

Métodos determinísticos ou probabilísticos de representação e análise espacial de dados para seleção de sítios em sistemas de informações geográficas? O exemplo da maricultura em Santa Catarina.

Luiz Fernando de Novaes Vianna¹

¹ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI
Rodovia Admar Gonzaga, 1.347 - Bairro Itacorubi - Florianópolis – SC
CEP: 88034-901 - Caixa Postal 502
vianna@epagri.sc.gov.br

Abstract. In the last two years the Brazilian government is working to establish legal and institutional mechanisms to manage the marine aquaculture in Brazil. To make the necessary studies for that, the institutions involved needs consistent data bases and technical, operational and methodological capacity of spatial analysis. In this context, at April 2006 was made a workshop in Santa Catarina to construct a method of representation and analysis of spatial data to subsidize the sea farms site selection process. The results indicate that the probabilistic method of representation and spatial analysis is more indicated than the traditional deterministic.

Palavras-chave: geoprocessamento, analytical hierarchy process, ahp, site selection, maricultura, fuzzy logic.

1. Introdução

Métodos de tratamento e análise de dados sociais, econômicos e ambientais utilizam, tradicionalmente, técnicas estatísticas bem estabelecidas, como análise de variância, testes de hipótese, modelos lineares ou análise multi-critério. Porém estes métodos não nos permitem avaliar como os fenômenos descritos pelos dados distribuem-se no espaço geográfico. Com o advento de ferramentas computacionais de representação e análise de dados georreferenciados, ou sistemas de informações geográficas – SIG, novos métodos de tratamento e análise destes dados vêm sendo desenvolvidos e aplicados em diversas áreas do conhecimento, seja em saúde, meio ambiente, agricultura, pesca, maricultura, oceanografia, geologia, pedologia, entre tantas outras. Druck et al. (2004) afirmam que, após mais de uma década da implementação dos primeiros SIG no Brasil, é necessário que a comunidade científica usuária dê um “salto de qualidade” na capacidade de utilização dos dados georreferenciados, ou seja, melhore cada vez mais sua capacidade de análise espacial, cujo foco principal é “*mensurar propriedades e relacionamentos levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita*”. Mas para que este “salto” ocorra é necessário que haja investimentos em bases de dados georreferenciados de qualidade e pesquisa aplicada.

Tanto representação de dados quanto análise espacial em SIG aplicados à zona costeira vêm se desenvolvendo principalmente através da seleção de sítios para maricultura, Scott e Vianna (2001), Simms (2002), Scott (2003), zoneamento ecológico-econômico, MMA (2002) e estudos potenciais para pesca, Isaak (1997). Na maioria predominam os métodos determinísticos. Costuma-se construir um modelo de dados nos quais são definidos intervalos de valores para cada variável. Estes intervalos são ponderados ou classificados de acordo com o seu grau de interferência no fenômeno estudado e então se cria uma estrutura de comparação entre as variáveis através de álgebra de mapas ou matrizes de cruzamentos de classes. Os resultados são representados em mapas por áreas com limites rígidos entre classes e as análises são determinísticas, já que cada área representa características descritivas próprias, e sua relação com as áreas vizinhas se dá através de uma interrupção abrupta nas bordas (**Figura 4b**). Quando trabalhamos com análises ambientais é difícil determinarmos onde termina uma classe e onde se inicia a seguinte, principalmente em ambientes aquáticos.

No Brasil temos como exemplo o trabalho de Vianna (2004) que aplicou geoestatística para identificar áreas de risco de poluição por metais pesados em sedimento de fundo de baía e utilizou representação difusa para análise espacial dos dados e apresentação dos resultados. Este tipo de representação possui por base a lógica difusa (*fuzzy logic*), e trata os fenômenos como tendo maior ou menor probabilidade de apresentar valores próximos àqueles atribuídos às classes principais, o que proporciona uma continuidade entre estas classes e uma representação isenta de limites rígidos (**Figura 4a**).

Não só os métodos de representação e análise espacial diferem, mas também a natureza dos dados utilizados em cada um deles. Para uma análise determinística é preciso se trabalhar com dados primários, ou seja, dados quantitativos que possuam, obrigatoriamente, unidades de medida que possam ser organizadas em classes. Para determinarmos, por exemplo, os locais em uma baía que apresentam concentrações de poluentes na água que comprometam cultivos de moluscos, devemos levantar as amostras e definir as classes relativas às concentrações daqueles. Isto nos obriga a trabalhar com uma unidade de medida (concentração de poluentes) e classes de valores dentro das quais se avalia a possibilidade ou não de cultivar. Por outro lado, para uma análise probabilística, devemos eliminar as unidades e, conseqüentemente, difundir as classes em infinitas probabilidades entre 0 e 100%. Assim, a dependência do dado primário fica reduzida, podendo se trabalhar com dados secundários através de análises qualitativas. Ao invés de coletarmos amostras e fazermos análises laboratoriais para quantificar os poluentes, podemos simplesmente localizar seus emissores e veículos de dispersão e identificar, através de análises de distância, densidade, geoestatística, ou modelagem hidrodinâmica, áreas com maior probabilidade de ocorrência daqueles poluentes.

Nos últimos dois anos o governo federal vem buscando mecanismos legais e institucionais para ordenar a maricultura no Brasil. Através da Instrução Normativa Interministerial nº 06, de 28 de maio de 2004 foram definidos os Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura – PLDM, que têm como objetivo planejar o desenvolvimento do setor utilizando ferramentas de micro zoneamento numa escala municipal, ou quando for o caso, promover este planejamento para baías, enseadas, lagoas costeiras ou estuários. Esta iniciativa gerou uma demanda imediata por estudos que auxiliem na seleção de sítios para maricultura levando em consideração aspectos sócio-ambientais, econômicos e legais, dentro de uma perspectiva participativa. Para que estes estudos sejam executados, são necessários inúmeros fatores, dentre os quais podemos destacar a necessidade de bancos de dados consistentes e capacidade técnica, metodológica e operacional de análise espacial. Neste contexto foi organizado um grupo de trabalho em Santa Catarina com objetivo de construir um método de representação e análise espacial e aplicá-lo, através de um SIG, para auxiliar no processo de setorização dos parques aquícolas do estado.

Neste artigo é apresentado o método de trabalho e os resultados obtidos em uma área piloto.

2. Área de estudo, materiais e métodos

O PLDM de Santa Catarina está focado na área marinha que vai de Laguna a São Francisco do Sul entre a linha de costa e a isóbata de 20 metros, com destaque para os municípios de Palhoça, Florianópolis, Gov. Celso Ramos, Bombinhas, Porto Belo, Penha, São Francisco do Sul, e São José, que tradicionalmente já possuem atividades de maricultura. A etapa piloto de construção do método de representação e análise espacial foi executada na Baía Sul, que abrange os municípios de Florianópolis, São José e Palhoça (**Figura 1**).

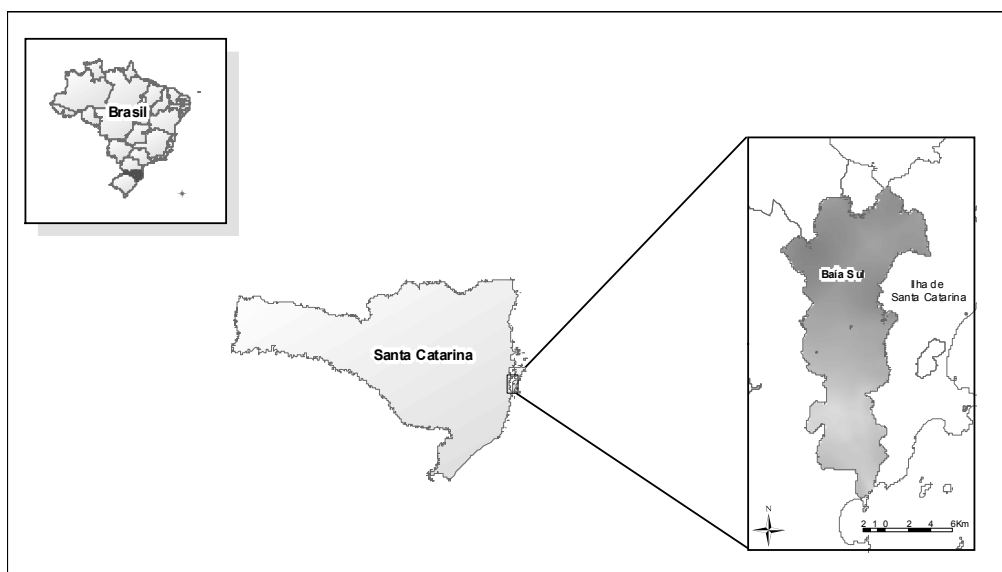


Figura 1: Localização da área piloto

As análises foram feitas através da concepção de um modelo conceitual de áreas para maricultura. Este modelo foi construído de forma participativa envolvendo pesquisadores e maricultores. Foi utilizado o processo analítico hierárquico – AHP, Saaty (2001), para definir e ponderar as variáveis, aqui denominadas “descritores”. O método é composto por cinco etapas (**Figura 2**).

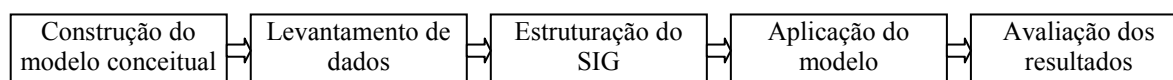


Figura 2: Fluxograma do método de análise espacial

O trabalho de grupo para construção do modelo conceitual – etapa 1 - ocorreu nos dias 25 e 26 de abril de 2006 e estavam presentes 18 pessoas de formações diversas representando 8 instituições entre universidades, empresas de pesquisa e extensão, secretarias do governo e maricultores. No primeiro dia foi feito um *brain storm* para elaborar uma lista dos descritores necessários para se construir um modelo para seleção de sítios para maricultura e no segundo foi feito o trabalho de ponderação dos descritores selecionados utilizando-se a técnica de processos analíticos hierárquicos (AHP). Com auxílio do sistema *Expert Choice* os descritores foram agrupados em ambientais, sócio-econômicos, logísticos e bio-ecológicos, classificados em primários ou secundários e ponderados.

As etapas de levantamento de dados e estruturação do SIG ocorreram concomitantemente e levaram seis meses para serem concluídas. Os dados foram organizados no sistema de informações geográficas ArcGis 9.1 e analisados com as ferramentas *Spatial Analyst* e *3d Analyst*. Foi utilizado um *Personal Geodatabase* para armazenar, editar, relacionar e analisar os dados. Foram geradas ainda matrizes de 10x10m no formato GRID através de geoestatística, interpolação por vizinho mais próximo, análise de distância e análise de densidade. Todas as matrizes foram normalizadas para valores entre zero e um, onde zero indica menor probabilidade de sucesso e um maior. A escala de trabalho adotada foi 1:50.000.

Os dados foram obtidos através de convênios interinstitucionais e restituição de imagens do satélite *Quickbird*, sendo estes:

- Batimetria – Cartas náuticas de Santa Catarina em escalas diversas – Departamento Nacional de Hidrografia e Navegação - DHN.

- Base cartográfica digital 1:50.000 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE;
- Levantamento Agropecuário do estado de Santa Catarina – LAC - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão rural de Santa Catarina - EPAGRI;
- Divisão hidrográfica do estado – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável - SDS
- Áreas atuais de maricultura – EPAGRI;
- Inventário de atividades na zona costeira - EPAGRI;
- Inventário dos bancos naturais de mexilhão e ostra - EPAGRI;
- Localização dos produtores de sementes de ostras - EPAGRI;
- Delimitação de baías e enseadas - EPAGRI;
- Modelo hidrodinâmico da Baía de Florianópolis – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC;
- Legislação - EPAGRI;
- Estações e dados fluviométricos, pluviométricos e meteorológicos - EPAGRI;
- Balneabilidade - Fundação do Meio Ambiente - FATMA;
- Localização das atividades potencialmente poluidoras segundo a resolução CONSEMA 01/2004 – Centrais Elétricas de Santa Catarina – CELESC, Federação das Indústrias de Santa Catarina – FIESC e Agência Nacional de Petróleo - ANP;
- Dados de qualidade de água - EPAGRI
- Localização dos principais mercados consumidores - EPAGRI;
- Localização dos aeroportos e portos - INFRAERO;
- Localização dos fornecedores de insumos para maricultura – EPAGRI;
- Imagens Quickbird de 2004 e 2005 – EPAGRI e SDS
- Modelo digital de elevação - Shuttle Radar Topographic Mission - SRTM

O modelo piloto foi executado no ArcGis 9.1 através da ferramenta *raster calculator* para álgebra de mapas. O resultado do modelo piloto foi avaliado em um segundo trabalho de grupo, que ocorreu nos dias 13 e 14 de julho, no qual participaram, além dos integrantes do primeiro encontro, mais duas universidades e uma empresa de consultoria ambiental.

3. Resultados e discussões

A perspectiva inicial era utilizar os descritores em um modelo determinístico e assim foram identificados 108, sendo 46 ambientais, 17 sócio-econômicos, 21 logísticos, 9 bio-ecológicos e 15 legais. Estes foram também classificados em primários (57) e secundários (51). Discutiu-se sobre as reais possibilidades de construção do modelo analisando-se a existência, disponibilidade, abrangência espacial e periodicidade dos descritores listados. Percebeu-se que de 108, apenas 37 atendiam a estes critérios, uma vez que os demais ainda não haviam sido coletados, não estavam disponíveis, apresentavam distribuição espacial restrita, não possuíam periodicidade ou utilizavam metodologias distintas de coleta, isto é, não apresentavam uniformidade espacial, temporal e metodológica. Assim foram selecionados para o modelo 11 descritores ambientais, 4 sócio-econômicos, 13 logísticos, 2 bio-ecológicos e 7 legais, sendo que destes, apenas um primário e 29 secundários.

Como o número de descritores teve que sofrer uma redução da ordem de 74%, ou seja, dos 108 descritores listados apenas 26% estariam disponíveis, tornou-se inviável elaborar um modelo determinístico, ainda mais que dos 57 descritores primários necessários para tal, apenas um seria utilizado. Esta restrição foi percebida principalmente por causa dos descritores ambientais relacionados à água. Para que se pudesse fazer uma análise determinística seriam necessários dados históricos originários de coletas sistemáticas com

distribuição espacial compatível com a escala de trabalho em toda a costa do estado de 31 descritores de qualidade de água, dos quais 8 hidrodinâmicos, 10 físico-químicos, 3 biológicos, 5 sedimentológicos e 5 toxicológicos, o que exigiria altos investimentos financeiros e de tempo.

Adotou-se então, para representação e análise espacial, um modelo probabilístico. Ao invés de determinar quais as áreas marinhas que estariam aptas ou não para maricultura, optou-se por avaliar quais seriam aquelas onde haveria maior probabilidade de sucesso para implementar os parques aquícolas. Com esta mudança o desafio foi modelar os 37 descritores disponíveis de forma a representar probabilisticamente aqueles 108 necessários para uma análise determinística. O primeiro passo foi excluir do modelo os descritores legais por apresentarem caráter determinístico. Foram levantadas as unidades de conservação nas quais a maricultura é proibida ou restrita, além das áreas proibidas por estarem a menos de 50 metros dos costões ou 200 metros da praia. Estes descritores foram apenas representados sobre o resultado do modelo para setorizar áreas onde a atividade não pode ocorrer.

Na **Tabela 1** estão listados os descritores utilizados no modelo. Os números indicados entre parênteses correspondem ao número de descritores representados. Drenagem pluvial representa a drenagem de origem urbana e não urbana. O potencial poluidor também é dividido em alto, médio e baixo e os insumos biológicos em ostras e mexilhões.

Tabela 1: Descritores do modelo para seleção de sítios para maricultura

Hidrodinâmicos	1. Pista de ventos médios	Mercado	17. Centros consumidores
	2. Regime de ondas		18. Indústrias de beneficiamento
Fisiográficos	3. Grau de confinamento	Produção	19. Áreas pré-existentes
	4. Batimetria		20. Densidade de parques
Poluição	5. Vazão fluvial		21. Insumos básicos
	6. Drenagem pluvial (2)		22. Insumos biológicos (2)
	7. Potencial poluidor (3)	Avarias	23. Áreas de sombra
8. Agrotóxicos	24. Pista de ventos extremos		
Sócio-econômicos	9. Fundeadouros	Bioecológicos	25. Bancos naturais de ostras
	10. Pesca		26. Bancos naturais de mexilhões
	11. Navegação		
	12. Turismo e lazer		
Infra-estrutura	13. Sistema viário		
	14. Aeroportos		
	15. Acesso à praia		
	16. Acesso à informação		

Pista de ventos médios e regime de ondas são descritores hidrodinâmicos secundários. O primeiro é uma medida de distância linear de contato entre a atmosfera e a superfície do mar dada uma direção, e quanto maior esta distância, maior o efeito do vento na movimentação superficial do mar. O regime de ondas é uma descrição estatística das condições de ondas na costa de Santa Catarina segundo Araújo et al. (2003). A predominância de ventos e ondas em determinadas direções aumenta a probabilidade de circulação de água em áreas específicas, o que é primordial para a maricultura.

Os descritores fisiográficos são o grau de confinamento das baías e enseadas e a batimetria. A batimetria é um descritor primário e sua importância está relacionada à circulação de água e aos sistemas de cultivo. Através da batimetria é feito o cálculo do volume das baías e enseadas. As áreas mais rasas são menos indicadas para maricultura e o PLDM define a isóbata de 20m como limite para a atividade artesanal. Grau de confinamento é um índice calculado através da razão entre a área da seção transversal da entrada de uma

baía ou enseada pelo seu volume. Quanto menor este índice, menor é a probabilidade de troca rápida de água, que também é essencial para maricultura.

Os descritores de poluição indicam os riscos existentes à qualidade da água na zona costeira em função do aporte de substâncias oriundas dos processos continentais. Na ausência de parâmetros primários de qualidade de água, a vazão fluvial média das principais bacias é um descritor secundário de risco de aporte destas substâncias na costa. Da mesma forma, a água que chega à zona costeira através da rede de drenagem pluvial, traz consigo uma série de poluentes. O mapeamento das atividades potencialmente poluidoras também é um importante descritor secundário de risco. A classificação do potencial poluidor é feita segundo a Resolução CONSEMA 01/2004, conforme a natureza da atividade. Além disso, a densidade de estabelecimentos agropecuários que utilizam agrotóxicos ou não possuem sistema de saneamento nas bacias hidrográficas costeiras, indica o risco de contaminação por substâncias tóxicas e esgoto próximo à foz dos rios. Com isso, as áreas de menor risco ambiental para maricultura são aquelas mais distantes da foz dos principais rios, das redes de drenagem pluvial e das atividades potencialmente poluidoras.

Os descritores sócio-econômicos visam minimizar conflitos de uso com as demais atividades existentes na zona costeira. Foram considerados atividades conflitantes com a maricultura os fundeadouros de embarcações, locais de pesca tradicional, rotas de navegação e os locais destinados a turismo e lazer (balneários, esportes náuticos, etc). Considerou-se então que as áreas de menor risco de conflitos sócio-econômicos para maricultura seriam aquelas mais distantes destas atividades.

No que se refere à infra-estrutura, a distância ao sistema de transportes e às praias são fundamentais. O acesso viário é o principal meio de transporte dentro do processo produtivo na maricultura catarinense, tanto para escoar produção quanto para ter acesso aos insumos necessários. Mas para o manejo dos cultivos é importante ter acesso fácil aos mesmos através da praia. Alguns produtos da maricultura são comercializados em outros estados, e são escoados por via aérea. E, além disso, o maricultor necessita do apoio técnico que é dado pelas universidades e empresas de pesquisa e extensão. Assim, as áreas com menor risco de atendimento por infra-estrutura são aquelas com acesso viário, acesso às praias e próximas ao aeroporto e instituições de apoio.

Com relação aos mercados a comercialização direta dos produtos de maricultura é sazonal, e ocorre principalmente no verão. Além disso, a grande maioria dos produtores se beneficia pela comercialização no mercado interno. Mas parte da produção é comprada pelas indústrias de beneficiamento ou por intermediários. Assim, as áreas com maior probabilidade de sucesso comercial são aquelas que possuem maior proximidade e melhor acesso aos mercados consumidores e indústrias beneficiadoras.

A maricultura catarinense teve início nos anos 80, e desde então vem crescendo continuamente. Sendo assim, áreas onde historicamente já existe atividade bem estruturada, devem ser consideradas como descritores de produção. Mas apesar destas áreas indicarem condições satisfatórias, aquelas onde as densidades de parques aquícolas são altas apresentam maior probabilidade de risco. Outros descritores de produção importantes são os insumos básicos e os insumos biológicos. Quanto melhor o acesso a estes, maior a probabilidade de sucesso do empreendimento.

Alguns fenômenos meteorológicos como vendavais e ressacas podem causar avarias aos cultivos marinhos, portanto quanto mais próximos às áreas protegidas (áreas de sombra), menor o risco para a maricultura.

Os descritores bio-ecológicos foram considerados importantes para manutenção das dinâmicas naturais da zona costeira. Assim considerou-se prudente para a maricultura que as

áreas destinadas à atividade estivessem distantes daqueles bancos naturais de mexilhões e ostras localizados próximos às unidades de conservação.

A construção deste modelo conceitual gerou um modelo matemático simples, no qual apenas as matrizes de pista de vento, regime de ondas, grau de confinamento, batimetria e densidade de parques apresentaram unidades diferentes de distância. Com a normalização dos dados criou-se um critério de representação e análise qualitativo, com base na maior ou menor probabilidade de sucesso da atividade em função dos descritores avaliados. Foi feita então uma álgebra de mapas utilizando média ponderada. Os pesos atribuídos à matriz de cada descritor estão representados na **Figura 3**. No eixo X estão os números que indicam os descritores listados na **Tabela 1** e seus agrupamentos, e no Y os respectivos pesos.

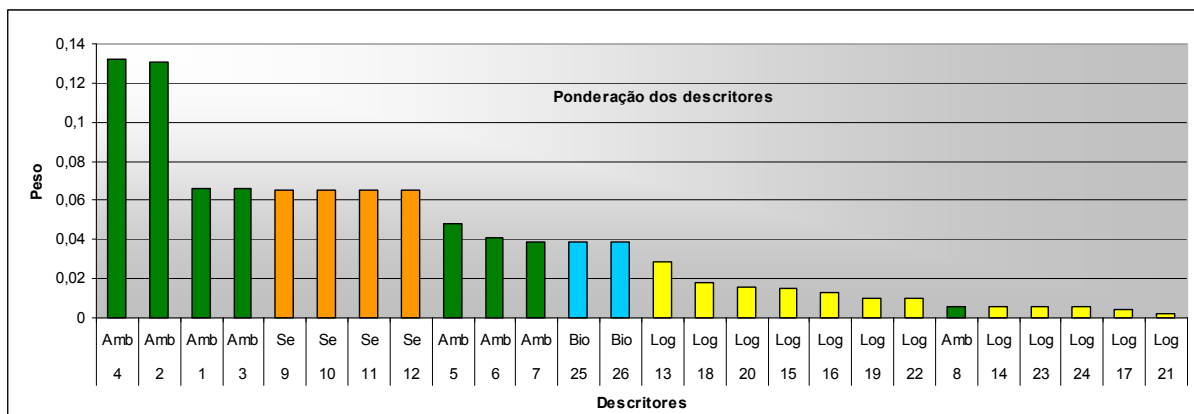


Figura 3: Ponderação dos descritores

O resultado foi uma matriz com valores entre zero e um na qual os valores inferiores, em vermelho, indicam menor probabilidade de sucesso (áreas menos indicadas) e os valores maiores, em verde, as áreas mais indicadas (**Figura 4a**). Não deve-se interpretar esta figura como impeditiva, restritiva ou apropriada, como sugere a **Figura 4b**, pois análise probabilística de descritores secundários não suportam afirmações de pertinência.

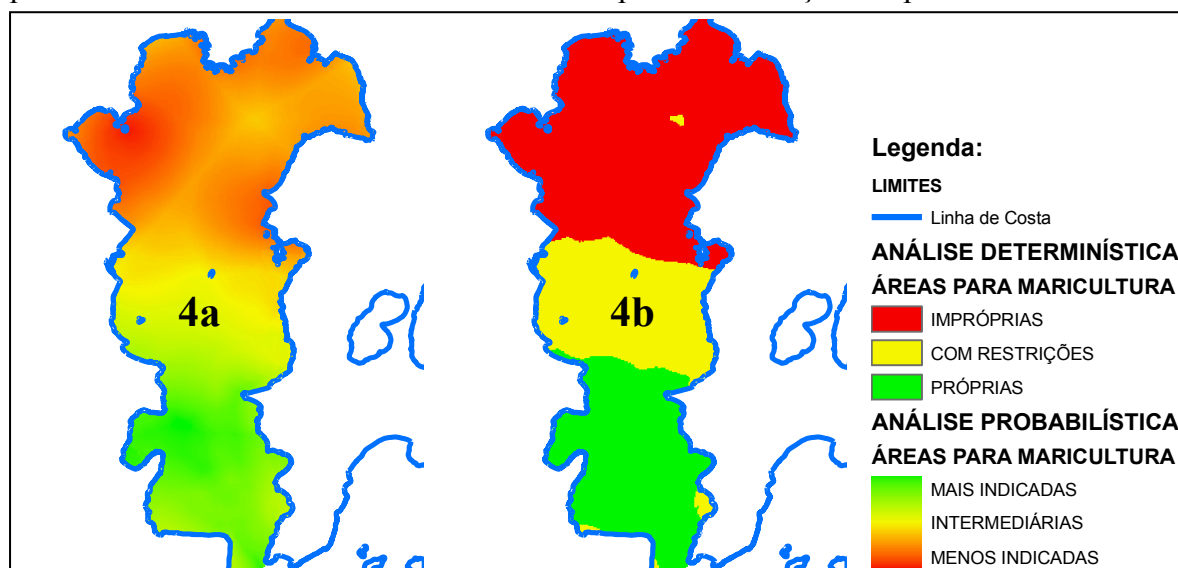


Figura 4: Exemplos de representação de resultados de análises espaciais em SIG: Baía Sul – Florianópolis, SC – (a) análise probabilística (representação difusa), (b) análise determinística (representação por classes).

4. Considerações finais

A avaliação feita pelo segundo grupo de trabalho considerou que o método de representação e análise probabilística era o mais indicado para auxiliar no processo de seleção dos sítios para parques aquícolas em Santa Catarina. Os descritores secundários foram considerados muito bons, e o resultado do modelo identificou como áreas mais indicadas aquelas onde já existem fazendas implementadas com boa produtividade. Porém, algumas destas áreas já estão ficando ambientalmente comprometidas por causa da alta densidade de cultivos, e assim foi sugerido que o peso da matriz de densidade dos parques pré-existent fosse aumentado, para prevenir a ocupação de áreas com grande quantidade de cultivos já implementados.

Apesar da forma mais comum de representação cartográfica se dar através de classes (**Figura 4b**), esta não é adequada ao caso de análises probabilísticas de dados secundários em áreas marinhas. Não é indicado definirmos limites rígidos em ambientes dinâmicos utilizando percentuais de risco como unidade dos descritores. Assim sugere-se que para este tipo de análise os resultados sejam representados de forma difusa (**Figura 4a**). Este tipo de representação deve ser interpretada através de probabilidades de sucesso ou fracasso, não havendo impedimento, restrição ou permissão para a atividade em questão.

O método de análise probabilística através de descritores secundários é indicado para auxiliar no processo de seleção de sítios, mas uma vez definidos os parques aquícolas é extremamente importante que sejam implementados programas de monitoramento de qualidade de água e sanidade animal para levantarem os descritores primários de forma sistemática e garantirem a qualidade do produto final e a sustentabilidade do empreendimento.

5. Referências bibliográficas

- Araujo, C. E. S.; Franco, D.; Melo E.; Pimenta, F. Wave regime characteristics of the southern brazilian coast. In. Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, Sri Lanka, Paper No. 097, pp. 15, 2003 (public, em CD, sem paginação).
- Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G. & Monteiro, A.V.M. (eds) **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).
- Fundação do Meio Ambiente – FATMA. Resolução CONSEMA No 1/2004 Disponível em: (http://www.fatma.sc.gov.br/download/Resolucao_CONSEMA%20n%BA%2001-04.htm) Acesso em: 15/05/2006
- Isaak, D. J. Integrating New Technologies into Fisheries Science: The Application of Geographic Information Systems. **Fisheries**, 1997. n. 22 p. 6–10.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Zoneamento ecológico-econômico costeiro do projeto Gerenciamento Costeiro Integrado nos Municípios da Península de Porto Belo e Entorno, e da Foz dos Rios Camboriú e Itajaí – SC**. Itajaí, SC, 2002.
- Saaty, T. L. **Decision making for leaders**. Vol. II, AHP Series, 315 pp., RWS Publ., 2001 (new ed.) (ISBN 0-9620317-8-X).
- Scott, P. **GIS and remote sensing based models for the development of aquaculture and fisheries in the coastal zone: a case study in Baía de Sepetiba, Brazil**. 2003. Tese de Doutorado, University of Stirling, Stirling. 2003.
- Scott, P. & Vianna, L. F. N. Determinação de áreas potenciais para o desenvolvimento da carcinicultura em sistemas de informações geográficas. **Panorama da Aqüicultura**, jan/fev 2001.
- Simms, A. GIS and aquaculture: Assessment of soft-shell clam sites. *Journal of Coastal Conservation*. n. 8 p. 35-47, 2002
- Vianna, L. F. N. A geostatistical GIS model to identify cadmium and zinc contamination risk areas in sediment of Sepetiba Bay, Rio de Janeiro – Brazil. **Journal of Coastal Research**, Special Issue n. 39, 2004