	0,35 - 0,5	<0,35	(Boyd, 2000)
<b>Hidrologia</b>					
Batimetria	m	20 - 40	15 - 20	<15 e >40	(Domingues, 2009)
Correntes marinhas	cm/s	10 - 23	23 - 35	>35	(Yu & Ueng, 2005)
Sedimento	Textura	Cascalho	Areia - areia cascalhosa	Lama	(Pérez <i>et al.</i> , 2003)
Ondas	H <sub>s</sub>	<1,46	1,47 - 2,32	>2,33	(Pérez <i>et al.</i> , 2003)
<b>Infra-estrutura</b>					
Distância do Porto	m	<10.000	10.000 - 30.000	>30.000	(Bezerra e Cavalli)
Distância de indústria de processamento	m	<100.000	100.000 - 300.000	>300.000	(Bezerra e Cavalli)
Distância de indústria de ração	m	<100.000	100.000 - 300.000	>300.000	(Bezerra e Cavalli)
Distância do laboratório de alevinos	m	<100.000	100.000 - 300.000	>300.000	(Bezerra e Cavalli)

O processo de análise dos dados pelo SIG é realizado a partir de uma análise estatística multivariada comumente chamada de “*Processo de Análise Hierárquica*”- AHP. Este método auxilia no processo de tomada de decisão e tem o propósito de reproduzir o raciocínio humano no que diz respeito à comparação de elementos de um conjunto (Saaty, 1994). O julgamento sintetiza a resposta a duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com respeito a um critério de nível superior, e com que intensidade, usando a escala de 1 a 9 (Tabela 2) (Saaty, 1980). Grandzol (2005) descreve que, através de comparações aos pares em cada nível da hierarquia baseadas na escala de prioridades do AHP, os participantes desenvolvem pesos relativos, chamados de prioridades, para diferenciar a importância dos critérios.

Tabela 2 - Valores de grandeza para comparação dos critérios

Intensidade de Importância	Definição
1	Mesma importância
3	Pouca importância
5	Grande importância
7	Importância elevada
9	Importância absoluta
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Após o preenchimento da matriz que compara os critérios aos pares, o programa define os percentuais com que cada um representa na formação do mapa final. Entre os índices que norteiam o preenchimento coerente da matriz, do ponto de vista matemático, está a razão de consistência (RC), que, em resumo, calcula a soma dos erros das diversas correlações entre os pares, obtidas através da avaliação do grau de importância entre todos os critérios avaliados. Os valores são colocados na matriz na forma bruta, depois são normalizados, calculadas as médias e o autovetor. Posteriormente, com a utilização de um índice randômico descrito por Saaty (1980), obtêm-se a razão de consistência (Tabela 3).

Tabela 3 - Exemplo de planilha de cálculo para Razão de consistência (CR) do critério Qualidade de água para identificação de áreas com potencial para o desenvolvimento da piscicultura marinha no litoral do estado de Pernambuco

	Valor			Decimal			Normalizado <sup>1</sup>			Média <sup>2</sup>	$\lambda_{max}$ <sup>3</sup>	IC <sup>4</sup>	IR <sup>5</sup>	RC <sup>6</sup>
	QA	H	IE	QA	H	IE	QA	H	IE					
<b>QA</b>	1	1/3	1/5	1	0,33	0,2	0,11	0,061	0,138	0,103	3,12	0,06	0,58	<b>0,103</b>
<b>H</b>	3	1	¼	3	1	0,25	0,33	0,187	0,173	0,23				
<b>IE</b>	5	4	1	5	4	1	0,56	0,752	0,689	0,667				
<b>Somatório</b>				9	5,33	1,45				1,000				

QA – Qualidade de água, S – Segurança, IE – Infraestrutura. Adaptado de Hossain *et al.* (2007)

<sup>1</sup> A matriz normalizada é produto da divisão do valor de cada dado da matriz no formato decimal pelo somatório da coluna;

<sup>2</sup> A média dos valores da matriz normalizada é o peso de cada fator utilizado no programa SIG de elaboração dos mapas;

<sup>3</sup> O autovalor máximo é calculado pelo produto da média dos valores da matriz normalizada e o somatório da coluna da matriz decimal:  $(9 \times 0,103) + (5,33 \times 0,23) + (1,45 \times 0,667) = 3,12$

<sup>4</sup> O índice de consistência IC =  $(\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ , IC =  $(3,12 - 3) / 2 = 0,06$

<sup>5</sup> O índice randômico, sugerido por Saaty (1980) para 3 critérios é igual a 0,58

<sup>6</sup> A razão de consistência (RC) = IC/IR, sendo =  $(0,06/0,58) = 0,103$

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CR Randômico	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Valores até “N” igual a 10. Adaptado de Saaty (1980).

### 3. Resultados e Discussão

O critério *Qualidade de água* foi composto por seis subcritérios: Temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade, pH, nutrientes e transparência que apresentaram as variações descritas na tabela 4.

Com a introdução dos dados referentes ao critério *Qualidade de água* no programa ArcView, através da análise multivariada AHP, foi possível elaborar o mapa com distribuição de valores observados na Figura 1.

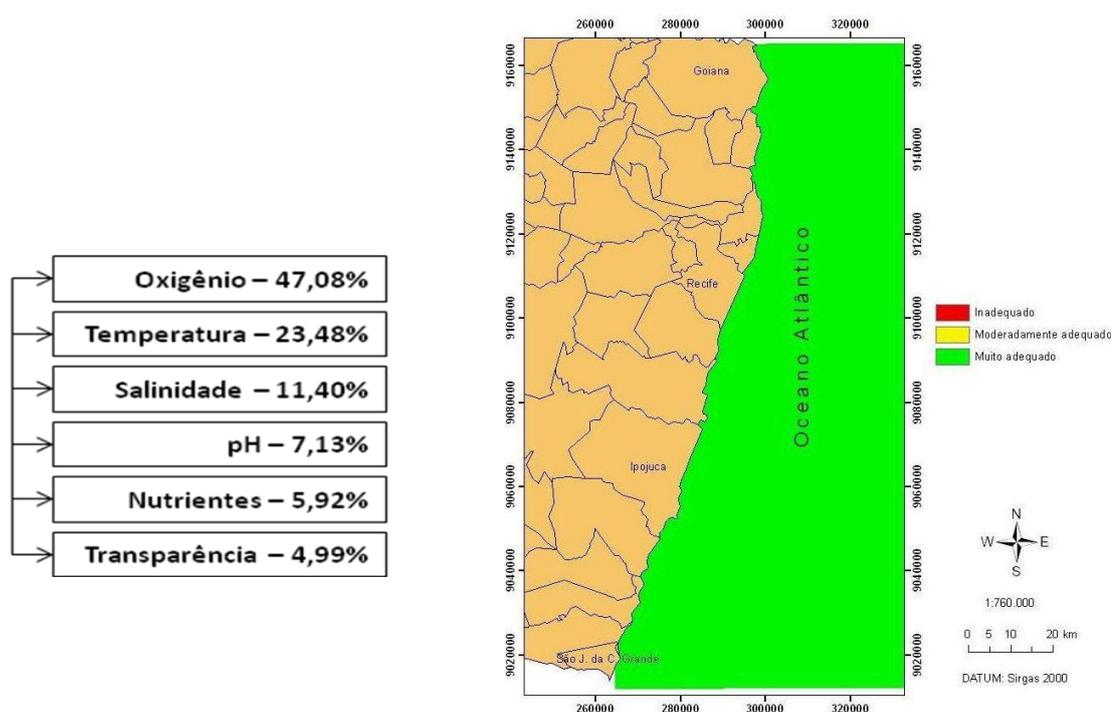
O critério referente à *Segurança* reuniu subcritérios como batimetria, altura significativa das ondas, composição do sedimento e correntes marinhas. Em função da avaliação de fatores ligados a viabilidade econômica, interferência da poluição continental, conflito de uso por outros usuários e segurança, áreas com profundidades de até 20 metros seriam consideradas inadequadas para a instalação dos sistemas de cultivo. Entre 15 e 20 metros moderadamente adequados e entre 20 e 40 considerados muito adequados (Figura 2a). O valor máximo de correntes para a área de estudo foi de 32,2cm/s (Figura 2b). Já os valores da altura significativa de ondas variaram entre 2,89 a 0,85m com média de 1,74m. Foi considerado o valor máximo para todo o litoral de Pernambuco (Figura 2c). Entre 0 a 30 m de profundidade a distribuição da composição do sedimento apresentou texturas que apresentaram a areia e cascalho em 57% da área, consideradas adequadas à instalação de gaiolas, presença de areia cascalhosa em 39%, considerada como áreas moderadas à instalação e 4% de lama, considerada inadequadas. Esse fator corresponderia a 9,46% na elaboração do mapa Segurança (Figura 2d), porém como o levantamento não contemplou toda a área de estudo (até a isobata de 40 m), o programa ArcView restringe as áreas não avaliadas e, portanto esse mapa não foi utilizado na elaboração do critério *Segurança*, servindo somente de parâmetros de avaliação de sua importância.

Os dados revelaram que, de forma geral, a maioria dos elementos essenciais à implantação da atividade no estado de Pernambuco encontra-se reunida na região metropolitana do Recife, e que segundo os especialistas entrevistados, tiveram o seguinte percentual de peso na elaboração do mapa do critério *Infraestrutura*: distância do porto 65,54%; distância da indústria de beneficiamento 19,52%; distância do laboratório de alevinos 8,35%; e distância das fábricas de ração 6,58%. A distância do porto foi definida considerando o local de instalação das gaiolas e o porto que poderá servir de apoio para manutenção de equipamentos e armazenamento de insumos. Foram definidas como áreas muito adequadas, localizações até 10 km do porto, áreas entre 10 e 30 km moderadamente adequadas e acima de 30 km foram consideradas inadequadas. A partir dessas distâncias observou-se uma área considerada muito adequada entre os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, nas proximidades do porto de Suape. Já as áreas adjacentes ao porto do Recife, conferem uma área muito adequada entre Recife e Olinda. Entre os municípios de Serinhaém e Itamaracá, até uma profundidade de 40 m, a área é considerada moderadamente adequada. Só foram consideradas áreas inadequadas nos extremos Sul e Norte do estado. (Figura 3a). A distribuição das indústrias de processamento de pescado do estado de Pernambuco está vinculada à região metropolitana do Recife. Portanto, foi considerado um ponto central nas proximidades da capital do estado, onde se encontra instalada uma indústria

de processamento para avaliar a capacidade de instalação dos empreendimentos de piscicultura marinha em seu litoral. Em quase sua totalidade, a área do litoral se mostrou muito adequada à implantação de empreendimentos de cultivo de peixe marinho (Figura 3b). Para representar as instalações das fábricas de rações para peixes marinhos em Pernambuco foi escolhido o distrito industrial localizado no município de São Lourenço da Mata, região metropolitana da capital, sede de uma empresa de ração. Somente no extremo sul do estado, foi possível observar uma pequena faixa de área considerada moderadamente adequada, enquanto que na sua quase totalidade, o litoral de Pernambuco se apresenta muito adequado à prática do cultivo de peixe marinho, quando relacionado à distância das fábricas de ração (Figura 3c). O estado de Pernambuco conta atualmente com um laboratório de produção de alevino de beijupirá, localizado na praia de Porto de Galinhas, município de Ipojuca, a cerca de 60 Km do Recife. De forma geral o estado também se apresenta muito adequada ao cultivo de beijupirá, com relação à distância de laboratórios de alevinos (Figura 3d).

Tabela 4 – Variação dos dados referentes ao critério qualidade de água.

Subcritério	Variação
Temperatura	27,2 – 29,1°C
Oxigênio dissolvido	6,59 – 6,96 mg/L
Salinidade	36,5 – 37,09
pH	7,77 – 8,37
Nutrientes	(NO <sub>2</sub> -N), que variou entre 0,016 a 3,321 $\mu\text{mol/L}^{-1}$ , nitrato (NO <sub>3</sub> -N), com variação de 0,01 a 0,03 $\mu\text{mol/L}^{-1}$ , fosfato (PO <sub>4</sub> -P), com oscilação entre 0,032 a 0,345 $\mu\text{mol/L}^{-1}$ , e por fim, o silicato (SiO <sub>4</sub> -Si), que apresentou valores entre 1,65 a 16,09 $\mu\text{mol/L}^{-1}$
Transparência	11,3 – 28 m

Figura 1- Mapa e ponderações do critério *Qualidade de água*

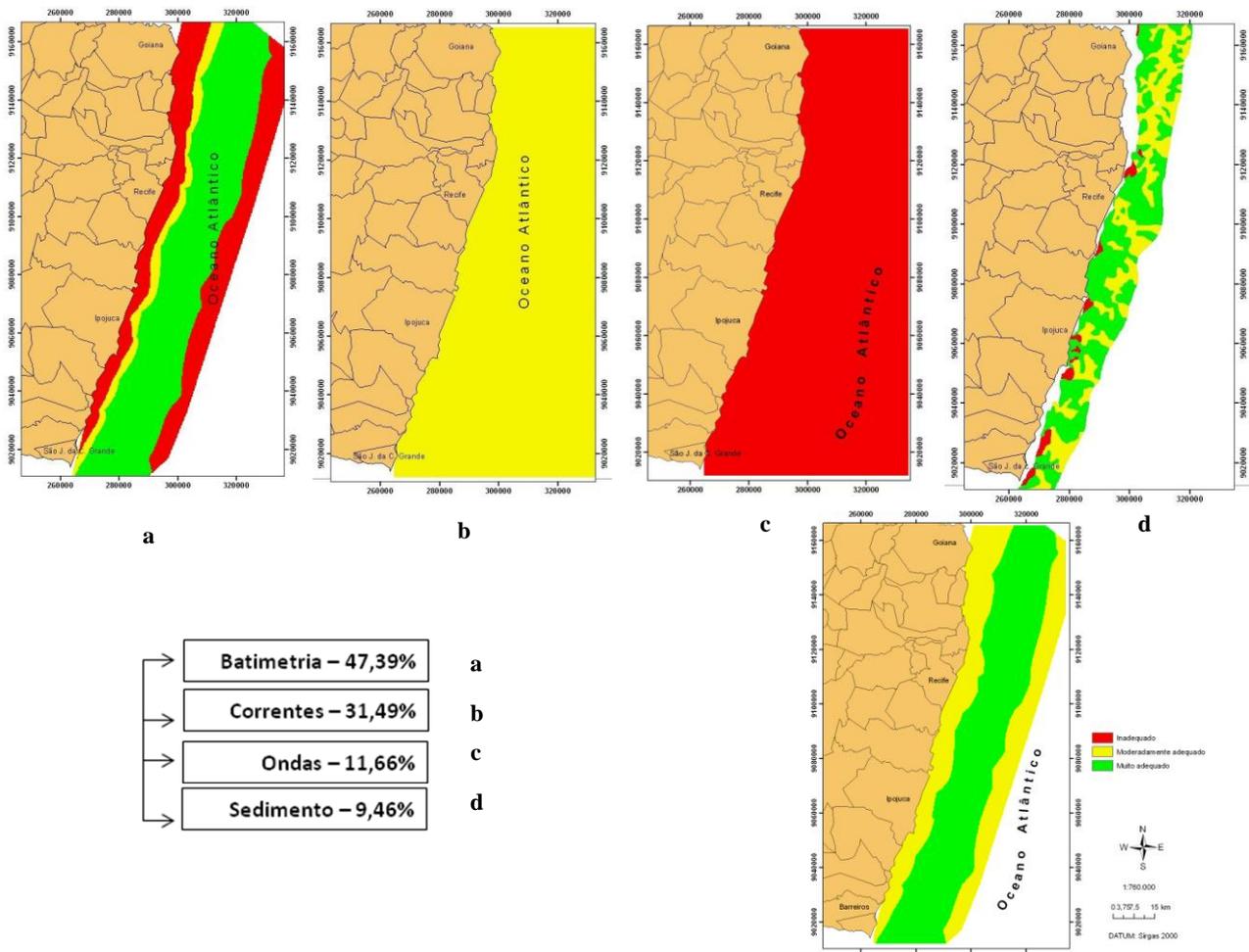


Figura 2 – Elaboração do mapa do critério “Segurança” do estudo de definição de áreas para cultivo de peixes marinhos.

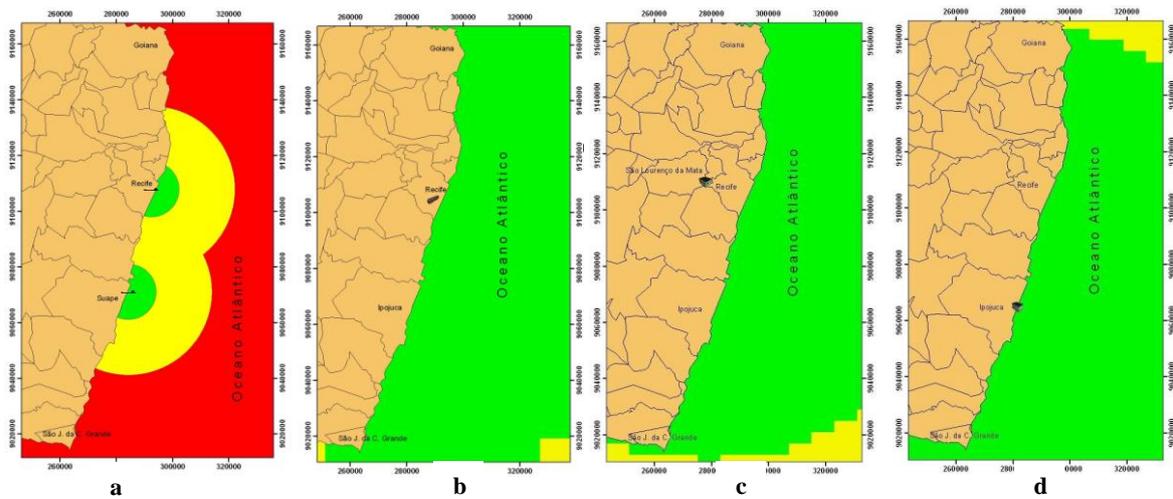


Figura 3 – Elaboração do mapa do critério “Segurança” do estudo de definição de áreas para cultivo de peixes marinhos.

### 3.1 Restrições

As restrições são resultantes daqueles critérios que cerceiam ou limitam a análise de regiões geográficas específicas, com classes do tipo apto/não apto. As áreas de restrição às instalações de sistemas de cultivos de peixes marinhos em mar aberto estão ligadas essencialmente às questões legais. Ao longo do litoral de Pernambuco, existem três áreas de proteção ambiental – APA, que foram criadas por decretos estaduais (APA de Santa Cruz e APA de Guadalupe) e uma Federal (APA Costa dos Corais). Essas áreas, juntamente com as áreas de navegação costeira, pesca e prática de mergulho, e áreas até 20 m de profundidade foram consideradas restritas à realização de projetos de piscicultura marinha e se utilizando do método determinístico booleano que atribui zero a elementos não aptos, foi criada uma única área de restrição no litoral de Pernambuco (Figura 4).

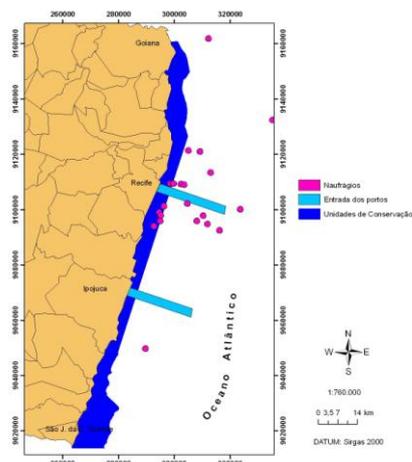


Figura 4 - Áreas restritas à piscicultura marinha no litoral de Pernambuco

### 3.2 Mapa Final

Após a elaboração dos mapas dos critérios, *Qualidade de água*, *Segurança* e *Infraestrutura*, além das áreas de Restrição, de uma área total do litoral de Pernambuco compreendida até a isobatas de 40m, estimada em 5.094 Km<sup>2</sup>, os resultados deste estudo apontaram que uma área de 1.477,26 Km<sup>2</sup> ou 29% da área total, poderia ser considerada como muito adequada para a instalação de empreendimentos de piscicultura marinha em mar aberto. Outros 49,2% da área foram considerados moderadamente adequados e aproximadamente 21,8% da área foi considerada restrita, configurados pelas unidades de conservação, áreas de pesca e naufrágios e de navegação costeira (Figura 5).

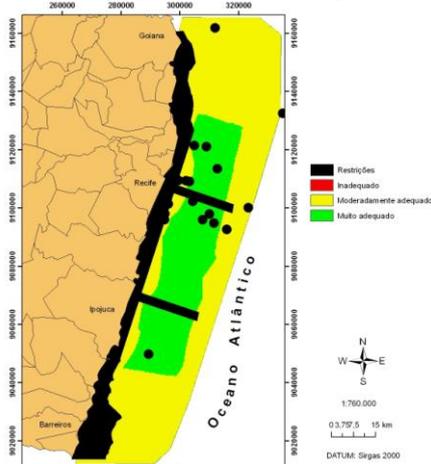


Figura 5 - Áreas propícias à piscicultura marinha no litoral de Pernambuco

#### 4. Conclusões

O resultado final desse trabalho demonstra que o estado de Pernambuco precisa fazer um levantamento mais rigoroso dos dados primários referentes aos critérios de *Qualidade de água* e *Segurança* para que os mapas possam traduzir de forma mais fidedigna, quais são as áreas mais propícias para o desenvolvimento sustentável da piscicultura marinha no estado.

Espera-se que o trabalho possa de alguma forma, despertar o interesse de governantes e produtores, para a prática de uma atividade com sustentabilidade, que tem início no seu planejamento.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, pelo apoio técnico no uso das geotecnologias. Ao departamento de Pesca e Aquicultura da UFRPE, ao departamento de Ciências Geográficas da UFPE e ao CNPq.

#### Referências

Hossain, S. M.; Chowdhury, A. R.; DAS, N. G.; Rahaman, M. M. **Multi-criteria evaluation approach to GIS-based landsuitability classification for tilapia farming in Bangladesh.** *Aquaculture International*, n. 15, p. 425–443, 2007.

NCGIA. The research plan of the National Center for Geographic Information and Analysis. **International Journal of Geographical Information Systems** 3(3): p.117-136, 1989.

Saaty, T. L. **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with AHP.** Pittsburgh USA, RWS Publications, 1994. 330 p.

Saaty, T. L. **Analytic Hierarchy Process**, Ney York, MCGraw – Hill, 1980